



الجمهورية العربية السورية

جامعة البعث

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة البيئية

**دراسة تأثير نسبة قيمة الأوكسجين الكيميائي المطلوب (COD) إلى قيمة الأوكسجين الحيوي المطلوب (BOD) في كفاءة المعالجة البيولوجية في محطة معالجة مياه مجاري مدينة حمص**

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة البيئية

إعداد:

م. قمر احمد المصطفى

الدكتور المشرف: رصين زكية

أستاذ مساعد في قسم الهندسة البيئية /الصرف الصحي/

٢٠١٩ م - ١٤٤١ هـ

## فهرس المحتويات:

ملخص البحث.....	٥
هدف البحث.....	٦
أهمية البحث.....	٦
الفصل الأول:(مياه الصرف الصحي).....	٧
لمحة عامة عن مياه الصرف الصحي.....	٨
مواصفات مياه الصرف الصحي وملوثاتها.....	١١
تصنيف ملوثات مياه الصرف الصحي حسب الحجم.....	١١
تصنيف ملوثات مياه الصرف الصحي حسب المنشأ.....	١٢
درجة pH لمياه الصرف الصحي.....	١٣
درجة الحرارة لمياه الصرف الصحي.....	١٤
المواد المغذية في مياه الصرف الصحي.....	١٤
المعادن الثقيلة في مياه الصرف الصحي.....	١٦
الاحتياج البيوكيميائي للأوكسجين (Biological Oxygen Demand).....	١٦
الاحتياج الكيميائي للأوكسجين (Chemical Oxygen Demand).....	١٨
العلاقة بين مؤشري COD و BOD ومقارباتها.....	١٩
تأثير النسبة COD/BOD على المعالجة البيولوجية وكفاءتها حسب بعض الأبحاث والدراسات المرجعية.....	٢٠
الفصل الثاني:( المعالجة البيولوجية لمياه المجاري).....	٢٣
مكونات عملية المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي.....	٢٤
أنواع المعالجة البيولوجية.....	٢٧
المعالجة البيولوجية بالحمأة المنشطة.....	٢٧
أهم الاعتبارات التصميمية لطريقة المعالجة البيولوجية بالحمأة المنشطة.....	٢٨
المبادئ العامة التي يجب إن نأخذها بعين الاعتبار عند التعامل مع منظومة المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي.....	٣٢
الفصل الثالث: محطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة حمص.....	٣٣
وحدات المعالجة في محطة معالجة مياه مجاري حمص.....	٣٤

٣٩	وحدات تخفيض رطوبة الحمأة في محطة المعالجة بحمص
٣٩	حمولات التلوث التصميمية في محطة معالجة مياه مجاري حمص
٤٠	أنواع المنشآت الموصولة على شبكة مياه مجاري مدينة حمص
٤١	الفصل الرابع: (الدراسة العملية)
٤٢	طريقة إجراء تجربتي BOD و COD
٤٢	متطلب الأوكسجين الكيميائي (COD)
٤٣	متطلب الأوكسجين البيوكيميائي (BOD)
٤٥	الدراسة التحليلية والإحصائية لنتائج التجارب المقاسة في مخبر محطة المعالجة
٤٦	تحليل البيانات المدروسة باستخدام برنامج Excel
٦٢	تحليل البيانات المدروسة باستخدام برنامج SPSS الإحصائي
٧٠	تحليل قيم تجارب آذار ونيسان لعام ٢٠١٩
٧٢	الاستنتاجات والمناقشة
٧٣	التوصيات
٧٤	المراجع العلمية
٧٦	ملخص باللغة الإنكليزية

## فهرس الجداول:

٩	جدول (١-١): التدفقات النموذجية لمياه الصرف الصحي من المناطق السكنية للفرد يومياً
	جدول (٢-١): التدفقات النموذجية لمياه الصرف الصحي الناتجة عن الاستعمالات التجارية والمنشآت
١٠	الخدمية
١٠	جدول (٣-١): التدفقات النموذجية لمياه الصرف الصحي الناتجة عن المشافي والمنشآت التعليمية
٣٩	جدول (١-٣): الحمولات التصميمية لمحطة معالجة مياه مجاري حمص
٤٠	جدول (٢-٣): المنشآت الموصولة على شبكة مياه مجاري مدينة حمص
	جدول (١-٤): حجم العينة المطلوبة وعدد نقاط مائع النترجة حسب قيمة BOD المتوقعة باستخدام رؤوس
٤٤	Oxi-TOP
	جدول (٢-٤): حجم العينة المطلوبة وعدد نقاط مائع النترجة حسب قيمة BOD المتوقعة باستخدام رؤوس
٤٥	Oxi-Direct
	جدول (٣-٤): القيم الوسطية COD, BOD والنسبة COD/BOD للسنوات (٢٠١١-٢٠٠٧) ومؤشر التحلل
٤٨	البيولوجي الوسطي لها
	جدول (٤-٤): القيم الوسطية COD, BOD والنسبة COD/BOD للسنوات (٢٠١٦-٢٠١٢) ومؤشر التحلل
٤٩	البيولوجي الوسطي لها
	جدول (٥-٤): قيم النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة اليومية لأشهر كانون الثاني من
٥٦	السنوات (٢٠١١-٢٠٠٧)

جدول (٤-٦): التحليل الإحصائي لبيانات الشرائح السبعة والكفاءة و COD/BOD للمياه الخام الداخلة للمحطة بواسطة برنامج SPSS (٢٠١١-٢٠٠٧).....	٦٣
جدول (٤-٧): التحليل الإحصائي لبيانات الشرائح السبعة والكفاءة و COD/BOD للمياه المعالجة أولياً بواسطة برنامج SPSS (٢٠١١-٢٠٠٧).....	٦٤
جدول (٤-٨): التحليل الإحصائي لبيانات الشرائح السبعة والكفاءة و COD/BOD للمياه الخام الداخلة للمحطة بواسطة برنامج SPSS (٢٠١٦-٢٠١٢).....	٦٤
جدول (٤-٩): التحليل الإحصائي لبيانات الشرائح السبعة والكفاءة و COD/BOD للمياه المعالجة أولياً بواسطة برنامج SPSS (٢٠١٦-٢٠١٢).....	٦٤
جدول (٤-١٠): قيم معامل الارتباط بيرسون ومعنوية العلاقة بين النسبة COD/BOD وكفاءة المعالجة (٢٠١١-٢٠٠٧).....	٦٤
جدول (٤-١١): قيم معامل الارتباط بيرسون ومعنوية العلاقة بين النسبة COD/BOD وكفاءة المعالجة (٢٠١٦-٢٠١٢).....	٦٧
جدول (٤-١٢): تغير متوسط كفاءة المعالجة البيولوجية تبعاً لارتفاع النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولياً (٢٠١١-٢٠٠٧).....	٦٨
جدول (٤-١٣): تغير متوسط كفاءة المعالجة البيولوجية تبعاً لارتفاع النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولياً (٢٠١٦-٢٠١٢).....	٦٩
جدول (٤-١٤): قيم COD, BOD والحرارة T، و pH لمياه الصرف الداخلة للمعالجة البيولوجية وتركيز المواد الصلبة المعلقة ونسبة إعادة الحمأة المنشطة RAS% خلال شهر آذار ٢٠١٩.....	٧٠
جدول (٤-١٥): قيم COD, BOD والحرارة T، و pH لمياه الصرف الداخلة للمعالجة البيولوجية وتركيز المواد الصلبة المعلقة ونسبة إعادة الحمأة المنشطة RAS% خلال شهر نيسان ٢٠١٩.....	٧١

## فهرس الأشكال:

الشكل (١-١): مصادر مياه الصرف المنزلية.....	٨
الشكل (٢-١): تطور منحنى BOD خلال الأيام الخمسة الأولى.....	١٧
الشكل (٣-١): التصنيف الثلاثي للمياه حسب قيمة BOD، COD ونسبة BOD/COD.....	٢٠
الشكل (١-٣): مراحل المعالجة في محطة المعالجة بحمص.....	٣٥
الشكل (١-٤): علاقة COD مع BOD (قيم وسطية شهرية لسنة ٢٠٠٨) للمياه الخام.....	٤٦
الشكل (٢-٤): علاقة COD مع BOD (قيم وسطية شهرية لسنة ٢٠١٥) للمياه الخام.....	٤٧
الشكل (٣-٤): علاقة COD مع BOD (قيم وسطية شهرية لسنة ٢٠٠٩) للمياه المعالجة أولياً.....	٤٧
الشكل (٤-٤): علاقة COD مع BOD (قيم وسطية شهرية لسنة ٢٠١٤) للمياه المعالجة أولياً.....	٤٨
الشكل (٥-٤): العلاقة بين $BOD_5$ للمياه المعالجة أولياً وكفاءة المعالجة/كائنون الثاني (٢٠٠٧-.....)	٥٠
الشكل (٤-٦): العلاقة بين COD للمياه المعالجة أولياً وكفاءة المعالجة / كائنون الثاني (٢٠٠٧-.....)	٥٠

الشكل (٤-٧): العلاقة بين $BOD_5$ للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة /كائنون الثاني (٢٠١٢-٢٠١٥).....	٥١
الشكل (٤-٨): العلاقة بين COD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة /كائنون الثاني (٢٠١٢-٢٠١٥).....	٥١
الشكل (٤-٩): العلاقة بين $BOD_5$ للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة / نيسان (٢٠١١-٢٠٠٧).....	٥٢
الشكل (٤-١٠): العلاقة بين COD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة / نيسان (٢٠١١-٢٠٠٧).....	٥٢
الشكل (٤-١١): العلاقة بين $BOD_5$ للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة / تموز (٢٠١٢-٢٠١٥).....	٥٣
الشكل (٤-١٢): العلاقة بين COD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة / تموز (٢٠١٢-٢٠١٥).....	٥٣
الشكل (٤-١٣): العلاقة بين $BOD_5$ للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة/تشرين الأول (٢٠٠٧-٢٠١١).....	٥٤
الشكل (٤-١٤): العلاقة بين COD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة /تشرين الأول (٢٠٠٧-٢٠١١).....	٥٤
الشكل (٤-١٥): العلاقة بين $BOD_5$ للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة/تشرين الأول (٢٠١٢-٢٠١٥).....	٥٥
الشكل (٤-١٦): العلاقة بين COD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة /تشرين الأول (٢٠١٢-٢٠١٦).....	٥٥
الشكل (٤-١٧): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة لشهر كائنون الثاني للسنوات (٢٠١١-٢٠٠٧).....	٥٨
الشكل (٤-١٨): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة لشهر كائنون الثاني للسنوات (٢٠١٢-٢٠١٦).....	٥٨
الشكل (٤-١٩): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة لشهر نيسان للسنوات (٢٠٠٧-٢٠١١).....	٥٩
الشكل (٤-٢٠): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة لشهر نيسان للسنوات (٢٠١٢-٢٠١٦).....	٥٩
الشكل (٤-٢١): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة لشهر تموز للسنوات (٢٠٠٧-٢٠١١).....	٦٠
الشكل (٤-٢٢): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة لشهر تموز للسنوات (٢٠١٢-٢٠١٦).....	٦٠
الشكل (٤-٢٣): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة لشهر تشرين الأول للسنوات (٢٠٠٧-٢٠١١).....	٦١
الشكل (٤-٢٤): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة لشهر تشرين الأول للسنوات (٢٠١٢-٢٠١٦).....	٦١
الشكل (٤-٢٥): نافذة برنامج SPSS الإحصائي لإدخال قيم المتغيرات.....	٦٢
الشكل (٤-٢٦): تأثير ارتفاع متوسط النسبة COD/BOD على متوسط كفاءة المعالجة البيولوجية.....	٦٩

### ملخص البحث:

أصبحت معالجة مياه الصرف الصحي ضرورة ملحة في أيامنا هذه لأسباب كثيرة، كالحفاظ على بيئة نظيفة آمنة، والاستفادة من المياه الناتجة عن عميلة المعالجة كمصدر مائي غير تقليدي يستفاد منه في مجالات متعددة.

يعدّ مؤشرا COD و BOD من المؤشرات الهامة في تحديد درجة تلوث مياه المجاري ووضع المعايير التصميمية لبناء وتشغيل وحدات المعالجة البيولوجية.

تحتوي مياه مجاري مدينة حمص على مياه حرفية وصناعية بالإضافة للمياه القادمة من المناطق السكنية، وتراوحت نسبة COD/BOD لها بالمجال (١-٤,٤) وهي قابلة للتحلل البيولوجي بشكل كبير، حيث تراوحت قيم كفاءة إزالة BOD<sub>5</sub> خلال السنوات الخمس الأولى للدراسة (٢٠٠٧-٢٠١١) بالمجال (٧٠,٤% - ٩٩,٥%).

إن كفاءة المعالجة البيولوجية ترتبط بمتغيرات كثيرة أهمها بارامترات تشغيل أحواض التهوية (درجة الحرارة- الأكسجين المنحل- MLSS- نسبة الحمأة المعادة...) وعلى الرغم من كون كفاءة المعالجة البيولوجية لمياه مجاري مدينة حمص جيدة جداً، إلا أن الدراسة الإحصائية تظهر وجود ارتباط ضعيف عكسي بين النسبة COD/BOD وكفاءة إزالة BOD<sub>5</sub> ضمن مجال النسبة المذكور سابقاً أي إن ازدياد النسبة COD/BOD أدى لإنخفاض بسيط بكفاءة المعالجة البيولوجية، فلم يتعد إنخفاض متوسط الكفاءة مقدار (٥%) عند ازدياد متوسط النسبة COD/BOD عن (٣,٥) وذلك عند توفر ظروف ملائمة مضبوطة جيداً لعملية المعالجة البيولوجية خلال الأعوام (٢٠٠٧-٢٠١١)، أما خلال الأعوام (٢٠١٢-٢٠١٦) التي شهدت ظروف تشغيل المحطة فيها صعوبات بضبط عمليات المعالجة وتغيراً بكمية المياه القادمة للمحطة ونوعيتها، حيث إنخفض فيها متوسط كفاءة المعالجة حتى (٦٤%)، فقد أدى ازدياد متوسط النسبة COD/BOD عن (٣,٥) إلى إنخفاض متوسط كفاءة المعالجة البيولوجية بمقدار (٢٠%) تقريباً.

### كلمات مفتاحية:

المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي- الطلب البيوكيميائي للأكسجين BOD- الطلب الكيميائي للأكسجين COD - مؤشر التحلل البيولوجي.

#### هدف البحث:

معرفة تأثير تغيّر النسبة COD/BOD لمياه الصرف الصحي على كفاءة المعالجة البيولوجية في محطة معالجة مياه مجاري مدينة حمص، وتحديد مجال النسبة COD/BOD الذي ينتج عنده أفضل معدل لإزالة الحمل العضوي  $BOD_5$ ، ومن ثم ضبط بارامترات التشغيل بحيث نحصل على كفاءة أفضل للمعالجة البيولوجية.

#### أهمية البحث:

عملية المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي هي عملية حساسة، وتتأثر بمتغيرات كثيرة منها قيمة BOD و COD لمياه الصرف الصحي والنسبة COD/BOD لها، ومن ثم فإنّ تحديد طبيعة تأثير هذه النسبة على كفاءة المعالجة ونوعية العلاقة التي تربط بينهما يقودنا لمعرفة كيفية الوصول لكفاءة أفضل من خلال ضبط بارامترات تشغيل أحواض التهوية ومن ثم الحصول على مياه معالجة أقل تلوثاً وضرراً عند صرفها في البيئة المحيطة.

## الفصل الأول

### ( مياه الصرف الصحي )



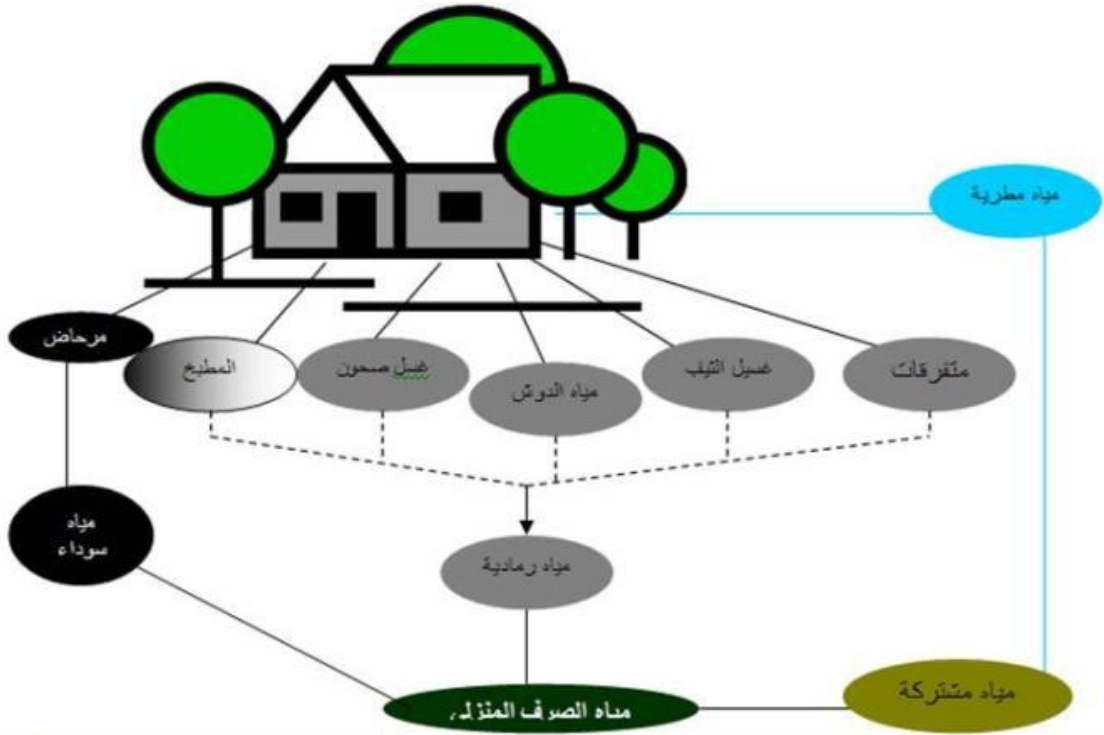
## الفصل الأول

### ( مياه الصرف الصحي )

#### ١-١ - لمحة عامة عن مياه الصرف الصحي (المجاري): [1]

##### ١-١-١ - تعريف مياه الصرف الصحي :

يطلق تعبير مياه الصرف الصحي على كافة أنواع المياه المبتذلة الناجمة عن مختلف الفعاليات المنزلية (غسيل ثياب وصحون وأعمال التنظيف الأخرى، والمياه المستهلكة بالأدواش والمراحيض... الخ) والتجارية وتضاف إليها في المدن الكبرى مياه الصرف الصحي الصناعية. تتشكل مياه الصرف الصحي عامة من حوالي ( ٩٩ ٪ ) من الماء، و ( ١ ٪ ) من الشوائب والملوثات الضارة، ويطلق تعبير مياه المجاري ( Sewage ) عادة على مياه الصرف الصحي المنقولة بشبكة المجاري العامة إلى محطة المعالجة، أو إلى أي مصبٍ طبيعي بعيداً عن المدينة. و الشكل (١-١) يبين المصادر التي تكون مياه الصرف المنزلي:



الشكل (١-١): مصادر مياه الصرف المنزلية

وتنقسم مياه الصرف المنزلية (المعيشية) كما يبين الشكل (١-١) إلى :

- المياه الصفراء: البول.
- المياه البنية: المياه الحاوية على الصرف الصحي البشرية.

- المياه السوداء: مزيج المياه الصفراء والبنية.
- المياه الرمادية: وهي المياه الناتجة عن المطابخ والحمامات.

#### ١-١-٢- كميات مياه الصرف الصحي : [2]

تشكل مياه الصرف الصحي حوالي ( ٨٠ ٪ ) من المياه العذبة المستهلكة في المدينة، ومن أجل ذلك يتم تحديد كميات مياه الصرف الصحي حسب عدد السكان الحالي، والمتوقع عند نهاية الفترة التصميمية لأي مشروع لتنفيذ مشروع صرف صحي ( شبكات - محطات معالجة ) و بالاستناد إلى الاستهلاك الإجمالي من المياه لكل فرد في المنطقة المدروسة يتم حساب الكميات الإجمالية من مياه الصرف الصحي الناجمة عنها . فمثلاً في سورية يبلغ معدل صرف الشخص التقريبي باليوم ما يقارب ١٤٥ لتر في المدن و ٩٥ لتر في الريف. وتتغير كمية مياه الصرف الصحي المطروحة في شبكة المجاري العامة بتغير معدلات الاستهلاك المائي، ولذلك يختلف معدل تصريف مياه الصرف الصحي باختلاف الفترات الزمنية :

- ساعات اليوم : يزداد خلال ساعات الذروة الصباحية والمسائية ويقل بقية ساعات اليوم .
- أيام الأسبوع : يزداد في أيام نهاية الأسبوع عن بقية الأيام .
- فصول السنة : يزداد خلال فصل الصيف عنه خلال فصل الشتاء .

والتدفقات النموذجية لمياه الصرف الصحي من المناطق السكنية تعطى بالجدول (١-١):

جدول (١-١): التدفقات النموذجية لمياه الصرف الصحي من المناطق السكنية للفرد يومياً [1]

المصدر	الوحدة	التصريف (L/unite.day)	
		المجال	نموذجي
مباني برجية	الشخص	132- 284	190
مبنى عالي	الشخص	190- 300	250
فندق	زبون	113- 210	170
<b>مباني خاصة</b>			
منزل نموذجي	شخص	170- 340	265
منزل جيد	شخص	227- 380	300
منزل فاخر	شخص	284- 568	360
منزل قديم	شخص	113- 227	170
بيت صيفي	شخص	94- 190	150
<b>فندق صغير</b>			
مع مطبخ	وحدة	340- 680	380
بدون مطبخ	وحدة	284- 568	360
موقف شاحنات	شخص	113- 190	150

أما المياه المصروفة نتيجة للاستعمالات التجارية فتعطى بالجدول (٢-١):  
 جدول (٢-١): التدفقات النموذجية لمياه الصرف الصحي الناتجة عن الاستعمالات التجارية والمنشآت الخدمية [1]

المصدر	الوحدة	التصريف (L/unite.day)	
		المجال	نموذجي
مطار	مسافر	7.5-15	11
محطة خدمة عربات	خدمة عربة	26.5-49	38
	موظف خدمة	34-57	45
محل مشروبات	زبون	3.8-19	11
	موظف خدمة	38-60	49
مخازن	غرفة حمام	1500-2300	1800
	موظف خدمة	30-45	37
فندق	نزيل	150- 212	181
	موظف خدمة	26- 49	38
بناء صناعي صرف صحي فقط وخدمة آلات	موظف خدمة	26- 60	49
	آلة	1700- 2460	2100
	غسيل آلة	170- 210	190
مكاتب	موظف خدمة	26- 60	49
استراحة	وجبة	7.5- 15	11
مركز تسوق	موظف خدمة	26- 60	49
	موقف السيارات	3.8- 7.5	2

وبالنسبة للمؤسسات التعليمية فيمكن تقدير المياه المصروفة وفق الجدول (٣-١):  
 جدول (٣-١): التدفقات النموذجية لمياه الصرف الصحي الناتجة عن المشافي والمنشآت التعليمية [1]

المصدر	الوحدة	التصريف (L/unite.day)	
		المجال	نموذجي
مشفى طبي	سرير	470- 910	625
	موظف خدمة	19- 57	38
مشفى نفسي	سرير	284- 530	380
	موظف خدمة	19- 56	38
سجن	نزيل	284- 568	435
	موظف خدمة	19- 57	38
بيت راحة	مقيم	189- 454	322

مدرسة يومية			
مع كافيتيريا وحمام وألعاب	طالب	57- 113	95
مع كافيتيريا فقط	طالب	38- 75	57
بدون كافيتيريا وألعاب	طالب	19- 64	42
مدرسة مع إقامة	طالب	189- 380	284

#### ١-٢- مواصفات مياه الصرف الصحي وملوثاتها: [2]

تختلف مواصفات مياه الصرف المنزلية عن مواصفات مياه الصرف الصناعية، وعن مواصفات مياه الصرف المطرية، حيث تتعلق مواصفات مياه الصرف المنزلية بمركبات التلوث التي تصل إلى هذه المياه عند استخدامها من قبل الإنسان خلال نشاطه اليومي، وغالباً ما تكون ملوثة بمخلفات الإنسان وبالفضلات التي تصرف مع مياه الصرف، ويلاحظ إن مركبات التلوث لهذه المياه متشابهة من موقع لموقع ومن بلد لآخر، وتختلف في درجة تركيز هذه المياه بالملوثات والتي تتعلق بكمية المياه التي يصرفها الإنسان في اليوم، فتركيز المياه بالملوثات يكون أقل عندما يستهلك الفرد كمية أكبر من المياه باليوم.

أما مواصفات مياه الصرف المطرية فهي تتعلق بسطح الجريان الذي تسلكه لتصل إلى الشبكة ومدى تلوث هذا السطح، فقد تكون ملوثة بالفضلات الصلبة، أو بالمركبات الكيميائية العالقة على الإسفلت، وقد تحمل الأتربة والرمال في أثناء جريانها فوق سطح الأرض، وتعد مياه الصرف الصحي المطرية أقل تلوثاً من مياه الصرف الصحي المنزلية.

نظراً لتعدد مركبات التلوث وصعوبة تحديد هذه المركبات تصنف عادةً ضمن مجموعات تبعاً لحجم الملوثات ومنشئها.

#### ١-٣- تصنيف ملوثات مياه الصرف الصحي حسب الحجم: [2]

تصنف ملوثات مياه الصرف الصحي حسب الحجم إلى المجموعات التالية:

- مواد قابلة للترسيب.
- مواد غير قابلة للترسيب.
- مواد منحلة.
- الجراثيم (البكتيريا).

#### ١-٣-١- المواد القابلة للترسيب الفيزيائي:

وهي اصطلاحاً: المواد العالقة في المياه والتي يمكن ترسيبها تحت تأثير وزنها الذاتي خلال ساعتين من بدء التجربة القياسية الخاصة بذلك. وتجري التجربة القياسية بوضع (١) ليتر من مياه

الصرف في قمع ترسيب قياسي ( قمع أمهوف ) أو في اسطوانة ترسيب قياسية، ونحدد كمية المواد المترسبة خلال الزمن، ويلاحظ إن نسبة المواد المترسبة (كفاءة الترسيب) تزداد بشكل كبير في بداية عملية الترسيب فتبلغ حوالي (٨٣%) بعد نصف ساعة، و(٩٢%) بعد ساعة، و(٩٧%) بعد ساعة ونصف، ثم تتباطأ لتصل إلى نسبة (١٠٠%) تقريباً بعد ساعتين، كما يلاحظ أيضاً إن زيادة زمن الترسيب لأكثر من ساعتين لن يزيد الكفاءة بشكل ملحوظ، ولذلك فمن الاقتصادي عند تصميم المنشآت الخاصة بالترسيب ألا نعد زمن الترسيب أكبر من ساعتين.

#### ١-٣-٢- المواد غير القابلة للترسيب الفيزيائي:

هي المواد العالقة والسابحة في المياه والتي لم تترسب خلال ساعتين من بدء عملية الترسيب، ويتم تحديد كمية هذه المياه بترشيح نصف لتر من المياه التي تم ترسيب المواد القابلة للترسيب فيها بشكل مسبق وذلك عبر ورقة ترشيح قياسية حيث تحجز هذه المواد على سطح الورقة، وتحدد كمية هذه المواد بتحديد وزن ورقة الترشيح قبل وبعد التجربة وذلك بعد تجفيف هذه الورقة في فرن درجة حرارته ١٠٥°.

#### ١-٣-٣- المواد المنحلة:

وهي المواد الكيميائية مثل الحموض والأسس والأملاح المنحلة في مياه الصرف الصحي، ولتحديد كمية هذه المواد نأخذ (٥٠) مل أو (١٠٠) مل من المياه التي تم ترشيحها عبر ورقة الترشيح القياسية، ومن ثم نبخر مياه هذه العينة في فرن درجة حرارته (١٠٥°) مئوية حتى تجف تماماً، ونحدد كمية هذه المواد بتحديد وزن الجفنة التي وضعت فيها المياه بعد إجراء التجربة وحسم وزنها قبل إجراء التجربة وبتحديد نسبة هذه المواد إلى حجم العينة نستطيع حساب تركيزها في لتر واحد.

#### ١-٣-٤- الجراثيم (البكتيريا):

تحتوي مياه الصرف على أعداد هائلة من الجراثيم بأنواع عديدة لا يمكن حصرها، ولتسهيل عملية تقييم هذه المياه جرثومياً نحدد العدد الكلي للجراثيم في وحدة الحجم من المياه ولتكن (١٠٠) مل، حيث إن العدد الكلي للجراثيم يعطي مؤشراً لقابلية هذه المياه للمعالجة البيولوجية، ولكن زيادة العدد الكلي للجراثيم يعطي احتمالاً أكبر باحتواء المياه على عدد أكبر من الجراثيم الممرضة.

#### ١-٤-١- تصنيف ملوثات مياه الصرف الصحي حسب المنشأ:

تصنف ملوثات المياه حسب المنشأ إلى:

#### ١-٤-١-١- المواد ذات المنشأ العضوي:

يمكن أن تكون هذه المواد ذات منشأ نباتي أو منشأ حيواني.

## ١- المواد ذات المنشأ النباتي:

وهي بقايا الأطعمة النباتية، الأوراق، الأخشاب، .....الخ، وغالباً ما تكون هذه المواد سيللوزية تحتوي بشكل كبير على الهيدروكربونات أي مركبات الهيدروجين والكربون، وتتميز هذه المواد العضوية بسهولة تفككها بيولوجياً حيث إنها تبدأ بالتفكك بعد وقت قصير من وصولها إلى مياه الصرف الصحي.

## ٢- المواد ذات المنشأ الحيواني:

وهي بقايا اللحوم والبروتين والدهون والبول .....الخ، وتتميز هذه المواد باحتوائها على عناصر الآزوت والهيدروجين والكربون، ومن سماتها إنها تحتاج إلى عدة أيام (تصل إلى عشرة أيام) اعتباراً من وصولها إلى مياه الصرف الصحي لتبدأ في عملية التحلل البيولوجي.

## ١-٤-٢ - المواد ذات المنشأ المعدني:

وهي مواد معدنية غير قابلة للتحلل البيولوجي ويمكن إن تكون على هيئة حبيبات من رمال الكوارتز أو من الأتربة الناعمة، ويمكن إن تكون على هيئة حموض وأسس وأملاح معدنية، يرتفع تركيز هذه المواد بشكل كبير في مياه الصرف الصناعية الناتجة عن الصناعات الكيميائية غير العضوية ويعد وجود هذه المواد بتركيز عالية في مياه الصرف الصحي على حساب المواد العضوية مؤشراً على صعوبة المعالجة البيولوجية لها، ولابد من اتباع طرق معالجة بديلة مثل الترسيب الكيميائي، التناضح العكسي، التبادل الشاردي، الترشيح الرملي. ويمكن تحديد محتوى المياه من المواد العضوية المختلفة بوضع المواد الملوثة لها، والمفصولة عنها في فرن درجة حرارته تصل إلى ٦٥٠° درجة مئوية حيث تحترق المواد العضوية وتبقى المواد المعدنية، وتحديد وزن الجفنة المحتوية على العينة قبل وبعد التجربة نستطيع تحديد نسبة المواد العضوية في كل مجموعة من مجموعات المواد الملوثة (القابلة للترسيب - غير القابلة للترسيب - المنحلة) لمياه الصرف الصحي.

## ١-٥-١ - درجة pH لمياه الصرف الصحي:

تتراوح درجة pH لمياه الصرف الصحي بين (٦,٥-٨) وإذا كانت درجة pH خارج هذا المجال فإن ذلك سوف يؤثر على حياة البكتيريا، ولتحاشي ذلك تنشأ في هذه الحالة أحواض يتم فيها تعديل درجة pH بإضافة الحموض أو الأسس تبعاً لمواصفات المياه وتدعى هذه الأحواض

بأحواض التعادل، ويجب تحاشي تذبذب درجة pH خلال أوقات قصيرة لكي تستطيع البكتيريا التأقلم مع الوسط، وللتغلب على مثل هذه الحالة تنشأ أحواض تجمع فيها مياه الصرف الناتجة خلال فترة زمنية تسمح بالحصول على مياه بدرجة pH ثابتة تقريباً وتدعى هذه الأحواض بأحواض التجانس.

#### ١-٦- درجة الحرارة لمياه الصرف الصحي:

تعد درجة الحرارة من أهم المؤشرات التكنولوجية لمعالجة مياه الصرف، وتبعاً لدرجة الحرارة تكون لزوجة السائل ومن ثم القوى المعيقة لترسب الجزيئات.

تكون درجة حرارة مياه المجاري بشكل عام أعلى من حرارة المصدر المائي بسبب إضافة الماء الدافئ نتيجة الاستخدام المعاشي. إن قياس درجة الحرارة هام لأن أغلب أنظمة معالجة مياه المجاري تتضمن عمليات بيولوجية تتأثر بدرجة الحرارة، وتتغير درجة الحرارة لمياه الصرف من فصل إلى آخر، وتبعاً للموقع الجغرافي أيضاً، ففي المناطق الباردة تتراوح درجة الحرارة ما بين (٧ - ١٨ م) بينما تتراوح في المناطق الأكثر دفئاً ما بين (١٣ - ٣٨ م).

درجة حرارة مياه الصرف الصحي ذات أهمية خاصة للعمليات البيولوجية في أثناء المعالجة حيث إنه تبعاً لدرجة الحرارة تكون سرعة العمليات البيوكيميائية، ففي درجات الحرارة المنخفضة يزداد انحلال الأوكسجين بالماء، ويقل النشاط البكتيري للبكتيريا التي تقوم بعملية المعالجة البيولوجية، وتتوقف التفاعلات البيولوجية بالدرجة (٤°) مئوية وتتباطأ من الدرجة (٦°)، لذلك فإن درجة الحرارة ٢٠° مئوية هي الدرجة المطلوبة بحيث يكون انحلال الأوكسجين أكبر ما يمكن مع وجود نشاط بكتيري جيد للعمليات البيولوجية، و لكن أي تغير مفاجئ في درجات الحرارة يمكن أن يسبب نسبة عالية من فناء الحياة المائية، كذلك فإن حرارة مرتفعة على نحو شاذ يمكن أن تسرع في نمو نباتات مائية غير مرغوب بها وكذلك ناميات (فطور) في مياه الصرف الصحي.

ويتم قياس درجة الحرارة بشكل مباشر في مكان أخذ العينات بدقة (±٠,١°) بواسطة ميزان حرارة ذي دقة (٠,١°) مئوية.

#### ١-٧- المواد المغذية في مياه الصرف الصحي:

تحتاج البكتيريا إلى المواد المغذية لكي تقوم بنشاطها الحيوي، وتتكاثر بشكل جيد ولتسهم في عملية المعالجة البيولوجية.

ومن المواد المغذية الضرورية للبكتيريا نذكر: الكربون، الفوسفور، الآزوت. كما تحتاج البكتيريا لمواد أخرى ولكن بكميات أقل مثل الكالسيوم، البوتاسيوم، والمغنيزيوم، ولتستطيع البكتيريا القيام

بنشاطها يجب إن تحقق كميات هذه المواد توازن فيما بينها، وتقدر النسب المثالية لهذه المواد كما يلي:

$$C:N = 12:1$$

$$C:P = 30:1$$

غالباً ما تحقق مياه الصرف المدنية هذه الشروط، ولكن المياه الصناعية لا تحقق ذلك في كثير من الأحيان.

#### ١-٧-١ المواد الآزوتية في مياه الصرف الصحي:

تحتوي مياه الصرف الصحي على مركبات آزوتية عضوية تنتج عن صرف مخلفات الإنسان مع هذه المياه، وتتفكك هذه المواد في أثناء المعالجة البيولوجية عبر تسلسل زمني هو:

أمونيوم ← نترت ← نترات

ووجود أحد هذه المركبات في مياه الصرف الصحي يعطي فكرة عن الفترة التي إنقضت على تلوث المياه بالمركبات الآزوتية.

تصرف هذه المواد مع مياه الصرف المعالجة إلى المصادر المائية ونظراً لكون الآزوت مادة مغذية للكائنات الحية، فإن ذلك سوف يؤدي إلى نمو الكائنات النباتية بشكل عشوائي ومن ثم تحرم الكائنات الأخرى من الغذاء والأكسجين مما يسبب خللاً في البيئة المائية.

كما إن استخدام المياه السطحية لاحقاً لأغراض الشرب يؤدي إلى وصول تراكيز عالية من المركبات الآزوتية، إلى الإنسان الأمر الذي يسبب له أمراضاً، لهذا يجب تحديد محتوى مياه الصرف المعالجة من المركبات الآزوتية وتحديد درجة المعالجة المطلوبة للمياه التي تضمن تخفيض تركيز هذه المواد إلى الحدود المقبولة في مياه الصرف المعالجة وفق المواصفات القياسية.

#### ١-٧-٢ الفوسفور في مياه الصرف الصحي:

يصل الفوسفور إلى مياه الصرف الصحي نتيجة استخدام المنظفات، ويلاحظ بأن تركيزه في المياه أقل من تركيز المركبات الآزوتية، ويعد الفوسفور من المواد المغذية للكائنات الحية، لذلك يلاحظ نمو الطحالب والإشنيات بشكل كبير، وغير منتظم عند صرف تراكيز مرتفعة من الفوسفور مع مياه الصرف الصحي المعالجة إلى المسطحات المائية، مما يحرم بقية الكائنات من المواد المغذية والأكسجين اللازم لحياتها ومن ثم يؤدي لخلل في النظام البيئي، لذلك يجب إن يضمن نظام



المعالجة المستخدم لمياه الصرف الصحي تخفيض الفوسفور إلى الحدود المسموحة وفق المواصفات القياسية.

#### ١-٨- المعادن الثقيلة في مياه الصرف الصحي:

إن وصول المعادن الثقيلة إلى مياه الصرف الصحي غالباً ما يعزى إلى بعض الصناعات التي تنتج عنها مثل هذه المعادن مثل الزئبق، الكاديوم، الكروم، النيكل، الرصاص، والنحاس... الخ. إن صرف هذه المعادن مع مياه الصرف الصحي يؤدي إلى أضرار بالبيئة، كما يمكن أن تصل إلى الإنسان عن طريق السلسلة الغذائية:

نبات ← حيوان ← إنسان

ونظراً لعدم قدرة الجسم على التخلص من هذه المعادن وتركزها في الجسم، فإن ذلك سوف يؤدي مع الزمن لظهور أمراض خطيرة للإنسان. كما إن وصول هذه المعادن إلى محطات المعالجة البيولوجية بتركيزات مرتفعة يضر بهذه البكتيريا وينشاطها مما ينعكس على كفاءة المحطة.

#### ١-٩ - الاحتياج البيوكيميائي للأوكسجين ( $BOD$ ):

[3]، [4]، [5]

هو كمية الأوكسجين التي تحتاجها البكتيريا في أثناء القيام بالنشاط الحيوي لهضم الملوثات العضوية الموجودة في لتر واحد من مياه الصرف الخاضعة للتجربة مقدرة ب(مغ/ل) تحت ظروف معينة (درجة حرارة ٢٠° مئوية في الظلام)، وهو مؤشر تلوث مياه الصرف الصحي بالمواد العضوية القابلة للهضم البيولوجي، وإن قيمة هذا الاحتياج تتعلق بعدة عوامل أهمها:

١- وجود البكتيريا نفسها في مياه الصرف الصحي.

٢- توفر المادة الغذائية المناسبة لحياة هذه البكتيريا.

٣- وجود وسط ملائم من حيث درجة الحرارة وقيمة pH.

٤- عدم وجود مواد سامة ضارة بالبكتيريا.

٥- أشعة الشمس.

٦- توفر وقت كافٍ لتتمكن البكتيريا من التأقلم مع الظروف الجديدة التي وجدت فيها.

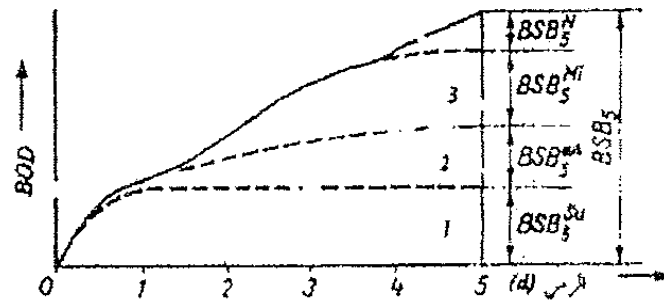
وللتمكن من مقارنة مياه الصرف الصحي من حيث تلوثها العضوي وخاصة من حيث قيمة BOD يجب إجراء تجربة BOD في ظروف قياسية، فيراعى عند إجراء التجربة أن تكون درجة

حرارة الوسط (٢٠°) مع مراعاة تأمين الشروط التي ذكرناها سابقاً. إن الهضم البيولوجي للمواد العضوية يستغرق زمناً قد يصل حتى ٢٥ يوماً، ولتوفير الوقت في إجراء التجربة يكتفي بتحديد قيمة  $BOD_5$  بعد خمسة أيام، وهذه القيمة تدعى  $BOD_5$  وهناك علاقة بين  $BOD_5$  و  $BOD_{tot}$  حيث تعادل قيمة  $BOD_5$  ما يقارب  $BOD_{tot} = 68.4\%$ .

ويلاحظ إن قيمة  $BOD$  تتخفف في كل يوم بنسبة ٢٠,٦% من قيمة  $BOD$  المتبقية عندما تكون درجة الحرارة ٢٠° مئوية.

وتتكون قيمة  $BOD_5$  التي نحصل عليها نتيجة لمجموع أربعة تفاعلات حيوية جزئية، وذلك كما يوضحه الشكل (٢-١) وهي:

١. التنفس الأساسي للبكتيريا أثناء الاستفادة الوظيفية من المواد العضوية المنحلة في الماء.
٢. التنفس الداخلي للبكتيريا بعد توقف التنفس الأساسي للبكتيريا ونفاذ المادة الغذائية الموجودة خارج الخلية وعندها تقوم البكتيريا باستهلاك المادة الغذائية الموجودة داخلها.
٣. تنفس الأجسام المجهرية المفترسة للبكتيريا.
٤. تنفس البكتيريا التي تقوم ببنترية المواد الأزوتية.



الشكل (٢-١): تطور منحنى  $BOD$  خلال الأيام الخمسة الأولى [2]

١. التنفس الأساسي للبكتيريا.
٢. التنفس الداخلي للبكتيريا.
٣. تنفس الأجسام المجهرية المفترسة للبكتيريا.
٤. تنفس بكتيريا النترية.

#### ١-٩-١- استخدامات اختبار $BOD$ وأهميته: [3]، [5]، [6]

إن اختبار  $BOD_5$  مستخدم بشكل كبير وواسع وخصوصاً في معالجة مياه الصرف الصحي وعمليات التحكم بنوعية المياه الناتجة عنها، حيث إنه يشكل الأساس في معايير المياه الداخلة لمحطات المعالجة ويستخدم في:

- تحديد حجم المنشآت اللازمة للمعالجة.
- تحديد كمية الأوكسجين المطلوبة للحصول على الاستقرار البيولوجي للكتلة الحية الموجودة في أحواض المعالجة البيولوجية.

- قياس كفاءة عمليات المعالجة ومدى الالتزام بالمواصفات المطلوبة لإلقاء مياه الصرف في الشبكة العامة أو في المسطحات المائية.

إن قيمة BOD هي عبارة عن فعل بيولوجي لتمثيل العمليات التي تحدث في المياه القادمة للمحطة وضمن المعالجة الهوائية البيولوجية لمياه الصرف الصحي المستخدمة بالمحطة. من مساوئ اختبار  $BOD_5$  إنه بطيء ويستغرق خمسة أيام على الأقل حتى نحصل على نتيجة، فهو يعطي فقط قيمة للحفظ بالسجلات، ولحسابات عمر الحمأة وتصميم الأحواض، ولكنه ليس مناسباً لعمليات التحكم السريع بالمعالجة، وهو مناسب بشكل لا بأس به في مياه الصرف المدنية على عكس مياه الصرف الصناعية.

إن وجود المواد الكيميائية السامة أو المثبطة لعمل البكتيريا والمتعضيات الدقيقة سوف ينتج عنها قيم  $BOD_5$  مغلوطة، كما أن مياه الصرف التي تكون منقوصة المواد المغذية والتي يمكن أن تتحلل بيولوجياً ولكن ببطء، تعطي أيضاً نتائج  $BOD_5$  مغلوطة منخفضة. إن القيمة الوسطية  $BOD_5$  في مياه الصرف المدنية تتراوح بين (110-440 mg/l).

#### ١٠-١ - الاحتياج الكيميائي للأوكسجين ( $COD$ ) (Chemical Oxygen Demand): [3]

هو كمية الأوكسجين اللازمة للأكسدة الكيميائية المباشرة للمواد القابلة للتأكسد العضوية واللاعضوية الموجودة في مياه الصرف الصحي بوجود مؤكسدات قوية أكثرها استخداماً (دي كرومات البوتاسيوم) ضمن شروط معينة، وهو يعدّ مؤشراً على كمية الملوثات العضوية الكلية الموجودة في مياه الصرف (القابلة للهضم البيولوجي بالإضافة إلى تلك التي لا يمكن هضمها بيولوجياً) بالإضافة إلى المواد اللاعضوية ويحدد بوحدة (مغ/ل).

تجب الإشارة لنوع المؤكسد المستخدم (ديكرومات أو برمنغنات) وذلك لأن قيمة COD عند استخدام الديكرومات أعلى منها عند استخدام البرمنغنات، وبالرغم من استخدام مؤكسد قوي مثل الديكرومات (المستخدم بالتجارب لدينا) فإن بعض المواد العضوية لا تتأكسد لذلك نلجأ لاستخدام وسيط كيميائي (مادة حفازة مساعدة على الأكسدة) هي كبريتات الفضة ( $Ag_2SO_4$ ) التي تسهل أكسدة الكحول والحموض العضوية، كما أن وجود شاردة الكلوريد يمكن أن يسبب تشويشاً على قيمة COD المقاسة لأنها تتأكسد لتصبح كلور بواسطة الديكرومات، وتسجل كقيمة من الCOD، بالإضافة إلى أنها تبطل مفعول كبريتات الفضة، ومن الممكن التغلب على تأثيرها بإضافة كبريتات الزئبق التي تتفاعل مع شوارد الكلور لتشكل مركباً مستقرّاً (كلوريد الزئبق) وهو مقاوم للأكسدة بديكرومات البوتاسيوم، ويستخدم أيضاً مثبت نترتة لمنع تأكسد الأمونيا.

إنَّ الاستهلاك من المواد الكيميائية المؤكسدة يمكن أن يربط بطلب الأوكسجين، ولكن تحت الظروف الشديدة للأكسدة المتمثلة باستخدام ديكرومات البوتاسيوم مع حمض الكبريت المركز بدرجة الغليان مع المادة الحفازة، فإنَّ بعض المواد اللاعضوية تتأكسد بالإضافة للمواد العضوية. يستخدم مؤشر COD ليعطي فكرة عن قيمة مؤشر BOD لأنَّ فحص BOD يستغرق وقتاً طويلاً يصل إلى خمسة أيام على الأقل حتى نعرف نتيجته بينما يحتاج قياس COD لعينة ما ساعتين ونصف على الأكثر، بالإضافة إلى أنَّ فحص BOD قد يصادف مشاكل مع المتعضيات الدقيقة. تقدر قيمة COD وسطياً لمياه الصرف الصحي المدنية عند استخدام مؤكسد ديكرومات البوتاسيوم حوالي (600 mg/l) أما بالنسبة لمياه الصرف الصناعية فقد تصل لعدة آلاف.

#### ١-١١ - العلاقة بين مؤشري COD وBOD ومقارباتها: [1]، [4]

إنَّ النسبة المقدرة النموذجية COD/BOD لمياه الصرف المدنية غير المعالجة تتراوح بين {1.25-3.33} ولمياه الصرف المدنية بعد المعالجة الأولية بمحطة المعالجة تتراوح بين {1.67-2.5}، وبالنظر إلى المقارنة بين مؤشر BOD ومؤشر COD والمشاكل المحيطة بهما فإننا نلاحظ ما يلي:

١- مؤشر COD دائماً أعلى من مؤشر BOD حيث إنَّه في تجربة COD سوف يتم أكسدة مركبات لا يمكن أكسدتها بتجربة BOD، أو قياسها مثل المركبات العضوية الصعبة الأكسدة البيولوجية (الليغنين مثلاً) وبعض المركبات غير العضوية التي يمكن أكسدتها كيميائياً وبالتالي تزيد من المحتوى العضوي الظاهري للعينة.

٢- هناك مواد عضوية معينة لها تأثير سام على المتعضيات الدقيقة وبالتالي تسبب خطأ في قيمة BOD.

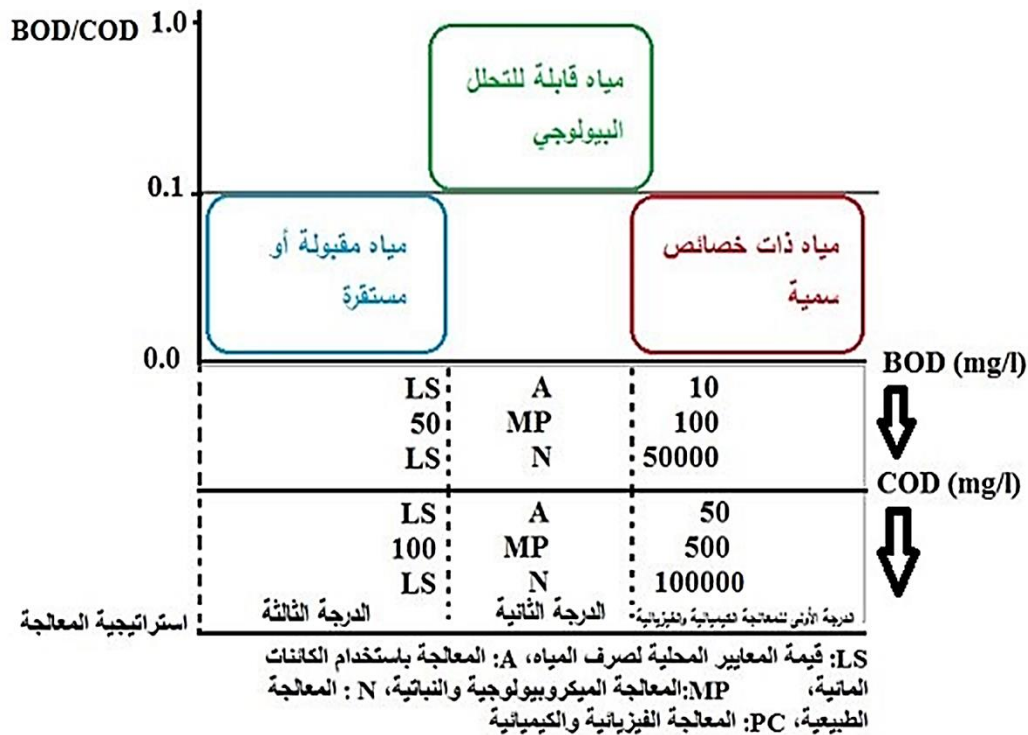
٣- في أي مياه صرف معطاة هناك إمكانية لأن يكون جزء صغير من قيمة COD ناتجاً عن أكسدة الثيوسلفات والسولفيدات والكلوريدات وغيرها من المركبات وهذا الجزء من COD لا يمكن أن يزال بشكل فعال من مياه الصرف، كما إنَّ وجود هذه المركبات يتسبب في التداخلات الشائعة أو الملبسات في قيمة COD والتي تجعلها أعلى من قيمة BOD .

٤- بالنسبة لمؤشر BOD فإنَّ العديد من الخبراء في مجال المعالجة البيولوجية يقولون بأنه إذا استطاع أحد أن يحلل شيئاً ما في قارورة BOD فإنَّه من الممكن تحليله في محطة معالجة مياه الصرف الصحي.

٥- العلاقة التي تربط بين قيمة COD وقيمة BOD لمياه الصرف المنزلية ومعظم النفايات البشرية ليست ثابتة، وتختلف بسبب الكميات المتفاوتة من المواد الصلبة والكربون المنحل في مياه الصرف وكمية مياه الشرب المستهلكة وذلك بحسب المنطقة المدروسة والعادات اليومية للسكان وطبيعة الغذاء وغيرها...

١-١٢- تأثير النسبة COD/BOD على المعالجة البيولوجية وكفاءتها حسب بعض الأبحاث والدراسات المرجعية: [7]، [8]

❖ قامت دراسة بحثية نشرت في المجلة الدولية للأبحاث الأكاديمية (IJAR) بإيجاد تصنيف يعتمد على قيمة BOD وقيمة COD والنسبة بينهما بحيث يمكننا من تصنيف المياه من حيث سميتها أو قابليتها للمعالجة البيولوجية، وطريقة المعالجة المناسبة التي تحتاجها حيث تبين الدراسة إن تراكيز BOD و COD للمياه تحدد قابلية هذه المياه للتحلل البيولوجي وتبعاً لذلك وباستخدام النسبة BOD/COD يمكن إن تصنف المياه ضمن ثلاث مجموعات (سامة- قابلة للتحلل البيولوجي- مستقرة أو قابلة للاستقرار) وبذلك يمكننا تحديد استراتيجية المعالجة المفروض اتباعها لتصبح بعد ذلك المياه الناتجة عن المعالجة قابلة وآمنة للطرح في البيئة. إن التصنيف التالي تم اقتراحه حسب الشكل المبين (١-٤):



الشكل (١-٣): التصنيف الثلاثي للمياه حسب قيمة BOD، COD ونسبة BOD/COD [7]

أفضت الدراسة إلى أنه من الممكن تصنيف المياه حسب قيمة BOD، COD والنسبة BOD/COD إلى ثلاثة أنواع:

#### ١ - المنطقة السامة (Toxic Zone):

تكون فيها النسبة BOD/COD أقل من (٠,١) وتراكيز BOD و COD المبينة في الشكل تحدد طبيعة المعالجة المطلوبة:

- $BOD > 10 \text{ mg/l}$ ,  $COD > 50 \text{ mg/l}$  يمكن استخدام المعالجة بالكائنات البحرية.
- $BOD > 100 \text{ mg/l}$ ,  $COD > 500 \text{ mg/l}$  تستخدم المعالجة الميكروبية (البيولوجية) أو المعالجة النباتية (Phytotreatment).
- $BOD > 50000 \text{ mg/l}$ ,  $COD > 100000 \text{ mg/l}$  تستخدم المعالجة الطبيعية (بحيرات الأكسدة).

وتكون الأولوية في معالجة هذه النوعية من المياه للمعالجات الفيزيائية والكيميائية قبل المعالجة المذكورة أعلاه.

#### ٢ - منطقة التحلل البيولوجي (Biodegradable Zone):

النسبة BOD/COD تقع في المجال (٠,١-١)، ويمكن ضمن المجال هذا تصنيف المادة إلى منخفضة، أو معتدلة، أو عالية القابلية للتحلل البيولوجي، وهذا يحتاج لتعمق أكبر بالدراسة.

- نحدد طريقة المعالجة المطلوبة حسب تراكيز BOD و COD كالتالي:

- $BOD < 50 \text{ mg/l}$ ,  $COD < 50 \text{ mg/l}$  و قيم BOD و COD أعلى من الحدود الدنيا المسموحة، فيمكن استخدام المعالجة بالكائنات البحرية.
- $50 \text{ mg/l} < BOD < 100 \text{ mg/l}$ ,  $50 \text{ mg/l} < COD < 500 \text{ mg/l}$  تستخدم المعالجة الميكروبية (البيولوجية) أو المعالجة النباتية.
- $100 \text{ mg/l} < BOD < 50000 \text{ mg/l}$ ,  $500 \text{ mg/l} < COD < 100000 \text{ mg/l}$  تستخدم المعالجة الطبيعية (بحيرات الأكسدة).

#### ٣ - منطقة مقبولة أو مستقرة (Acceptable and/or Stable Zone):

تصنيف المياه ضمن هذه المنطقة يعني أن المياه غير مؤذية للبيئة المحيطة، ومن الممكن إن تتفكك بمعدلات بطيئة، وتنتهي بالمنطقة المستقرة وذلك حسب قدرة الأكسدة الذاتية للمصدر الملقاة فيه، وتصنف المياه في هذه المنطقة عندما تكون النسبة BOD/COD أقل من (٠,١) وقيم

COD، BOD أقل من الحدود الدنيا المسموحة للصرف بالمصدر المائي مثلاً : COD، BOD حسب الشكل أقل من 50mg/l، وتكون أولوية المعالجة ثالثية. [7]

❖ وفي دراسة بحثية أخرى أجريت على محطات معالجة مياه المجاري في مصر، نشرت في المجلة العالمية للعلوم، تهدف لإيجاد علاقة بين الطلب البيوكيميائي للأوكسجين BOD، والطلب الكيميائي له COD في مياه الصرف الصحي لمختلف محطات المعالجة في مصر للحصول على ما يسمّى بمؤشر التحلل البيولوجي لمياه الصرف وهو نسبة BOD إلى COD.

توصل الباحث إلى ما يلي :

- تراوح مؤشر التحلل البيولوجي (BI)(Biodegradable Index) لمحطات المعالجة في مصر التي شملها البحث من ٠,٣ حتى ٠,٩٦ وهذا يشير إلى التقلب في قيمة (BI) وهكذا فإن نسبة ثابتة لهذا المؤشر لا يمكن افتراضها ما لم تكن المحطات متطابقة من حيث الظروف البيئية، وهذا من الصعب تحقيقه عملياً.
- مياه الصرف الصحي الخام ترتبط فيها قيمة  $BOD_5$  مع قيمة COD والارتباط خطي إيجابي.
- متوسط مؤشر التحلل البيولوجي لمياه المحطات المدروسة كان (٠,٦٧) وهذا يشير إلى أن هذه المياه قابلة للتحلل البيولوجي بشكل كبير.
- أظهرت الملاحظة الواسعة لمستويات COD و BOD لنفس مياه الصرف الصحي إن النسبة COD/BOD لها قبل المعالجة أو بعدها تبقى ثابتة، ولا تتغير بشكل كبير مع مرور الوقت، وهذا يساعد في الحصول على قيمة مؤشر BOD من معرفة قيمة COD مباشرةً ومع ذلك فإنه يجب من فترة لأخرى التأكد من صحة هذه النسبة، وذلك بسبب إمكانية حصول تغيرات في المناخ، أو بالعادات الاجتماعية، أو خصائص إمداد مياه الشرب وتوافر المياه وعدد السكان، أو وجود نفايات صناعية.
- إذا كانت النسبة  $BOD/COD > 0.6$  فالمياه قابلة للتحلل البيولوجي بشكل كبير، أما إذا كانت أقل من 0.6 وأكبر من 0.3 فإن عملية التحلل البيولوجي سوف تكون بطيئة نوعاً ما وتحتاج لأحياء أكثر استقراراً.
- أما إذا كانت النسبة  $BOD/COD < 0.3$  فإن هذه المياه لا يمكن معالجتها بيولوجياً لأن فيها مواد سامة أو خصائصها الحرارية غير مناسبة. [8]

## الفصل الثاني

( المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي )



## الفصل الثاني

### ( المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي )

#### ٢-١- مقدمة:

إنَّ الغرض من عملية المعالجة البيولوجية هو تحويل المواد العضوية المنحلة و المعلقة ضمن المياه الملوثة التي لم تترسب ضمن أحواض الترسيب الأولية إلى مواد ثابتة قابلة للترسيب أو الطفو وذلك بتنشيط البكتريا والكائنات الدقيقة الحية، وتأمين الأوكسجين اللازم لها عن طريق تعريضها للهواء، أو إدخال الهواء المضغوط، أو الخلط المستمر للمياه الملوثة، كما يتم التنشيط أيضاً عن طريق إعادة جزء من الحمأة المترسبة ضمن أحواض الترسيب النهائية بنسبة معينة مدروسة إلى حوض التهوية حيث تعمل على المحافظة على تركيز الكتلة الحيوية داخل الحوض.

#### ٢-٢- مكونات عملية المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي: [9]

تحتاج عملية المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي توفر عدة عوامل هي:

- ١- الأحياء الدقيقة المسؤولة عن عملية المعالجة.
- ٢- مصدر للإمداد بالأوكسجين اللازم لتنفس الأحياء الدقيقة.
- ٣- المواد المغذية والعضوية في مياه الصرف التي تشكل غذاء للأحياء الدقيقة.
- ٤- المزج الذي يؤمن أكبر فرصة لتماس الأحياء الدقيقة مع الأوكسجين والغذاء.

#### ٢-٢-١- الحمأة :

يمكن تعريف الحمأة بأنها مجموع الأحياء الدقيقة والبكتيريا التي تتفاعل وتتغذى على المواد العضوية الموجودة في مياه الصرف الصحي، ومن ثم تنمو وتتجمع وتشكل مستعمرات (ندف) قابلة للترسيب أو الطفو مما يسهل إزالتها من المياه بأساليب المعالجة الميكانيكية.

تشكل البكتيريا حوالي ٩٥% من كتلة الحمأة، وهي تنمو وتتكاثر وتؤمن طاقتها باستهلاك المواد الموجودة في مياه الصرف الصحي ( الكربوهيدرات والبروتينات والدهم وغيرها من المواد القابلة للهضم العضوي).

#### ٢-٢-٢- الأنزيمات:

هي مركبات تنتجها الأحياء الدقيقة، وعملها هو المساعدة في حدوث التفاعل البيوكيميائي، وهي تساعد البكتيريا في عملية تفكيك المواد الغذائية، وإعادة بنائها إلى مكونات جديدة تحتاجها في عملية النمو والتكاثر، وتؤدي الأنزيمات عملها بكفاءة فقط عندما تكون الظروف البيئية ملائمة،

وإذا لم تكن الظروف ملائمة فإنّ الأنزيمات لا تقوم بعملها بنحو جيد وهذا يؤدي إلى عدم قيام البكتيريا بعملها، وقد يؤدي إلى تموتها.

#### ٢-٢-٣ - الأوكسجين المنحل:

يزود نظام الحمأة المنشطة بالأوكسجين باستخدام مراوح مغمورة جزئياً تثبت فوق سطح الحوض الخاص بالحمأة المنشطة، أو باستخدام مضخات لضخ الهواء عبر أنابيب تنفث الهواء في الجزء المغمور منها في داخل حوض التهوية، وبهذا يتم توفير الأوكسجين الضروري لعملية الهدم والبناء اللازمة لنمو البكتيريا الهوائية، إنّ بعض البكتيريا لها مدى واسع من حيث تركيز الأوكسجين، فالغالبية تحتاج من ٠,١ - ٠,٣ مغ / لتر كحد أدنى، وللعمل بشكل جيد في نظام الحمأة المنشطة من الضروري إنّ يكون تركيز الأوكسجين الذائب ٢ مغ/ لتر على الأقل، لإتاحة الأوكسجين للبكتيريا الموجودة داخل كتل النمو البكتيري " الندف"، وبالتالي ضمان بقائها حية، ومن ثم ضمان عدم تفكك الندف التي تشكلها، وذلك ليسهل ترسيبها. لذا كان قياس الأوكسجين في الحمأة المنشطة ضرورياً ليضاف إلى معلومات أخرى تعطي في مجملها تصوراً عن وضع البكتيريا التي يتم تربيتها في المفاعل الحيوي. كما يمكن استخدام معيار الأوكسجين الممتص للاستدلال على معدل التنفس، ومن ثم فهم حجم المادة الغذائية المتاحة في المفاعل حيث يدل معدل التنفس العالي إلى إنّ حجم المادة الغذائية نسبةً للبكتيريا الموجودة كبير (F/M عالية) والحمأة الأحدث عمراً، أما في حال معدل تنفس منخفض فهذا يشير للحمأة الأطول عمراً (قديمة) وF/M منخفضة، ووحدة القياس لمعدل التنفس تقدّر بالمليغرام من الأوكسجين اللازم خلال ساعة لكل غرام من الحمأة المنشطة. (mgO<sub>2</sub>/hr/gm MLSS) .

#### ٢-٢-٤ - المادة الغذائية المتاحة:

البكتيريا الموجودة في نظام الحمأة المنشطة والمسؤولة عن إزالة المواد العضوية الذائبة تحتاج لضمان نشاطها، وزيادة قدرتها على الإزالة - في خلال زمن المكث الذي يوفره النظام - إلى استمرار وجود الغذاء المناسب لها كمصدر للطاقة. نستطيع تصور وضع المغذيات في النظام بقياس قيم COD و BOD للمياه الداخلة على النظام أو قياس المصادر الكربونية المتاحة مثل حمض البروبونيك وحمض الخل (الأحماض العضوية المتطايرة)، وكذلك بقياس الأمونيا والفوسفور المنحل غير الداخل ضمن الكتلة الحيوية، وذلك بقياسه في رشيح مياه الحمأة المنشطة من خلال غشاء ترشيح ٠,٤٥ ميكرومتر. المغذيات الأساسية مثل الكربون والنيتروجين والفوسفور توجد عادة في مياه صرف المدن بشكل متوفر وفي حالة نقص المصدر الكربوني يمكن إضافته للنظام لتنشيطاً للبكتيريا وفي هذه الحالة

يمكن إضافة الايثانول، أو الميثانول، أو الصوديوم أسيتيت، أو مياه صرف غنية بالمغذيات مثل مياه صرف مصانع المواد الغذائية، أما المشاكل المتعلقة بنقص المغذيات مرتبطة عموماً بالصرف الصناعي أو سوء إدارة النظام.

كما إن نوعية المصدر الكربوني المتاح للبكتيريا يؤثر على المهام المناطة بالنظام علاوة على خفض الحمل العضوي مثل نزع النيتروجين، وتخفيض الفوسفور حيث ترتبط كفاءة هذه العمليات بسهولة استخدام المصدر الكربوني المتاح ارتباطاً طردياً.

#### ٢-٢-٥ - الخلط:

الخلط ضروري لجعل الأوكسجين والغذاء في متناول البكتيريا ولإبعاد النواتج الأيضية عنها، مصادر التهوية قد تشكل أيضاً مصادر للخلط في النظام حيث إن الهواء المضخوخ له دور مهم في المحافظة على الكتلة الحيوية (الحمأة) بشكل معلق داخل الحوض وعدم السماح لها بالترسب إلى القاع، وتأمين مزجها جيداً مع مياه المجاري وما تحمله من غذاء، كما أن الخلط الزائد قد يؤثر على تماسك الكتلة الحيوية وبالتالي يؤثر سلباً على عملية الترسيب.

#### ٢-٢-٦ - تركيز أيون الهيدروجين، ودرجة الحرارة:

إن تركيز أيون الهيدروجين يؤثر في فاعلية إنزيمات الأيض التي تستخدمها البكتيريا في عملية الهضم اللازمة لخفض الحمل العضوي، والتركيز الأمثل لأيون الهيدروجين في الحمأة المنشطة (٧,٥-٧) وانخفاضه عن ذلك قد ينتخب كائنات حية غير مفيدة في المعالجة، أو لها آثار سلبية عليها، كما إن لدرجة الحرارة أيضاً تأثير مشابه على سرعة التفاعل، ولهما أيضاً دور في انتخاب البكتيريا أو الكائنات غير المرغوب فيها.

## ٢-٣- أنواع المعالجة البيولوجية: [9]

يمكن تقسيم المعالجة البيولوجية إلى ثلاثة أقسام رئيسية :

- أ- المعالجة بالتماس و التثبيت: يتم في هذا النظام تكوين طبقة، أو غشاء رقيق من مواد هلامية تحتوي على كمية من الكائنات الحية الدقيقة و البكتريا على سطح وسط التلامس، حيث تقوم الطبقة الهلامية بأكسدة و تثبيت المواد العضوية الموجودة بالمياه الملوثة وتضمّ كلاً من المرشحات الحصوية البطيئة و السريعة، المرشحات البلاستيكية، و الأقراص البيولوجية.
- ب- بحيرات الأكسدة: تشمل بحيرات الأكسدة الطبيعية (اللاهوائية، الاختيارية، والإنضاج) وبحيرات الأكسدة المهواة.

ت- الحمأة المنشطة: و تتضمن عدة طرائق وهي : الحمأة المنشطة التقليدية، التهوية المطولة، التهوية المرحلية، التحميل المرحلي، التلامس و التثبيت، خنادق الأكسدة، المزج الكامل و طريقة التحميل العالي.

## ٢-٤- المعالجة البيولوجية بالحمأة المنشطة: [9]

أنظمة الحمأة المنشطة هي أنظمة حيوية تشكل البكتيريا ٩٥% تقريباً من حجم الكتلة الحيوية الموجودة فيها، لذا فإنه للتحكم في هذا المفاعل الحيوي يجب إن يتم التحكم بالنمو الميكروبي، وللتحكم في النمو الميكروبي يجب أن يتم التحكم في العوامل المؤثرة عليه. بكتيريا الحمأة المنشطة كفيله بإزالة الملوثات العضوية في وجود الأكسجين الذي يوفره النظام، وبهذا تستطيع البكتيريا خفض الحمل العضوي وخاصةً الذائب الذي لا يمكن للمحطة أن تزيله بالتريسيب أو الترشيح ، وهذا الخفض يكون بتحويله من مادة عضوية غير حية ذائبة أو معلقة إلى مادة عضوية حية مستقرة قابلة للتريسيب أو الطفو.

تضمّ بكتيريا الحمأة المنشطة العديد من أجناس (Heterotrophic Bacteria) ومنها أجناس: Achromobacter , Enterobacter, Pseudomonas, Escherichia, Zoogloea, Florobacterium, Micrococcus.

كما أنّ العديد من الأجناس البكتيرية يعدّ وجودها شائعاً، وإن كان غير مرغوب فيه، حيث يرتبط بمشاكل في النظام مثل مشاكل ضعف التريسيب بسبب الرغوة أو التكتل والطفو، ومن أمثلة هذه البكتيريا المسببة للرغوة الأجناس:

Nocardia, Gordonia, Mycobacteria, Tsakmurella, Rhodococcus, Skermania, Dietzia, Nostocoida, Microthrix, Corynebacterium.

ومن الأجناس المرتبطة أيضاً بمشاكل التكتل أو الكتل الطافية:

Haliscomenobacter, Sphaerotilus , Thiothrix.

ومن الأجناس المرتبطة بنزع النيتروجين:

Nitrosomonas, Nitrosolabus, Nitrosococcus, Nitrococcus, Nitrosospira  
Nitrospira , Nitrobacter.

## ٢-٥- أهم الاعتبارات التصميمية لطريقة الحمأة المنشطة: [9]

أ- مدة التهوية (Aeration Period): إن زمن التهوية تجريبياً يحدد معدل التحميل أي معدل تدفق مياه الصرف لحوض التهوية، ويمكن حساب زمن التهوية من العلاقة:

$$T = V/Q$$

حيث T: زمن التهوية (يوم) ، V: حجم حوض التهوية (م<sup>٣</sup>)، Q: دفق مياه الصرف لحوض التهوية (م<sup>٣</sup>/يوم).

و بضرب النتيجة بـ (٢٤) نحصل على زمن المكوث بالساعة، و يتغير زمن التهوية حسب نوع طريقة المعالجة، فمثلاً من أجل الحمأة المنشطة التقليدية يتراوح من ٤ إلى ٨ ساعات، أما بالنسبة للتهوية المطولة فيتراوح بين ١٨ إلى ٣٦ ساعة.

إن الأوكسجين المطلوب ضمن حوض التهوية يقدر بـ ١,٢-٢ كغ أوكسجين لكل ١ كغ مزال من BOD، و طاقة المزج المطلوبة تقدر بـ كيلو واط ساعي لكل ١ كغ BOD مزال.

## ب- التحميل الحجمي للمواد العضوية القابلة للأكسدة البيولوجية BOD<sub>5</sub>:

هناك مؤشر تحميل تجريبي آخر هو التحميل الحجمي والذي يعني حمولة BOD<sub>5</sub> المطبقة على متر مكعب من حجم حوض التهوية، و الذي يعرف أيضاً بالتحميل العضوي و الذي يتغير حسب طريقة المعالجة فمثلاً: من أجل الحمأة المنشطة التقليدية يتراوح من (٣,٠-٠,٧ kg BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>) وأما بالنسبة للتهوية المطولة فيتراوح بين (٢,٠-٠,٤ Kg BOD<sub>5</sub> / m<sup>3</sup>).

## ت- نسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة Ratio F/M Food to Microorganisms:

و هي نسبة الحمل العضوي في مياه المجاري إلى الكائنات الدقيقة الحية ضمن أحواض التهوية. إن الحمولة العضوية (BOD) ضمن النظام يشار إليها بالغذاء (F)، أما المواد الصلبة المعلقة الميكروبية ضمن النظام فيشار إليها بـ (M)، و من هنا جاءت النسبة (F/M) وهذه النسبة تعدّ المؤشر الأكثر أهمية في أنظمة الحمأة المنشطة، وكل نظام من أنظمة الحمأة المنشطة له نسبة معينة خاصة به، و يمكن لهذه النسبة أن تتغير تبعاً للنوعية المطلوبة للمياه المعالجة النهائية، كما أنها تعتبر العامل الرئيس الذي يتحكم بنزع المواد الصلبة العضوية القابلة للأكسدة البيولوجية (BOD)، وكلما كانت هذه النسبة صغيرة كلما زاد معدل الإزالة للتلوث العضوي.

يجب على المهندس المصمم أن يحدد النسبة (F/M) التي سيتم تشغيل محطة المعالجة على أساسها قبل تصميم حجم حوض الهوية، وأثناء تشغيل المحطة يجب التحكم بهذه النسبة لتحقيق المواصفات المطلوبة للمياه المعالجة النهائية. تعطى النسبة (F/M) بالعلاقة:

$$(F / M_v) = \{Q*(X_1-X_2) \} / \{V*M_v\}1/day$$

حيث :

X1: تركيز BOD<sub>5</sub> في المياه الملوثة الداخلة mg/l.

X2: تركيز BOD<sub>5</sub> في المياه الملوثة المعالجة النهائية mg/l.

Mv : وهي تركيز المواد الصلبة المعلقة الطيارة ( MLVSS ) ضمن حوض التهوية mg/l.

V : حجم حوض التهوية بالمتر المكعب (m<sup>3</sup>).

Q: تدفق مياه الصرف الداخلة إلى حوض التهوية (m<sup>3</sup>/day).

إذا كانت النسبة (F/Mv) بين (٠,٧٥ - ١) فإن النظام يدعى بنظام الحمأة المنشطة عالي التحميل. وتتغير النسبة حسب نوع طريقة المعالجة فمثلاً من أجل الحمأة المنشطة التقليدية تتراوح نسبة (F/Mv) من (٠,٤ إلى ٠,٧) بالنسبة للمناطق المعتدلة وبين (٠,٩ - ٠,٧) بالنسبة للمناطق الحارة، أما بالنسبة للتهوية المطولة فتتراوح نسبة (F/Mv) من (٠,١ إلى ٠,٢) بالنسبة للمناطق المعتدلة وبين (٠,٢ - ٠,٣) بالنسبة للمناطق الحارة مع العلم إن تركيز المواد الصلبة المعلقة الطيارة MLVSS تساوي من ٧٠ إلى ٨٠% من تركيز المواد الصلبة المعلقة (MLSS) ضمن حوض التهوية بالنسبة لطريقة الحمأة المنشطة التقليدية، وتساوي من ٥٠ إلى ٦٠% من MLSS بالنسبة لطريقة التهوية المطولة.

عند توفر التشغيل الجيد لمحطة المعالجة ومن أجل نسبة (F/Mv) تتراوح بين (٠,٢٥ - ٠,٥٠) فإن تراكيز المواد الصلبة المعلقة (SS) ضمن الصبيب النهائي المعالج تكون منخفضة بشكل كبير، و بالتالي فإن السبب الرئيس لتصميم محطات معالجة على أساس نسبة (F/Mv) منخفضة هو الحصول على إنتاج أدنى للحمأة، وذلك بسبب التكلفة العالية لمعالجة الحمأة الفائضة ومن ثم التخلص الآمن منها. وعلى سبيل المثال ومن أجل نسبة (F/Mv) تساوي ٠,٢٥ فإن كمية المواد الصلبة الطيارة الفائضة VSS أي الحمأة الفائضة تبلغ ٠,٣٨ كغ لكل كغ مزال من BOD<sub>5</sub> ، وأما بالنسبة لـ (F/Mv) تساوي ٠,٧٥ فإن كمية المواد الصلبة الطيارة الفائضة (VSS) أي الحمأة الفائضة تبلغ ٠,٦ كغ لكل كغ مزال من BOD<sub>5</sub> أي أن الزيادة تبلغ ٥٨%. إن كل طريقة من طرق المعالجة بالحمأة المنشطة لها قيم تقريبية من تركيز المواد الصلبة المعلقة ضمن حوض التهوية فمثلاً : MLSS=1500-3000 mg/l بالنسبة للحمأة المنشطة التقليدية

(أي تتضمن معالجة أولية تشمل المناخل وغرف إزالة الرمال وأحواض ترسيب أولية، ثم معالجة ثانوية وتشمل أحواض تهوية للمعالجة البيولوجية وأحواض ترسيب ثانوية حيث يعاد جزء من الحمأة المنشطة المترسبة ضمنها الى أحواض التهوية، وتصرف الحمأة الفائضة المتبقية إلى أحواض تكتيف الحمأة، ومن ثم معالجتها قبل التخلص منها)، بينما تبلغ  $MLSS = 3000 - 8000 \text{ mg/l}$  بالنسبة للتهوية المطولة.

#### ث - حجم حوض التهوية:

يمكن أن يكون حوض التهوية مربعاً، أو مستطيلاً، أو دائرياً و يحسب حجمه من العلاقة:

$$V = Q * (X_1 - X_2) / ((MLVSS) * (F/M_v)) \text{ m}^3$$

وأما زمن المكوث (باليوم) ضمن حوض التهوية فيحسب من العلاقة :

$$T = (X_1 - X_2) / ((MLVSS) * (F/M_v)) \text{ day}$$

#### ج - عمر الحمأة (SRT) Solids Retention Time :

إنَّ عمر الحمأة يعد مؤشراً تشغيلياً يتعلق بالنسبة  $(F/M_v)$ ، ويمكن تعريفه بالزمن الوسطي الذي تبقى خلاله المواد الصلبة المعلقة تحت التهوية، لذلك فهو يعبر عن زمن بقاء المواد الصلبة البيولوجية ضمن النظام. وحيث إنَّ زمن التهوية يتنوع من ساعات معدودة إلى ثلاثين ساعة، فإننا نجد إنَّ عمر الحمأة يقاس بالأيام، وعادة ما يعبر عن عمر الحمأة (يوم) بالنسبة بين كتلة المواد الصلبة الطيارة (MLVSS) ضمن حوض التهوية إلى كتلة المواد الصلبة المعلقة التي تغادر النظام يومياً. بالنسبة لطريقة الحمأة المنشطة التقليدية يعطى عمر الحمأة باليوم بالعلاقة:

$$SRT = (V * X) / (Q_w * X_w + Q_e * X_e)$$

حيث:

V: حجم حوض التهوية بالمتري المكعب.

X: تركيز المواد الصلبة الطيارة ضمن حوض التهوية  $\text{mg/l}$ .

Q<sub>w</sub>: تدفق الحمأة الفائضة  $\text{m}^3/\text{day}$ ، Q<sub>e</sub>: تدفق المياه النهائية المعالجة  $\text{m}^3/\text{day}$ .

X<sub>w</sub>: تركيز المواد الصلبة الطيارة ضمن الحمأة الفائضة المصروفة  $\text{mg/l}$ .

X<sub>e</sub>: تركيز المواد الصلبة الطيارة ضمن المياه المعالجة النهائية  $\text{mg/l}$ .

ويقدَّر عمر الحمأة ما بين (٥-١٥) يوم للحمأة المنشطة التقليدية و بين (٢٠-٣٠) يوم للتهوية المطولة.

### ح- مؤشر حجم الحمأة (SVI) :

إنّ مؤشر حجم الحمأة أو مؤشر الحمأة يستخدم للدلالة على الحالة الفيزيائية لإنتاج الحمأة ضمن نظام التهوية البيولوجية، وهو يشرح درجة تركيز الحمأة ضمن النظام، و من ثم يقرر معدل الحمأة المنشطة المعادة من حوض الترسيب إلى حوض التهوية للمحافظة على القيمة المطلوبة للمواد الصلبة (MLSS)، وكذلك ضبط النسبة (F/M) ضمن حوض التهوية لإتجاز درجة المعالجة المطلوبة.

يعرّف مؤشر الحمأة بأنه الحجم (ml) الذي يشغله غرام من المواد الصلبة الجافة الموجودة بالسائل المعلق (ضمن حوض التهوية) بعد الترسيب لمدة ٣٠ دقيقة، ويحدد مؤشر الحمأة تجريبياً حيث تؤخذ عينة الفحص (لتر واحد) من قرب مخرج حوض التهوية، ويوضع ضمن أسطوانة مدرجة ليترسب خلال ٣٠ دقيقة وبالتالي فالحمأة المترسبة بالميلتر (ml) تعبّر عن حجم الحمأة (V). وهذا الحجم بالميلتر لكل لتر من السائل المعلق (الموجود ضمن حوض التهوية) سوف يعبر عن كمية الحمأة ضمن السائل بـ ml/l.

إذا أعدنا مزج الحمأة المترسبة ضمن العينة السابقة، وقمنا بعدها باتباع الطريقة النظامية لتحديد تركيز المواد الصلبة المعلقة (mg/l)، و ليكن X فيمكن عندها حساب مؤشر الحمأة بالعلاقة:

$$SVI = (V/X) * 1000 \text{ ml/gr}$$

وحتى نحصل على ترسيب جيد للحمأة يجب إنّ تكون قيمة مؤشر الحمأة ما بين (٥٠-١٥٠ مل/غ).

### خ- تقدير الفائضة :

إنّ الحمأة الناتجة ضمن أحواض التهوية يجب صرف جزء منها خارج النظام للحفاظ على تركيز ثابت للكتلة الحيوية المعلقة ضمن حوض التهوية، وعادة ما تزداد كمية الحمأة الفائضة بزيادة النسبة (F/M)، وفي حالة مياه الصرف المنزلية فإنّ كمية الحمأة الفائضة تقدر بـ (٠,٥-٠,٧٥) كغ لكل كغ مزال من BOD وذلك بالنسبة لنظام الحمأة المنشطة التقليدية ذات نسبة F/M تتراوح بين (٠,٢٠-٠,٥٠)، بينما تقدّر كمية الحمأة الفائضة بالنسبة لطريقة التهوية المطولة بـ (٠,١٦-٠,٣٠) كغ حمأة جافة لكل كغ مزال من BOD كما يمكن تقديرها تبعاً لبعض المراجع العلمية على أساس ٣٠ غرام حمأة لكل شخص يومياً.

يمكن صرف الحمأة الفائضة من خط الحمأة المنشطة المعادة من حوض الترسيب الى حوض التهوية، أو يصرف مباشرة من حوض التهوية نفسه، والحمأة الفائضة تنقل الى منشآت خاصة لمعالجة الحمأة.



## ٢-٦- المبادئ العامة التي يجب إنَّ نأخذها بعين الاعتبار عند التعامل مع منظومة المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي: [4]، [10]

- ١- النسبة (C:N:P) لمياه الصرف المنزلية عادة تكون مثالية وهي من المفروض إنَّ تتراوح بالمجال (١:٥:١٠-١:٢٠:١٠٠) حتى يكون النمو البيولوجي مثالياً.
- ٢- قيمة BOD الأفضل للمعالجة البيولوجية يقع في المجال (٦٠-٥٠٠) مغ/ل حيث إنَّ القيمة العليا للمجال هي الحد الأقصى لاستطاعة منظومة التهوية، والصرف ذو القيمة الأعلى من ٥٠٠ مغ/ل تتم معالجته بشكل ناجح جداً في حال وجود معالجة لا هوائية مسبقة، وفي حال استخدام الأوكسجين النقي بدل الهواء في منظومة التهوية لأنَّ فعاليته أكبر بالمعالجة.
- ٣- المعالجة البيولوجية فعالة بسهولة بإزالة (٩٥-٩٨ %) من BOD الداخل لها ولكن إنَّ أردنا فعالية أكبر من ذلك فإنَّ إجراءات إضافية يجب اتخاذها.
- ٤- لا يمكن إنَّ نزيل كل COD الداخل في نظام المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي، وذلك بسبب الحاجة لوجود أحواض ذات حجوم هائلة وأيضاً بسبب وجود جزء من COD غير قابل للتحلل البيولوجي.
- ٥- أنظمة المعالجة البيولوجية لا تتقبل صدمات الأحمال جيداً فهي حساسة جداً للصدمات، وعندها فإنَّ المعالجة المسبقة، أو أحواض التوازن تكون ضرورية لمواجهة الفعاليات متنوعة التركيز لمياه الصرف لأكثر من ١٥٠ %، أو إذا كان هذا الصرف في ذروته ذا تراكيز BOD تزيد عن ١٠٠٠ مغ/ل.
- ٦- أنظمة المعالجة البيولوجية لا تتقبل التغير الشديد في الأحمال الهيدروليكية أيضاً، فالتدفقات النهارية المتغيرة لأكثر من ٢٥٠ % يمكن أنَّ تسبب مشكلة أساسية لأنها سوف تسبب فقداً بالكتلة الحيوية في أحواض التهوية.

## الفصل الثالث

### محطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة حمص

## الفصل الثالث

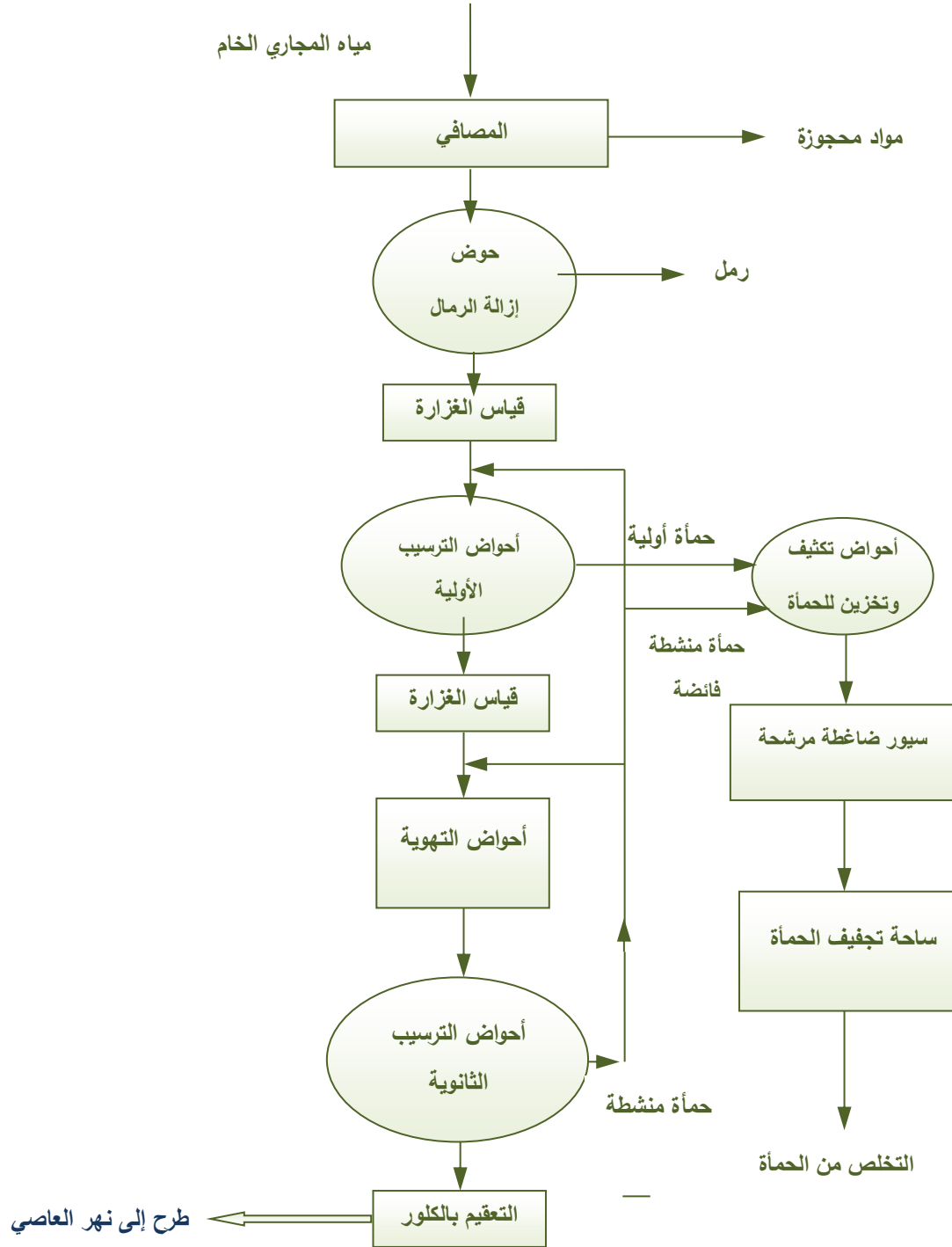
### (محطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة حمص)

#### ٣-١ - مقدمة:

تعالج محطة معالجة مياه مجاري حمص مياه المجاري المنزلية، ومياه صرف المنشآت الصناعية والتجارية والحرفية الموجودة ضمن الإطار التنظيمي لمدينة حمص، بالإضافة لمياه الأمطار المتساقطة ضمن الحيز الجغرافي للأحواض الساكنة لشبكة مجاري مدينة حمص، وبالتالي فإن كمية مياه المجاري المعالجة ونوعيتها تتغير بشكل مستمر مع الزمن تبعاً لكمية مياه المجاري الناتجة عن المصادر المتنوعة المذكورة أعلاه ونوعيتها، ومن أجل الحصول على أفضل كفاءة تشغيل لمحطة معالجة مياه المجاري حمص يتم ضبط معايير تشغيل وحدات المعالجة بشكل يومي بما يتناسب مع كمية ملوثات مياه المجاري ونوعيتها، حيث يتم ضبط مجموعة من معايير التشغيل الرئيسية مثل: معدل سحب الحمأة من أحواض الترسيب - كمية الحمأة المنشطة الفائضة - نسبة الحمأة المنشطة الراجعة إلى أحواض المعالجة البيولوجية - نسبة المواد المغذية إلى الكتلة الحيوية في الأحواض البيولوجية - ... الخ، مما ينعكس على كمية الحمأة الناتجة عن أحواض الترسيب الأولية (الحمأة الأولية)، وأحواض الترسيب الثانوية (الحمأة المنشطة الفائضة) ونوعيتها، ويتم تخفيض رطوبة مزيج هاتين الحمأتين في منظومة خاصة تتضمن تصميمياً: تكثيف الحمأة في أحواض تكثيف تعمل على مبدأ النفاثة - معالجة الحمأة كيميائياً بإضافة بوليمرات تساعد على تخثير الحمأة قبل معالجتها ميكانيكياً - معالجة ميكانيكية لنزح الماء من الحمأة بواسطة السيور الضاغطة المرشحة - تخزين الحمأة وتجفيفها في ساحة تخزين الحمأة.

#### ٣-٢ - وحدات المعالجة في محطة معالجة مياه مجاري حمص: [11]، [12]

تم تصميم محطة المعالجة بحمص عام 1978 وفق المخطط الموضح في الشكل (٣-١):



الشكل (٣-١): مراحل المعالجة في محطة المعالجة بحمص

حيث تتضمن محطة المعالجة مراحل المعالجة التالية:

٣-٢-١ - مرحلة المعالجة الفيزيائية والميكانيكية: وتستخدم هذه المرحلة في كافة محطات معالجة مياه المجاري ولا يمكن الاستغناء عنها، وتضمّ في محطة معالجة مياه مجاري حمص الوحدات التالية:

- المصافي (Screens): وعددها اثنتان كلّ مصفاة مكوّنة من مجموعة من القضبان القوسية (عرض القضيب 13mm وتباعد القضبان 19mm)، تشكل مصفاة مائلة ضمن قناة مستطيلة عمقها (2.5m) وعرضها (1.9m)، والارتفاع الأعظمي لمياه المجاري ضمن القناة (1.36m)، تعمل آلية التنظيف (الأمشاط) للمصافي بشكل أوتوماتيكي مرتبط مع ارتفاع منسوب مياه المجاري أمام المصفاة، وهذه الأمشاط تقوم بدورها برفع المواد المحبوزة إلى سير يقوم بنقل بقايا المصافي إلى حاويات، ليتمّ ترحيلها إلى مكب القمامة.
- حوض إزالة الرمال (Grit removal Tank): وهو حوض وحيد دائري الشكل لترسيب الرمال مجهز بمعدات جمع الرمال وإزالتها وفق القيم التصميمية التالية: قطر الحوض (11m)، ويبلغ عمق المياه الأعظمي (1.26m)، سرعة المياه عند التدفق الأعظمي (0.24m/sec)، يزيل الحوض كافة حبيبات الرمال التي يزيد قطرها عن (0.21mm) في حالة الطقس الجاف، وفي حالة الطقس الرطب يزيل كافة حبيبات الرمال التي يزيد قطرها عن (0.3mm)، يتمّ تجميع الرمال في حجرة جانبية بواسطة كاشط دوار ثمّ تتعرض الرمال إلى غسيل في أثناء رفعها إلى حاوية مخصصة لذلك لترحيلها مع الحمأة إلى مكب الحمأة.
- أحواض الترسيب الأولية (Primary Settling Tanks): وهي ثمانية أحواض دائرية ذات جريان شعاعي أرضيتها مائلة باتجاه قمع مركزي لتجميع الحمأة بواسطة كاشط دوار، وللحوض المواصفات التالية:
  - الأبعاد الرئيسية: قطر الحوض (32m)، ارتفاع الجدار الجانبي (2.3m).
  - المعايير التصميمية:
    - عند التدفق الأعظمي في الطقس الجاف: زمن الترسيب (2 hour)، الحمولة السطحية (36m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d)، معدل الجريان المحيطي (290m<sup>3</sup>/m.d)، كفاءة إزالة المواد الصلبة العالقة بحدود (60%).
    - عند التدفق الأعظمي في الطقس الرطب: زمن الترسيب (1.57 hour)، الحمولة السطحية (46m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d)، معدل الجريان المحيطي (367m<sup>3</sup>/m.d)، كفاءة إزالة المواد الصلبة العالقة بحدود (55%).
    - كفاءة إزالة الأوكسجين الحيوي المطلوب بحدود (35%).

- آلية العمل: تدخل مياه المجاري من مركز الحوض ويتم توزيعها بواسطة أسطوانة تهدئة وتوزيع، ويقوم كاشط دوار بتجميع الحمأة المترسبة في قعر الحوض إلى قمع مركزي حيث يتم سحب الحمأة بواسطة سكر تفريغ من أسفل ومركز الحوض تحت تأثير فرق الضغط الهيدروستاتيكي بين منسوب الماء ضمن الحوض وفوهة تفريغ الحمأة، أما المياه المعالجة فتتجمع في قناة محيطية ذات ميل طولي إلى مصرف يقود المياه إلى مرحلة المعالجة اللاحقة.

٣-٢-٢- مرحلة المعالجة البيولوجية: وهي تعتمد مبدأ المعالجة بالحمأة المنشطة يتم فيها هضم المواد العضوية بتأمين ظروف هوائية ملائمة ضمن أحواض التهوية، ومن ثم ترسيب المياه المعالجة بيولوجياً في أحواض الترسيب الثانوية، وتضم هذه المرحلة في محطة المعالجة بحمص الوحدات التالية:

- أحواض التهوية (Aeration Tanks): وهي اثنا عشر حوضاً مستطيلاً تعمل على مبدأ المزج الكامل الموحد، ونظام التهوية السطحية لتدفقات كتلية متتالية، الحوض مزود بخمسة أجهزة تهوية سطحية، وللحوض المواصفات التالية:
- الأبعاد الرئيسية: الطول (60m)، العرض (12m)، العمق (5m).
- المعايير التصميمية:

- زمن المكوث عند التدفق الوسطي (6.19 hour).
- تركيز المواد الصلبة العالقة في الحوض (MLSS) الوسطية (3000mg/l).
- وتركيز الـ BOD الوسطي بحدود (330 mg/l).
- نسبة المواد المغذية إلى الكتلة الحيوية (F/M) الوسطية بحدود (0.6).
- حمل الـ BOD الحجمي الوسطي بحدود (1.22kg BOD/m<sup>3</sup>.d).
- عمر الحمأة (SRT) الوسطي بحدود (2.95 day).

- آلية العمل: تدخل مياه المجاري الناتجة عن أحواض الترسيب الأولية ممزوجة بكمية كافية من الحمأة المنشطة الراجعة، تقدر بحدود (70% - 100%) من مياه المجاري، ويتعرض المزيج إلى تهوية متقطعة تؤمن الأوكسجين المنحل اللازم للبكتيريا لتقوم بهضم المواد العضوية وفق معايير التشغيل المذكورة أعلاه.

- أحواض الترسيب الثانوية (Secondary Settling Tanks): وهي ثمانية أحواض دائرية ذات جريان شعاعي أرضيتها أفقية، وللحوض المواصفات التالية:
- ❖ الأبعاد الرئيسية: قطر الحوض (28m)، ارتفاع الجدار الجانبي (3m).
- ❖ المعايير التصميمية: زمن الترسيب الوسطي بحدود (1.52 hour)، الحمولة السطحية الوسطية بحدود (37m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d)، معدل الجريان المحيطي الوسطي (221m<sup>3</sup>/m.d).

❖ آلية العمل: تدخل مياه المجاري من مركز الحوض وتوزع من خلال فتحات مزودة بحواجز تهدئة، ويتم سحب الحمأة بواسطة أنابيب محمولة على كاشط دوار بحيث تسحب هذه الأنابيب الحمأة من قعر الحوض على مبدأ السيفون إلى حوض تجميع في مركز حوض الترسيب، ثم تنتقل تحت تأثير فرق الضغط الهيدروستاتيكي المتولد بين منسوب المياه في الحوض ومنسوب فوهة تفريغ الحمأة في حجرة جانبية.

٣-٢-٣ - مرحلة تعقيم بالكلور (Chlorination Tank): وتتضمن حوضاً مستطيلاً بأبعاد (30m×35m) بداخله قواطع تقسمه إلى ممرات على شكل متاهة تؤمن زمن تماس مع الكلور بحدود (30 min).

٣-٢-٤ - المنشآت الملحقة: وهي مجموعة من محطات الضخ:

- محطة الضخ اللولبية (Screw pumping station): مكونة من أربع مضخات لولبية تقوم بضخ الحمأة المنشطة الناتجة عن أحواض الترسيب الثانوية بغزارة حوالي (670 l/s) للمضخة الواحدة ورفع ستاتيكي (6m)، تؤمن محطة الضخ اللولبية غزارة أعظمية مساوية إلى (1.3) من غزارة مياه المجاري الوسطية.
- محطة ضخ الحمأة المنشطة الفائضة (SAS pumping station): مكونة من ثلاث مضخات تؤمن غزارة ضخ بحدود (400 l/sec).
- محطة ضخ مياه الغسيل (washout pumping station): مكونة من مضختين تؤمن غزارة ضخ بحدود (80 l/sec).

تقوم وحدات معالجة مياه المجاري في محطة معالجة مجاري حمص بمعالجة كمية مياه مجاري وسطية بحدود (134000m<sup>3</sup>/d)، وطرحها إلى نهر العاصي، والحمأة الناتجة عن أحواض الترسيب الأولية (حمأة أولية) يتم سحبها إلى منظومة تخفيض رطوبة الحمأة، أما الحمأة المنشطة الناتجة عن أحواض الترسيب الثانوية (حمأة ثانوية) فيتم إعادة القسم الأكبر (70% - 100%) منها إلى بداية أحواض المعالجة البيولوجية، والقسم الفائض (حمأة منشطة فائضة) يسلك أحد المسارين:

الأول: تضخ إلى أحواض تكثيف الحمأة مباشرة، وتمزج مع الحمأة الأولية في أحواض التكثيف لتدخل ضمن منظومة تخفيض رطوبة الحمأة.

الثاني: تضخ إلى بداية أحواض الترسيب الأولية وتمزج مع مياه المجاري الداخلة لأحواض الترسيب الأولية لتترسب مع الحمأة الأولية، وتتكثف بشكل مسبق وتسحب بعد ذلك إلى أحواض تكثيف الحمأة لتدخل ضمن منظومة تخفيض رطوبة الحمأة.

### ٣-٣ - وحدات تخفيض رطوبة الحمأة في محطة المعالجة بحمص: [12] ، [13]

من الفقرة السابقة يتضح أن مصدر الحمأة في محطة معالجة مياه مجاري حمص هو أحواض الترسيب الأولية حيث تنتج حمأة أولية يتم سحبها إلى أحواض تكثيف الحمأة، والمصدر الثاني هو أحواض الترسيب الثانوية التي تنتج عنها حمأة منشطة، التي تتم إعادة القسم الأكبر منها إلى بداية أحواض التهوية، والقسم الزائد عن حاجة العملية البيولوجية من الحمأة المنشطة يتم ضخه إلى منظومة تخفيض رطوبة الحمأة أو أحواض الترسيب الأولية، وتقتصر معالجة الحمأة على تخفيض رطوبتها من خلال ثلاث مراحل:

- التكثيف ضمن أحواض التكثيف.
- نزح الماء من الحمأة بالسيور الضاغطة المرشحة بعد استخدام مساعدات تخثير كيميائية.
- تخزين الحمأة وتجفيفها في ساحة بيتونية مكشوفة.

### ٣-٤ - حمولات التلوث التصميمية في محطة معالجة مياه مجاري حمص: [12]، [13]

قام المصمم عام 1976-1978 بإجراء قياسات كمية ونوعية لمياه المجاري ولمنصرفات المنشآت الصناعية الرئيسية التي تصب في شبكة مجاري مدينة حمص خلال فصول العام كون شبكة المجاري مختلطة، ونظراً لقناعة المصمم بعدم كفاية القياسات ودقتها لذلك لجأ إلى تقدير حمل التلوث الناتج عن الفرد الواحد وفق القيم المرجعية لحمولات التلوث الناتجة عن الفرد في دول العالم المختلفة، بالإضافة للقياسات التي تم إجراؤها، بحيث يتضمن حمل التلوث الناتج عن الفرد نسبة من حمولات التلوث التي تنتج عن الصناعات التي تصب في شبكة المجاري العامة، وعليه اعتبر المصمم مساهمة الفرد الواحد اليومية لمدينة حمص خلال الفترة التصميمية:

$$SS = 90 \text{ g / p.d} - BOD_5 = 55 \text{ g/p.d}$$

وكانت النتيجة أنه تم التوصل إلى حمولات التلوث الإجمالية اليومية المتوقعة الداخلة إلى محطة المعالجة، والحمولات الهيدروليكية لكل مرحلة من المراحل التصميمية كما هو مبين في الجدول (٣-١):

جدول (٣-١): الحمولات التصميمية لمحطة معالجة مياه مجاري حمص [13]

المرحلة	الحمولات الهيدروليكية الوسطية (l/sec)	تركيز الـ $BOD_5$ (mg/l)	حمل الـ $BOD_5$ (Kg/ day)	تركيز الـ SS (mg/l)	حمل الـ SS (Kg/ day)
الأولى منفذة 1988	1550	507	67900	512	68700
الثانية غير منفذة 1994	1950	457	77100	478	80600
الثالثة غير منفذة 2001	2600	399	89700	432	97000



إن ظروف تشغيل المحطة المنفذة والمستثمرة حالياً توافق المرحلة الأولى من التصميم أي تركيز الحمولات الملوثة الداخلة للمحطة:

$$SS = 512 \text{ mg/l}$$

$$BOD = 507 \text{ mg/l}$$

حيث بينت الحسابات التصميمية أن حمل المواد الصلبة العالقة اليومية المحمولة في مياه المجاري الخام هو (68700 kg/day).

### ٣-٥ - أنواع المنشآت الموصولة على شبكة مياه مجاري مدينة حمص:

هنالك العديد من المنشآت الصناعية والحرفية والخدمية الموصولة على شبكة مجاري مدينة حمص، ولكن نتيجة الظروف التي مرت بها البلاد انخفض عدد هذه المنشآت كثيراً وقد حصلنا على أعداد هذه المنشآت من قبل الشركة العامة للصرف الصحي وأنواعها خلال عامي ٢٠١٠ و ٢٠١٤ وهي مصنفة بالجدول (٣-٢):

جدول (٣-٢) : المنشآت الموصولة على شبكة مياه مجاري مدينة حمص

السنة	رخام وبلاط	مطاعم	مغاسل سيارات ومرائب	مشافي	غذائية	كيميائية	مسالخ فروج	متفرقات
٢٠١٠	٢٣٤	٢٣٨	١٣٧	٢٨	٣٢	٢٠	١٨	١١
٢٠١٤	٣	لا يوجد احصاء	٤٠	١٥	٤	٨	٢	٣

## الفصل الرابع

### (الدراسة العملية)

## الفصل الرابع

### (الدراسة العملية)

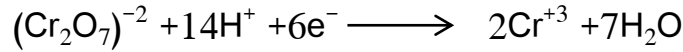
#### ٤-١- طريقة إجراء تجربتي BOD و COD:

##### ٤-١-١-٤ - مطلب الأوكسجين الكيميائي (COD): [14]

❖ مبدأ العمل:

يتجلى قياس COD لعينة من مياه الصرف بتسخين العينة مع كمية معروفة من الديكرومات ( $K_2Cr_2O_7$ )، وحمض الكبريت المركز ( $H_2SO_4$ )، والتسخين حتى الغليان للدرجة  $150^\circ$  درجة مئوية ولمدة ساعتين.

وخلال التفاعل تتحول الديكرومات إلى الكروم وفق المعادلة:



❖ قياس COD بالطريقة الكولومترية (المطياف الضوئي):

تطبق هذه الطريقة على كل أنواع المياه التي تحتوي على كمية من COD تتراوح بين (٥٠-١٠٠٠ مغ/ل) باستعمال طول موجة الكروم ٦٠٠ نانومتر أو النسبة المنخفضة من COD الأقل من ٩٠ مغ/ل باستعمال طول موجة الكروم ٤٢٠ نانومتر.

❖ تحضير المحلول القياسي للمقارنة:

نذيب ٢١٢,٥ مغ من هيدروجينو فتالات البوتاسيوم بعد تجفيفها لدرجة  $110^\circ$  لمدة نصف ساعة في ٥٠٠ مل ماء مقطر (صلاحية هذا المحلول ١٥ يوم).

❖ طريقة التجربة:

١- نضع في الأنبوب ٢,٥ مل من العينة و ١,٥ مل من محلول الهضم و ٣,٥ مل من حمض الكبريت.

٢- نضع الأنبوب لتسخن عند درجة  $150^\circ$  مئوية ولمدة ساعتين.

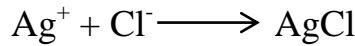
٣- بعد انتهاء الهضم نترك الأنابيب حتى تبرد، ثم نقاس العينات باستخدام جهاز السبيكترو فوتومتر أو بطريقة المعايرة.

#### ❖ الملاحظات:

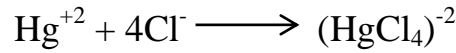
على الرغم من استعمال مؤكسد قوي فإن بعض المواد العضوية لا تتأكسد ولهذا نلجأ لاستعمال وسيط كيميائي (كبريتات الفضة  $Ag_2SO_4$ ) مما يسهل أكسدة الكحول والحموض العضوية.

من الشوارد غير العضوية التي تتأكسد:

$Fe^{+2}$ ,  $Cl^-$ ,  $S^{-2}$ ,  $Mn^{+2}$ ,  $NO^{-2}$  لكن الشاردة التي تسبب عائقاً في معرفة قيمة COD الفعلية هي الكلور فبالإضافة لأكسدته، فإنه يبطل مفعول الوسيط  $Ag_2SO_4$  حسب التفاعل التالي:



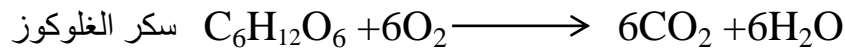
يمكن تجاوز هذه المشكلة بإضافة كبريتات الزئبق الذي يتفاعل مع الكلور وفق التفاعل التالي:



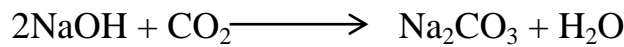
#### ٤-١-٢ - متطلب الأوكسجين البيوكيميائي ( $BOD_5$ ): [14]

قياس  $BOD_5$  بالطريقة المانومترية:

مبدأ الطريقة: من خلال تحطيم البكتيريا للمواد الكربونية العضوية فإنها تستهلك الأوكسجين، وتطلق غاز ثنائي أوكسيد الكربون مثال:



يتفاعل ثاني أوكسيد الكربون المنتج مع حبات هيدروكسيد الصوديوم التي توضع في المكان المخصص لها داخل زجاجة  $BOD_5$  وفق التفاعل التالي:



هذا التفاعل الكيميائي يتسبب بانخفاض الضغط داخل الزجاجية الذي نقيسه بواسطة المانومتر الموجود في الغطاء المخصص للزجاجة وهذا الانخفاض في الضغط بعد خمسة أيام هو قيمة  $BOD_5$ .

#### طريقة العمل:

يتوفر في المخبر أجهزة لقياس  $BOD$  من نوع Oxi-Direct و Oxi-TOP على عينات تؤخذ من المواقع التالية في المحطة:

مدخل المحطة، مخرج أحواض الترسيب الأولية، مخرج أحواض الترسيب الثانوية.

#### تحضير العينة:

لتقدير  $BOD_5$  ينصح بأخذ ٨٠% من قيمة  $COD$  المقاسة وحسب القيمة المقدرة يتم تحديد حجم العينة التي ستستعمل لإجراء التجربة وذلك حسب الجدول الآتي:

❖ في حال استخدام رؤوس Oxi-TOP:

جدول (٤-١): حجم العينة المطلوبة وعدد نقاط مانع النترجة حسب قيمة  $BOD$  المتوقعة باستخدام رؤوس Oxi-TOP

عدد نقاط مانع النترجة	مجال القياس (mg/l)	حجم العينة ( ml )
٩	٤٠-٠	٤٣٢
٧	٨٠-٠	٣٦٥
٥	٢٠٠-٠	٢٥٠
٣	٤٠٠-٠	١٦٤
٢	٨٠٠-٠	٩٧
١	٢٠٠٠-٠	٤٣,٥
١	٤٠٠٠-٠	٢٢,٧

❖ في حال استخدام رؤوس Oxi-Direct نختار القيم من الجدول الآتي:

جدول (٢-٤) : حجم العينة المطلوبة وعدد نقاط مانع النترجة حسب قيمة BOD المتوقعة باستخدام رؤوس Oxi-Direct

عدد نقاط مانع النترجة	مجال القياس (mg/l)	حجم العينة (ml)
١٠	٤٠-٠	٤٢٨
١٠	٨٠-٠	٣٦٠
٥	٢٠٠-٠	٢٤٤
٥	٤٠٠-٠	١٥٧
٣	٨٠٠-٠	٩٤
٣	٢٠٠٠-٠	٥٦
١	٤٠٠٠-٠	٢١,٧

تنظف الزجاجات بمياه العينة ذاتها، ومن ثم نملؤها بالحجم المعين، ونضع الخلاط المغناطيسي داخل الزجاجات والغطاء المطاطي في عنقها، ونضع حبتين من NaOH في الغطاء المطاطي، ونغلق زجاجة الاختبار بالرأس المناسب، ومن ثم نضع زجاجة العينة في مكانها ضمن الجهاز بدرجة حرارة (٢٠° مئوية) ونضغط زر التصفير.

#### ٢-٤- الدراسة التحليلية والإحصائية لنتائج التجارب المقاسة في مخبر محطة المعالجة:

- أخذت قيم BOD و COD اليومية المقاسة للسنوات المدروسة جميعها (٢٠٠٧-٢٠١٦)، وذلك في كل من منشأة المدخل (مياه خام) وبعد مرحلة المعالجة الأولية (مخرج أحواض الترسيب الأولية) وبعد مرحلة المعالجة الثانوية (مخرج أحواض الترسيب الثانوية) من السجلات المخبرية لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة حمص، وتم حساب النسبة COD/BOD اليومية الناتجة (لمياه المجاري الخام ومياه المجاري المعالجة في الأحواض الأولية)، وقمنا بترميز البيانات اختصاراً ب (IN) للتعبير عن المياه الخام و (SW) للتعبير عن المياه المعالجة أولياً، و (CW) للمياه المعالجة بيولوجياً الخارجة من أحواض الترسيب الثانوية.

- قمنا بحساب كفاءة المعالجة البيولوجية من خلال العلاقة:

$$EBOD_5 \text{ BIO } \% = (BOD_5 \text{ الخارج} - BOD_5 \text{ الداخل}) * 100 / BOD_5 \text{ الداخل}$$

حيث :

**BOD<sub>5</sub> الداخل : قيمة BOD<sub>5</sub> لمياه الصرف الداخلة للمعالجة البيولوجية.**

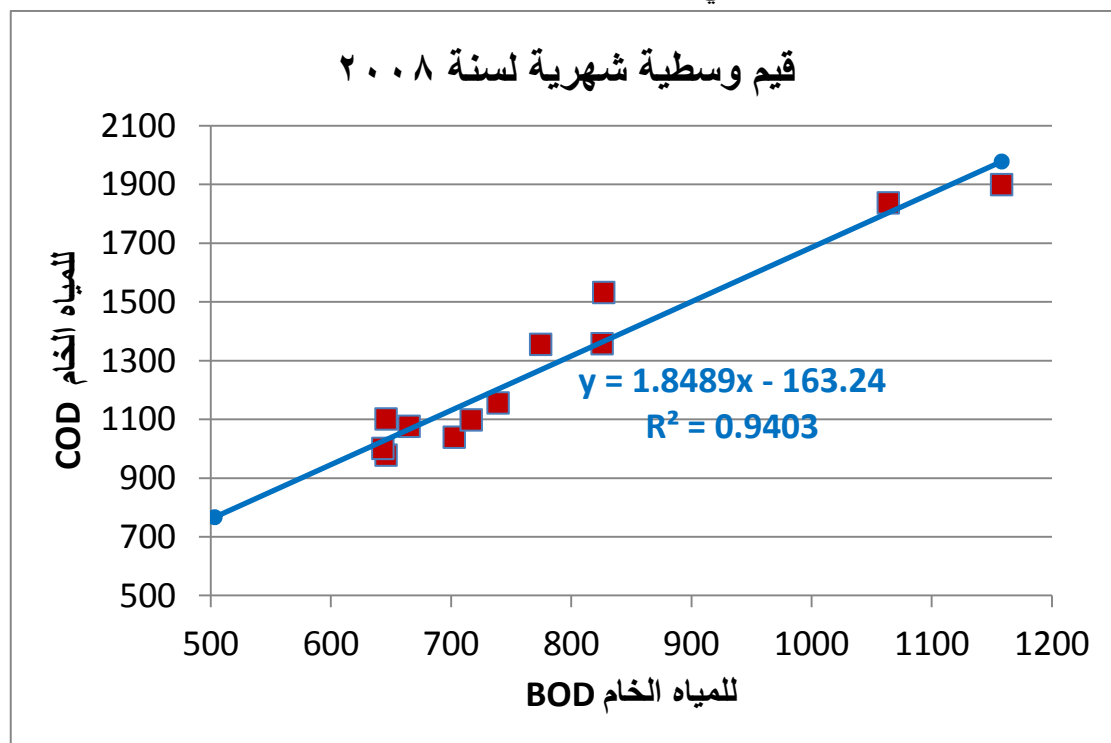
**BOD<sub>5</sub> الخارج : قيمة BOD<sub>5</sub> لمياه الصرف الناتجة عن المعالجة البيولوجية.**

تمّ حساب الكفاءة لجميع أيام السنوات المدروسة، ثم تم تقسيم البيانات لقسمين بسبب اختلاف ظروف تشغيل المحطة وطبيعة العمل فيها بعد عام ٢٠١١ وذلك بسبب الظروف التي مرت بها بلادنا، حيث تمت معالجة كل قسم على حدة الفترة الأولى للسنوات (٢٠٠٧-٢٠١١)، والفترة الثانية للسنوات (٢٠١٢-٢٠١٦).

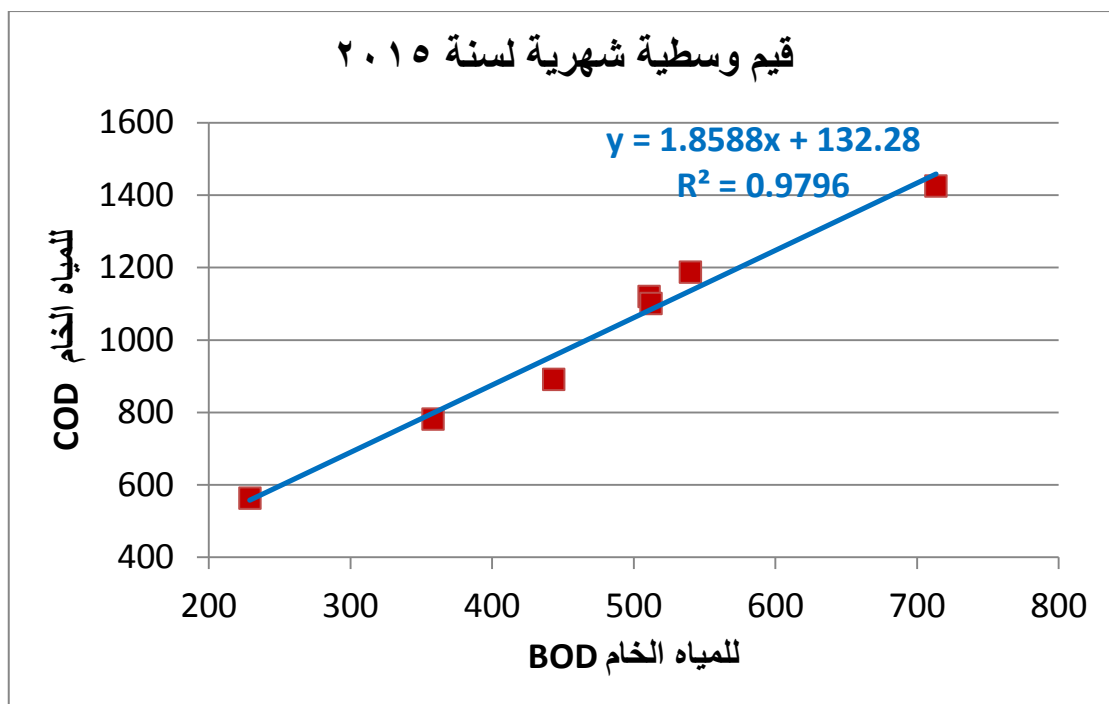
٤-٢-١- تحليل البيانات المدروسة باستخدام برنامج Excel :

### خطة العمل :

١- دراسة العلاقة بين COD و BOD من خلال وضع مخططات بيانية تربط بين قيمتي COD و BOD اليومية خلال كل شهر (مخطط للمياه الخام وآخر للمياه المعالجة أولاً)، ومخطط لكل سنة يربط بين قيمتي COD و BOD الوسطيتين لكل شهر من أشهر السنة، يبين الشكلان (١-٤) و (٢-٤) العلاقة بين قيمتي COD و BOD الوسطيتين الشهريتين للمياه الخام لكل من سنة ٢٠٠٨ و ٢٠١٥ التوالى:

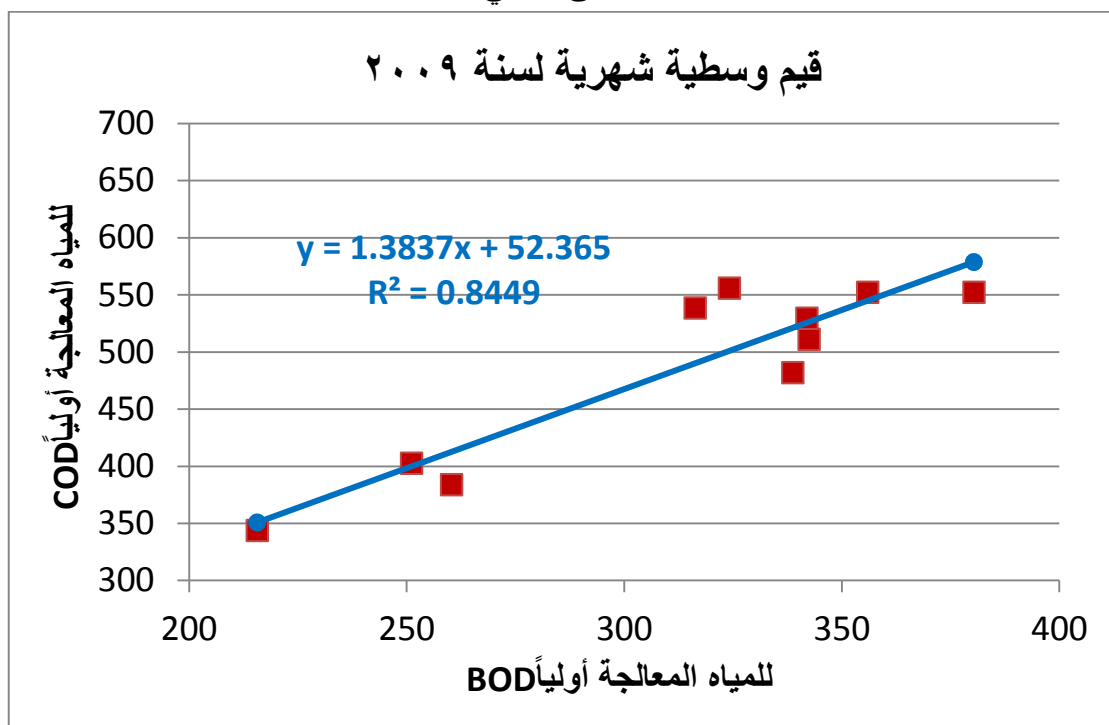


الشكل ( ٤-١ ): علاقة COD مع BOD (قيم وسطية شهرية لسنة ٢٠٠٨) للمياه الخام



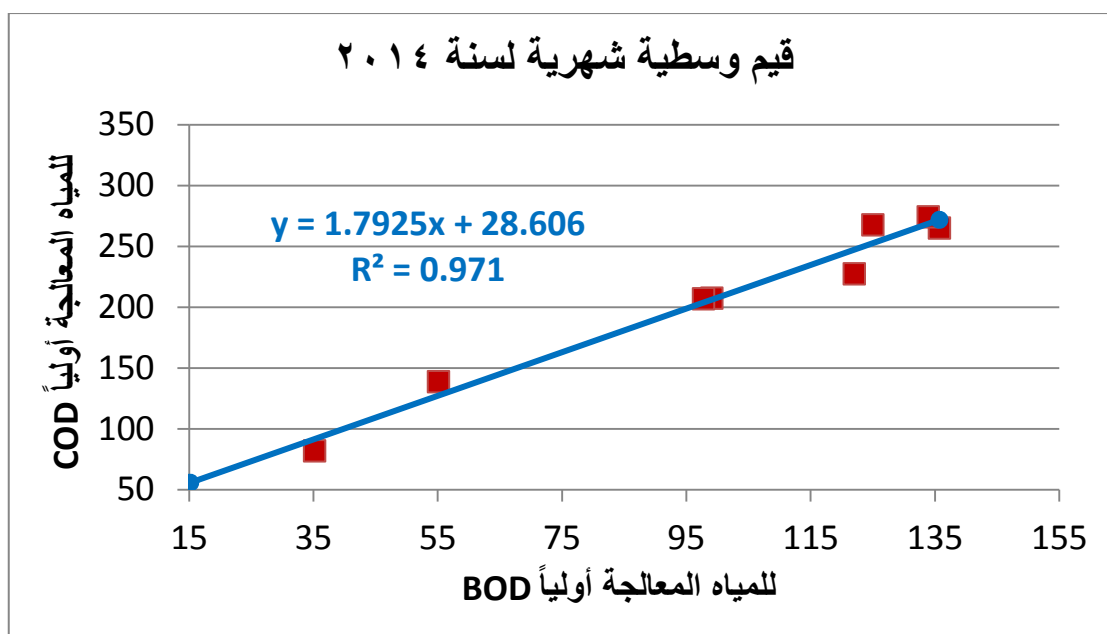
الشكل (٢-٤): علاقة COD مع BOD (قيم وسطية شهرية لسنة ٢٠١٥) للمياه الخام

يبين الشكلان (٣-٤) و (٤-٤) العلاقة بين قيمتي COD و BOD الوسطيتين الشهريتين للمياه المعالجة أولياً لكل من سنة ٢٠٠٩ و ٢٠١٤ على التوالي:



الشكل (٣-٤): علاقة COD مع BOD (قيم وسطية شهرية لسنة ٢٠٠٩) للمياه المعالجة أولياً





الشكل (٤-٤): علاقة COD مع BOD (قيم وسطية شهرية لسنة ٢٠١٤) للمياه المعالجة أولياً

توضح الأشكال (١-٤) و (٢-٤) و (٣-٤) و (٤-٤) إن العلاقة بين قيمتي COD و BOD هي علاقة خطية من الدرجة الأولى في معظم الأحيان سواء للمياه الخام أو للمياه المعالجة أولياً بالترسيب.

٢- حساب النسبة الوسطية السنوية COD/BOD لكل من المياه الخام والمعالجة أولياً، حيث يظهر الجدولان (٣-٤) و (٤-٤) القيم الوسطية السنوية لكل من التدفق الداخل للمحطة وقيمة BOD و COD والنسبة COD/BOD ومؤشر التحلل البيولوجي للمياه الخام والمعالجة أولياً:

جدول (٣-٤): القيم الوسطية لـ COD, BOD والنسبة COD/BOD للسنوات (٢٠٠٧-٢٠١١) ومؤشر

التحلل البيولوجي الوسطي لها

السنة	التدفق الوسطي الداخل (m3/d)	BOD وسطى للمياه الخام (mg/l)	COD وسطى للمياه الخام (mg/l)	COD/BOD للمياه الخام	BOD وسطى للمياه بعد المعالجة الأولية (mg/l)	COD وسطى للمياه بعد المعالجة الأولية (mg/l)	COD/BOD للمياه بعد المعالجة الأولية
2007	89288.59	758	1269	1.68	344	542	1.57
2008	84007.80	784	1286	1.64	365	560	1.58
2009	88545.49	637	1105	1.73	316	506	1.65
2010	97496.70	560	904	1.67	289	443	1.62
2011	91571.01	471	938	2.08	232	484	2.12
وسطى	90181.9	641.93	1100.56	1.76	309.21	507.05	1.71
				0.57			0.58

BOD/COD مؤشر التحلل البيولوجي

جدول (٤-٤): القيم الوسطية COD, BOD والنسبة COD/BOD للسنوات (٢٠١٢-٢٠١٦) ومؤشر التحلل البيولوجي الوسطي لها

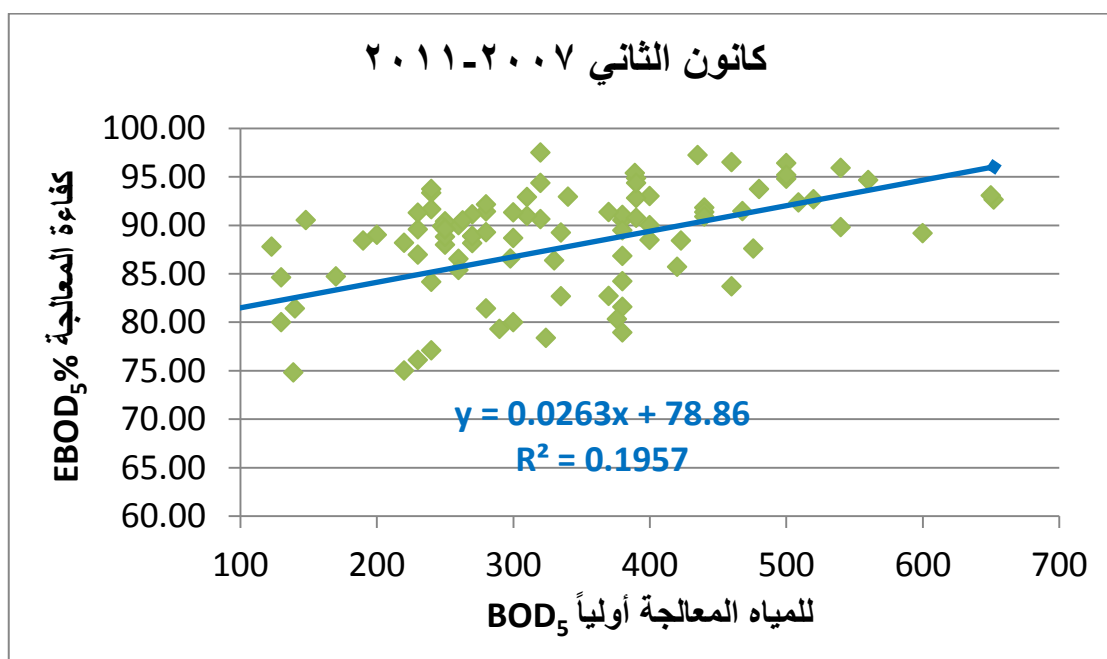
السنة	التدفق الوسطي الداخل (m3/d)	BOD وسطي للمياه الخام (mg/l)	COD وسطي للمياه الخام (mg/l)	COD/BOD للمياه الخام	وسطي BOD للمياه بعد (mg/l)	وسطي COD للمياه بعد (mg/l)	COD/BOD للمياه بعد الأولية
2012	39042.3	297	704	2.37	145	334	2.31
2013	14566.2	98	275	2.79	48	126	2.60
2014	18195.7	146	345	2.36	112	227	2.03
2015	لا يوجد قيم	472	1018	2.16	152	319	2.09
2016	لا يوجد قيم	404	642	1.59	153	332	2.16
وسطي	23934.7	283.5	596.84	2.26	122.17	267.56	2.24
BOD/COD مؤشر التحلل البيولوجي				0.44			
				0.45			

نلاحظ من الجدول (٤-٣) أن متوسط النسبة COD/BOD للمياه الخام تراوح بين (١,٦٤ - ١,٧٣) للسنوات (٢٠١٠-٢٠٠٧) وهذا دليل على ثبات هذه القيمة تقريباً خلال هذه الفترة، أما في عام ٢٠١١ فقد ارتفع متوسط النسبة COD/BOD حتى (٢,٠٨).  
نلاحظ من الجدول (٤-٤) أن متوسط النسبة COD/BOD للمياه الخام ارتفع وتراوح بين (١,٥٩ - ٢,٧٩) للسنوات (٢٠١٢-٢٠١٦) وانخفض متوسط تدفق مياه الصرف القادم للمحطة بشكل كبير جداً، وهذا دليل على تأثير تغير حالة السكان والظروف التي مرت بها مدينة حمص خلال هذه الفترة، كما انخفض مؤشر التحلل البيولوجي للمياه حتى (٠,٤٤).

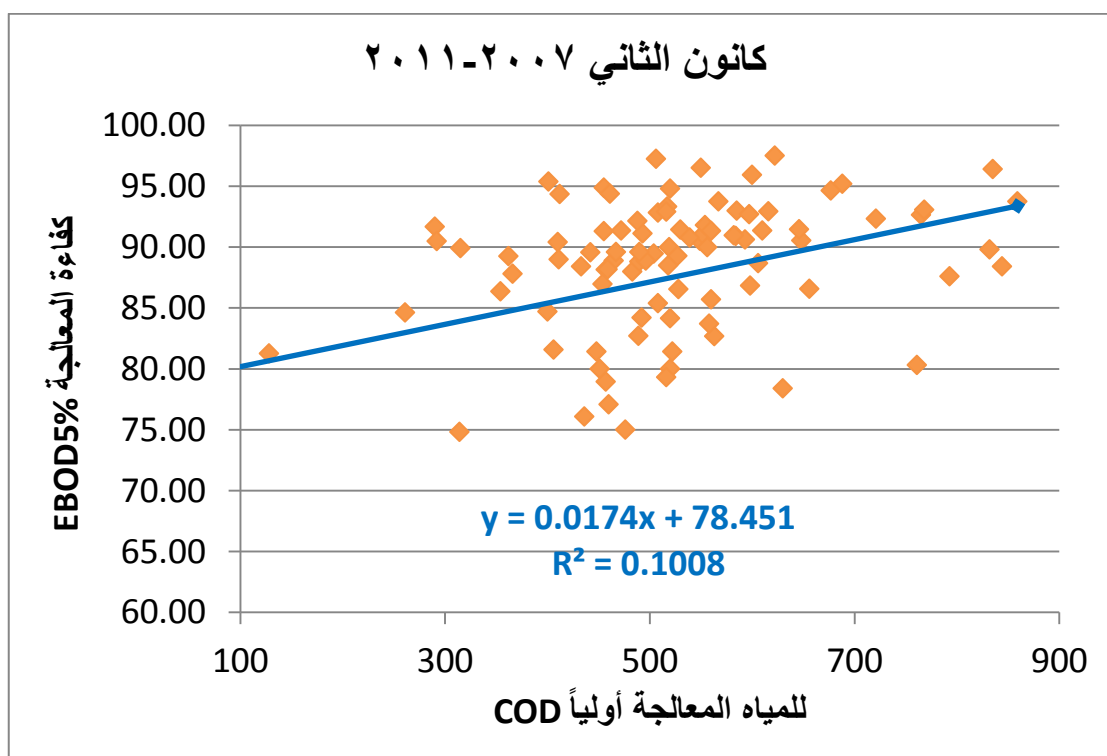
٣- دراسة العلاقة بين قيمة كل من COD و BOD على حدة مع كفاءة المعالجة البيولوجية، وذلك لتصور طبيعة العلاقة ونوعها بين النسبة COD/BOD وكفاءة المعالجة البيولوجية بشكل أفضل، حيث قمنا بتجميع قيم BOD و COD لكل شهر من الأشهر خلال الفترتين المعتمدتين بالدراسة، بحيث تتشابه العوامل التي تتعرض لها المعالجة البيولوجية خلال الشهر الواحد من حيث كمية الصرف ودرجة الحرارة وظروف الطقس، فيكون لدينا مثلاً قيم BOD<sub>5</sub> و COD و EBOD<sub>5</sub>% (كفاءة المعالجة البيولوجية) الناتجة باليوم للمياه المعالجة أولاً لجميع أشهر كائون الثاني من السنوات ٢٠٠٧ وحتى ٢٠١١.

مثلاً العلاقة بين قيم كل من BOD<sub>5</sub> و COD على حدة مع قيمة EBOD<sub>5</sub>% (كفاءة المعالجة البيولوجية) بالأشكال من (٤-٥) وحتى (٤-١٦) بحيث لدينا أربعة أشهر يمثل كل شهر فصلاً من فصول السنة، ولكل شهر أربعة مخططات بيانية، مخططان لكل فترة من فترتي الدراسة

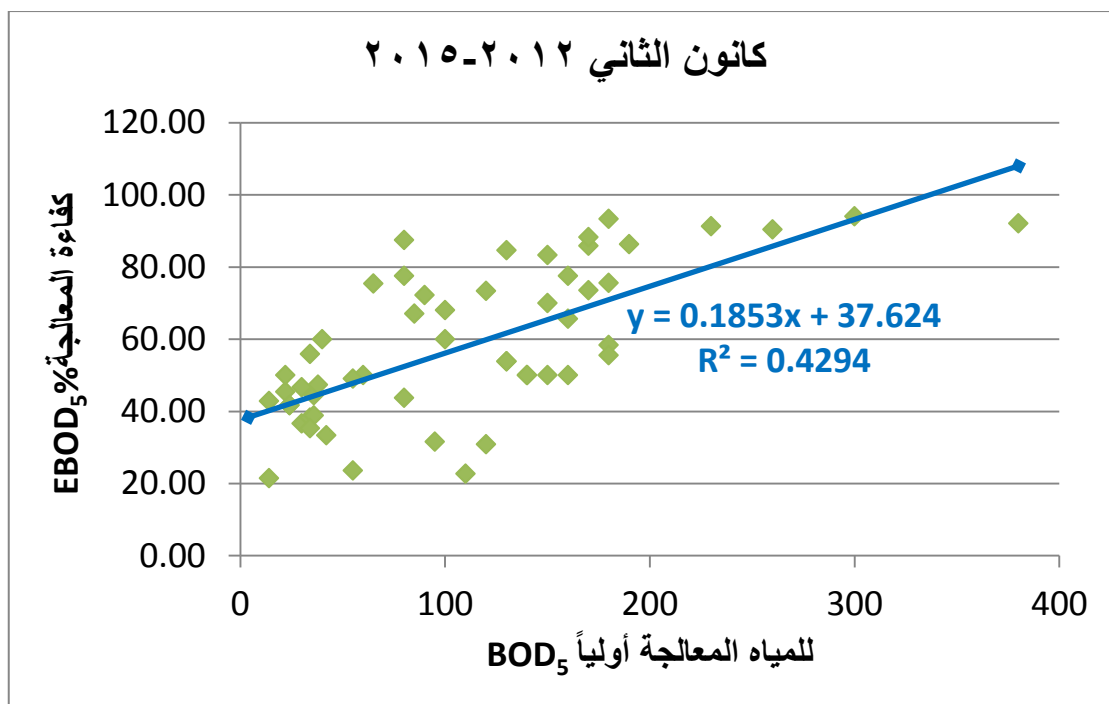
(٢٠١١-٢٠٠٧) و(٢٠١٦-٢٠١٢)، وهما مخطط لعلاقة  $BOD_5$  للمياه المعالجة أولاً مع كفاءة المعالجة البيولوجية، ومخطط لعلاقة COD مع كفاءة المعالجة البيولوجية:



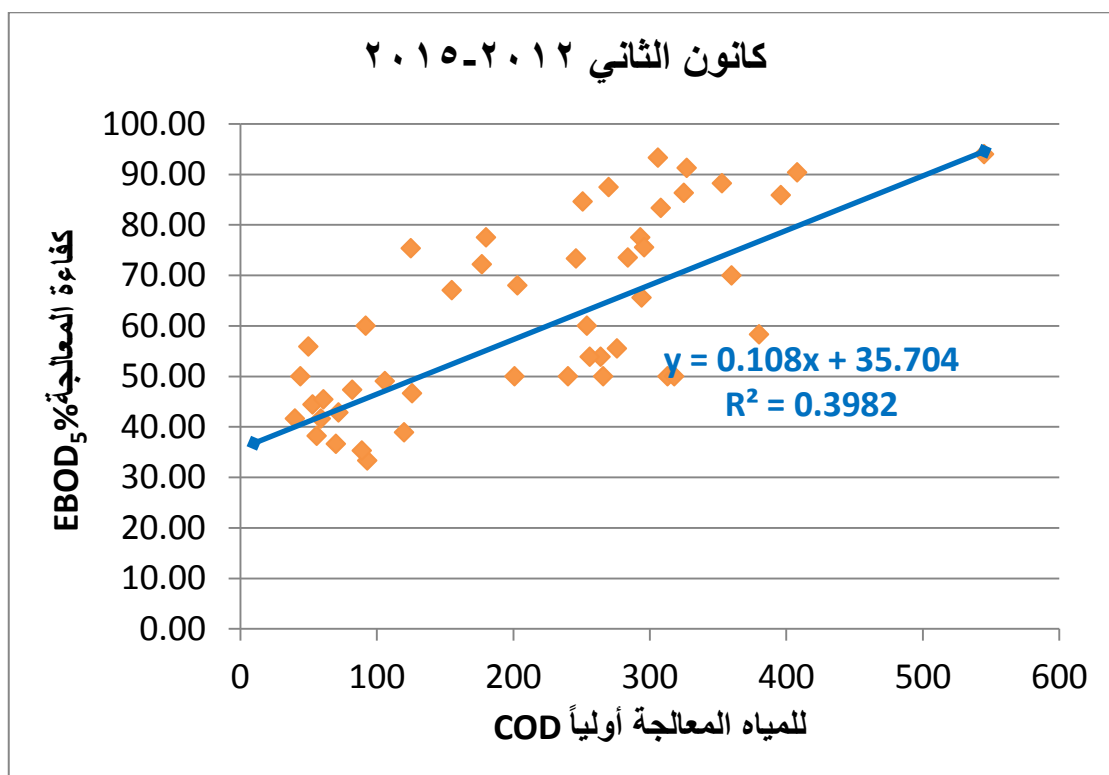
الشكل (٤-٥): العلاقة بين  $BOD_5$  للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة/كانون الثاني (٢٠١١-٢٠٠٧) /



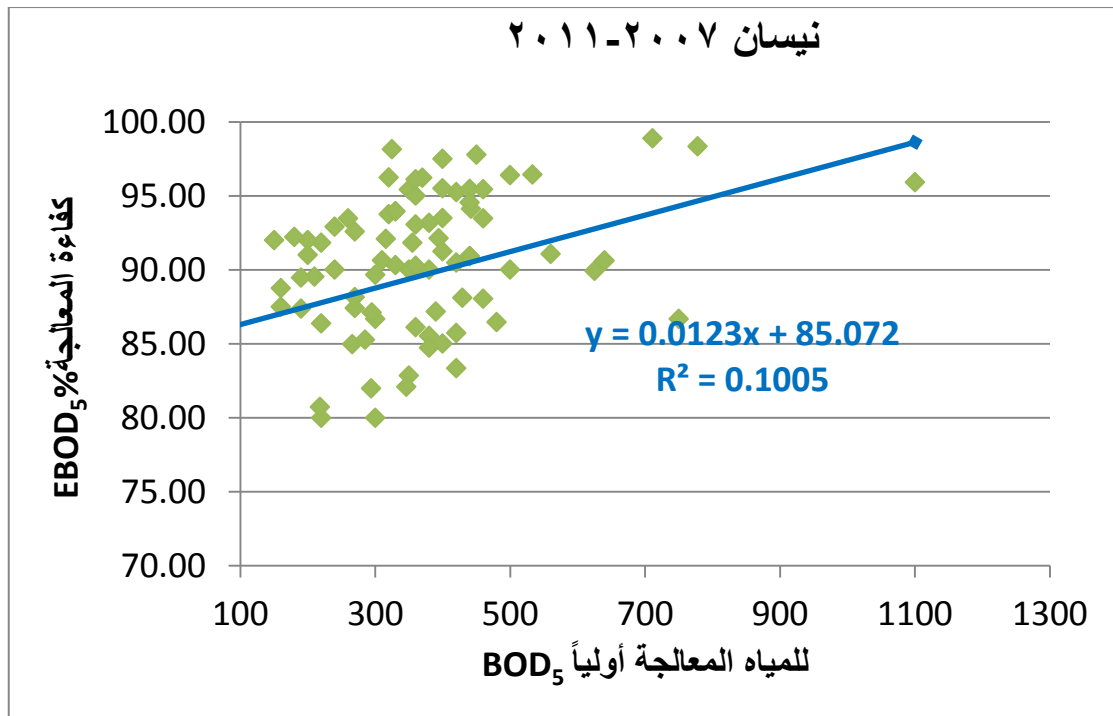
الشكل (٤-٦): العلاقة بين COD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة /كانون الثاني (٢٠١١-٢٠٠٧) /



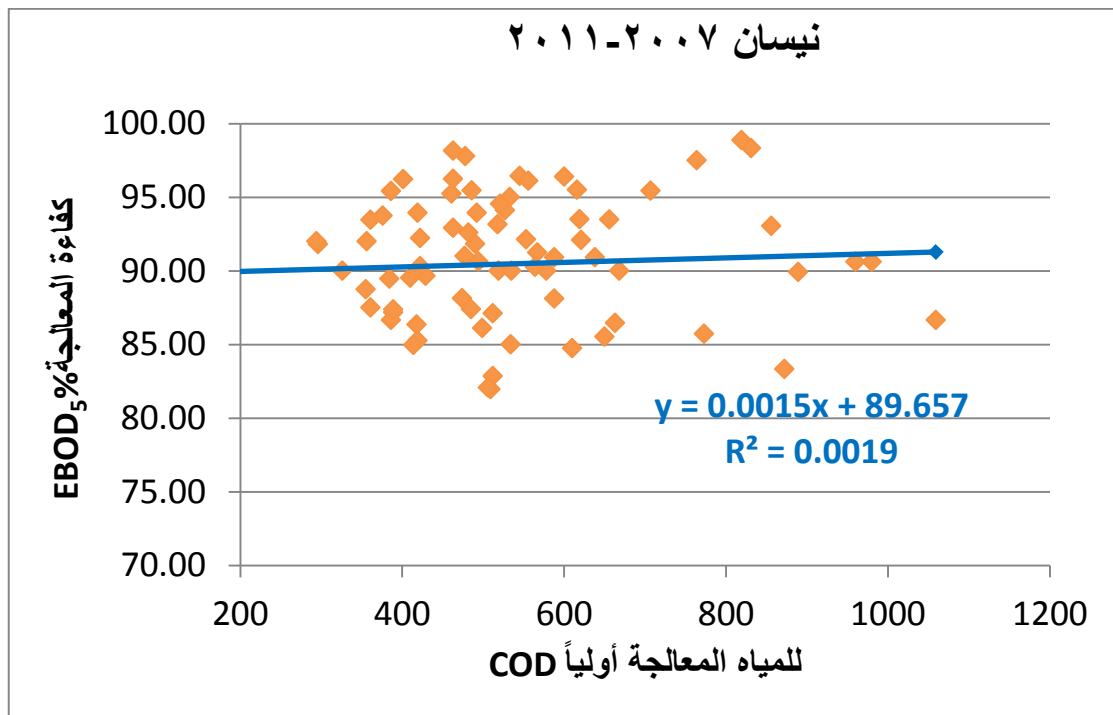
الشكل (٤-٧): العلاقة بين BOD<sub>5</sub> للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة /كانون الثاني (٢٠١٢-٢٠١٥)/



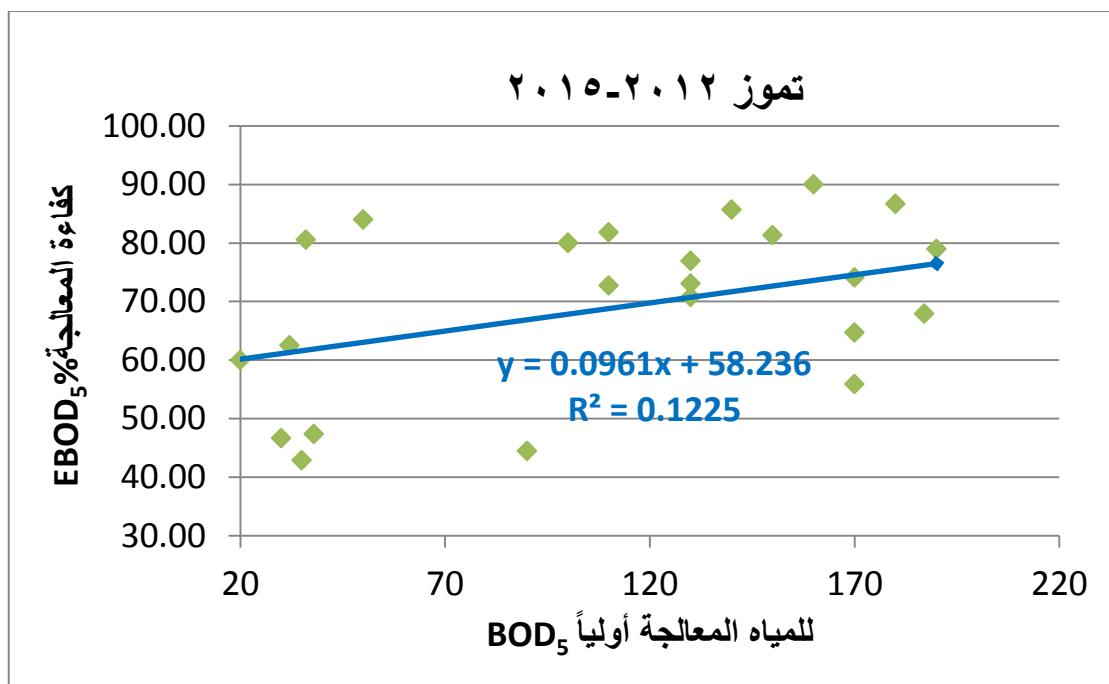
الشكل (٤-٨): العلاقة بين COD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة /كانون الثاني (٢٠١٢-٢٠١٥)/



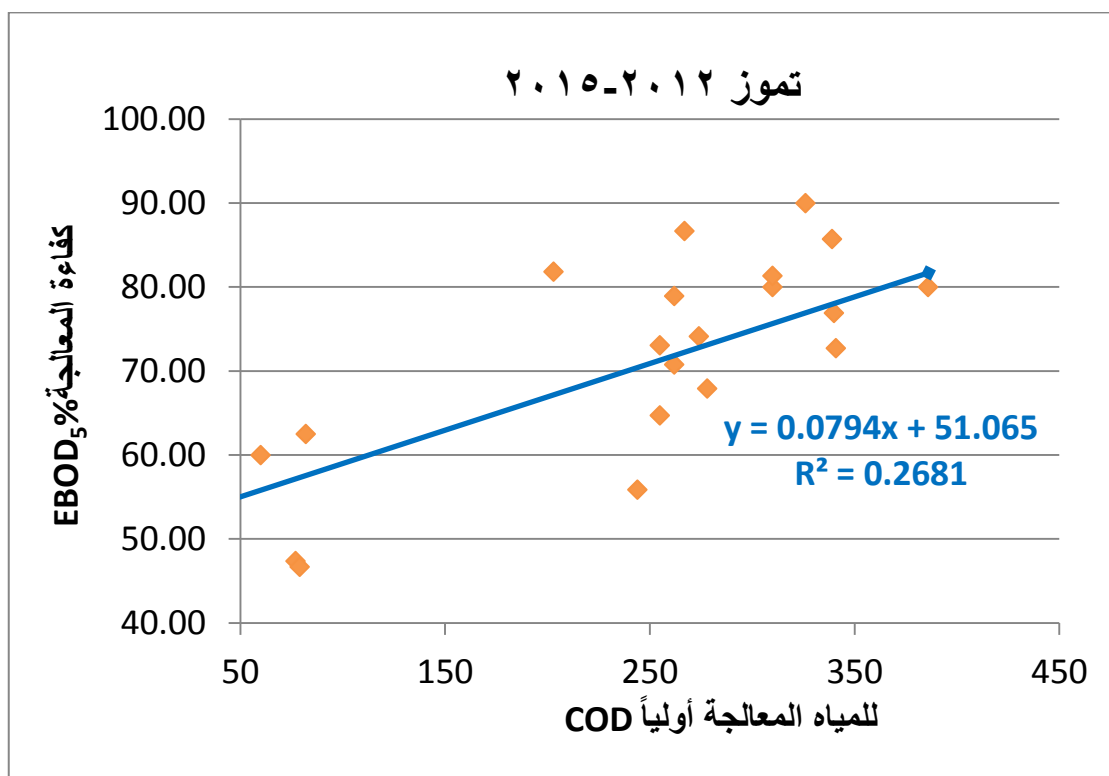
الشكل (٤ - ٩): العلاقة بين  $BOD_5$  للمياه المعالجة أولياً وكفاءة المعالجة / نيسان (٢٠١١-٢٠٠٧)



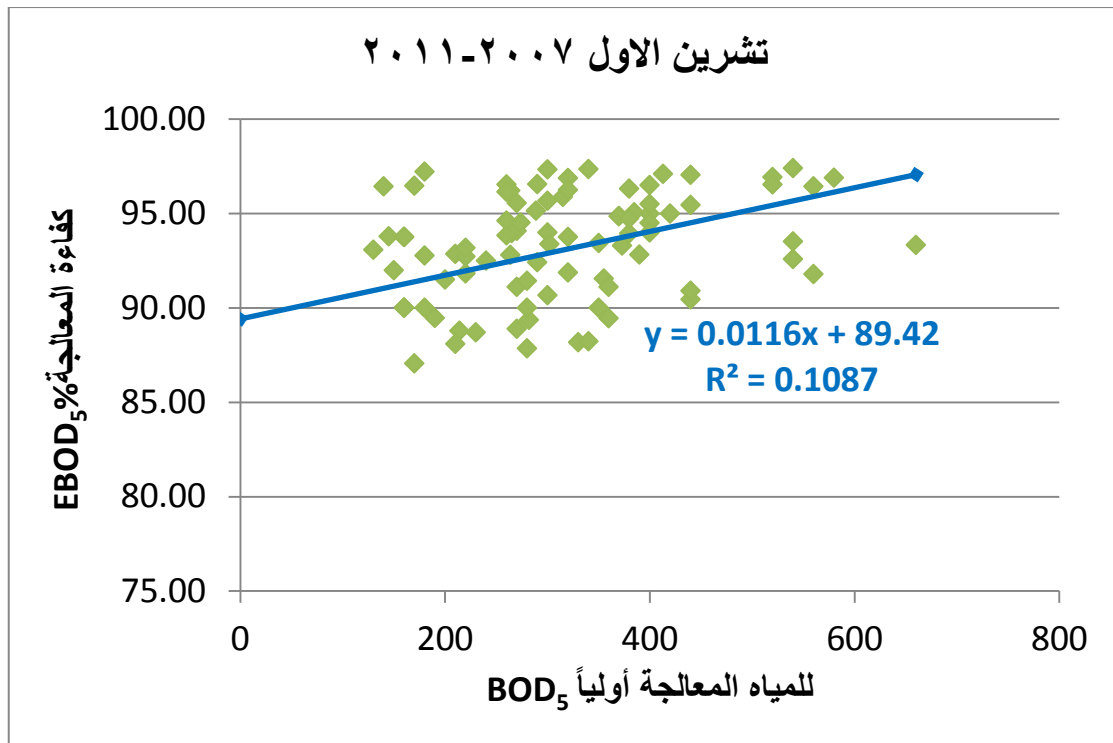
الشكل (٤ - ١٠): العلاقة بين COD للمياه المعالجة أولياً وكفاءة المعالجة / نيسان (٢٠١١-٢٠٠٧)



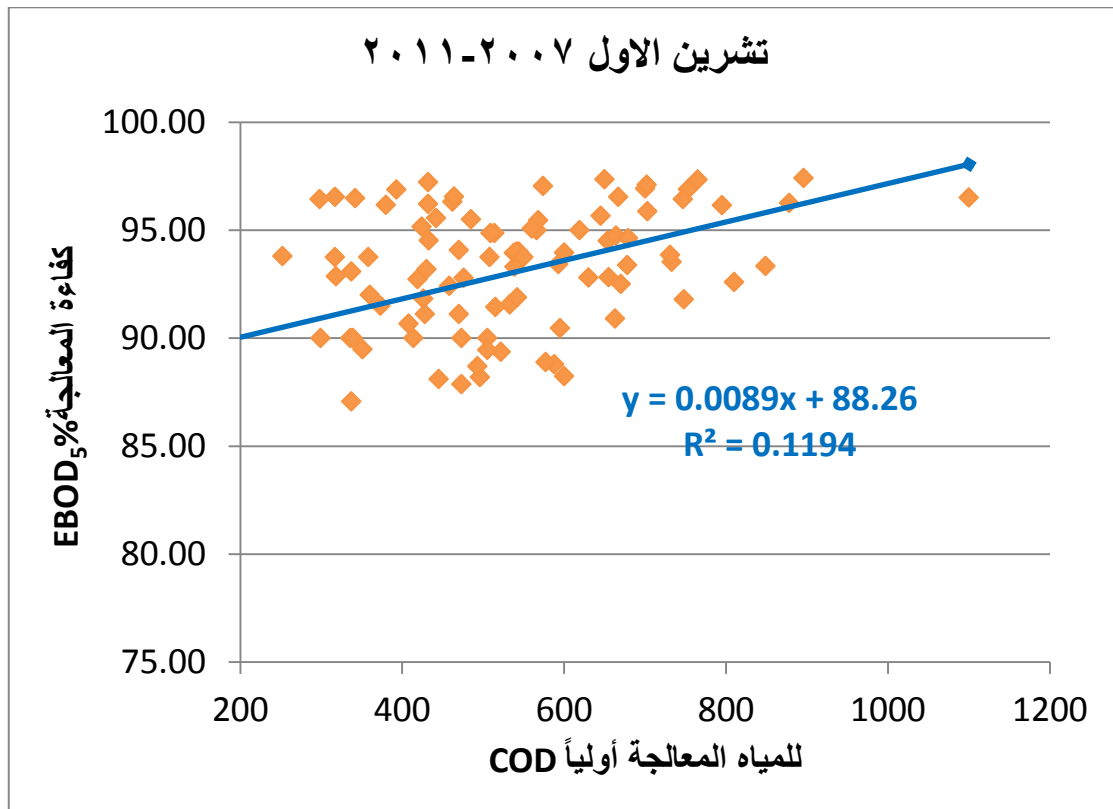
الشكل (٤-١١): العلاقة بين BOD<sub>5</sub> للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة / تموز (٢٠١٢-٢٠١٥) /



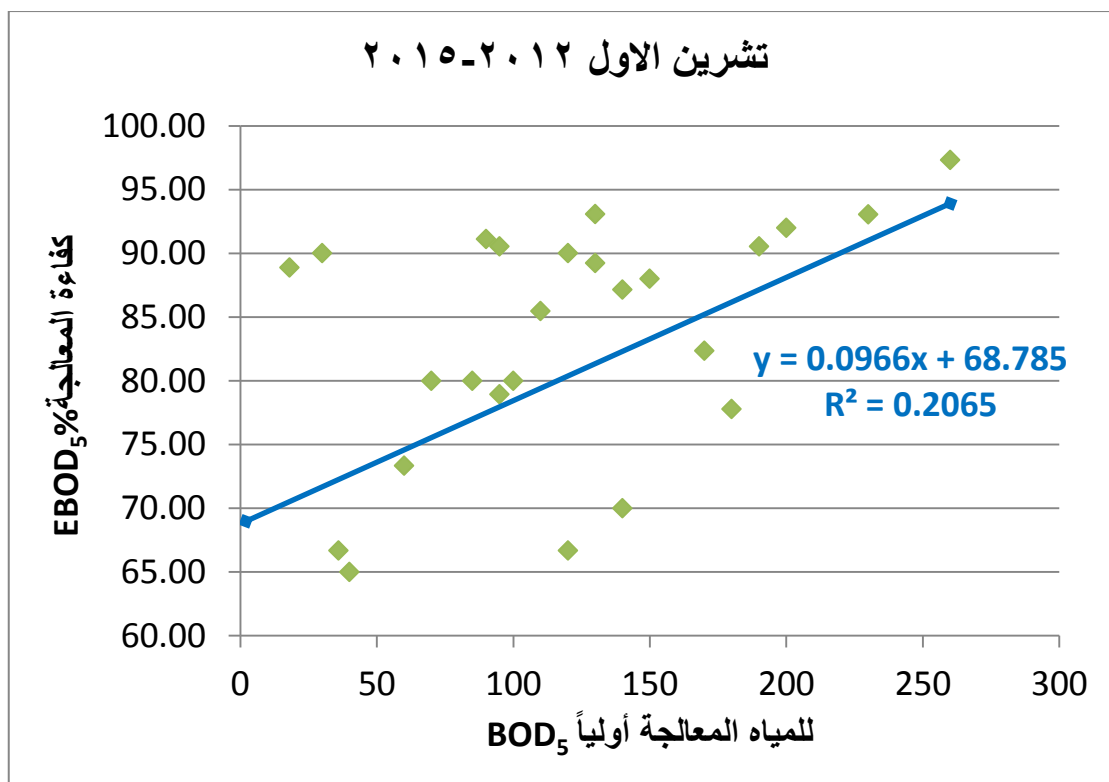
الشكل (٤-١٢): العلاقة بين COD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة / تموز (٢٠١٢-٢٠١٥) /



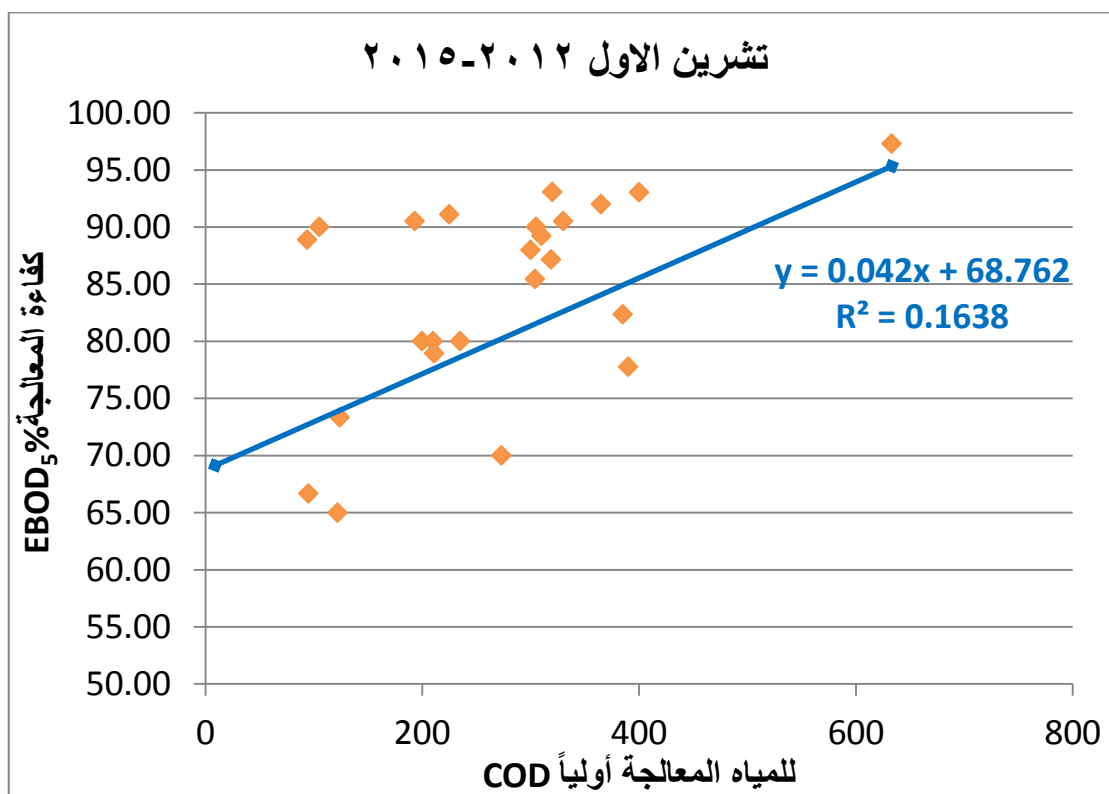
الشكل (٤-١٣): العلاقة بين  $BOD_5$  للمياه المعالجة أولياً وكفاءة المعالجة/تشرين الأول (٢٠٠٧-٢٠١١)/



الشكل (٤-١٤): العلاقة بين COD للمياه المعالجة أولياً وكفاءة المعالجة/تشرين الأول (٢٠٠٧-٢٠١١)/



الشكل (٤-١٥): العلاقة بين  $BOD_5$  للمياه المعالجة أولياً وكفاءة المعالجة/تشرين الأول (٢٠١٢-٢٠١٥)/



الشكل (٤-١٦): العلاقة بين COD للمياه المعالجة أولياً وكفاءة المعالجة/تشرين الأول (٢٠١٢-٢٠١٥)/



نلاحظ من الأشكال (٤-٥) وحتى (٤-١٦) أن العلاقة بين قيمة BOD وكفاءة المعالجة البيولوجية تشابه إلى حد كبير العلاقة بين قيمة COD، وكفاءة المعالجة البيولوجية وذلك لنفس الشهر ونفس الفترة الزمنية، كل منها كانت علاقة طردية ضعيفة جداً لم تتجاوز قيمة مربع عامل الارتباط لها (٠,٤) (سواء للمياه الخام أو المعالجة أولياً) عند تمثيلها بمنحني خطي.

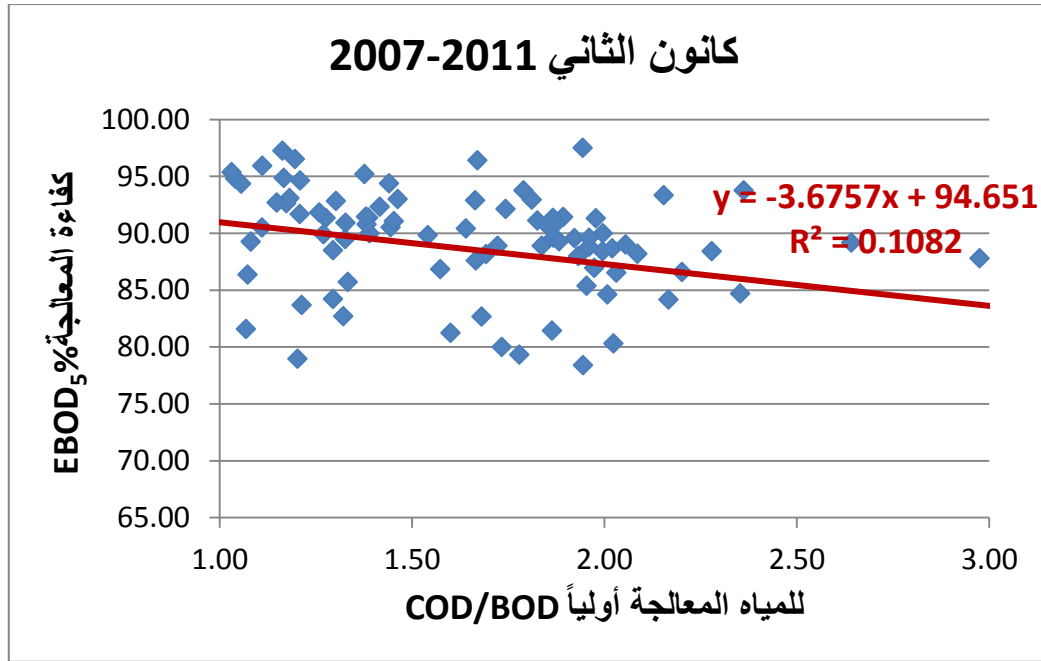
٤- تمثيل العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولياً وكفاءة المعالجة البيولوجية  $EBOD_5\%$  بواسطة برنامج (Excel)، حيث يبين الجدول (٤-٥) قيم النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولياً وقيم الكفاءة  $EBOD_5\%$  لأشهر كانون الثاني من الأعوام (٢٠٠٧-٢٠١١):

جدول (٤-٥): قيم النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولياً وكفاءة المعالجة اليومية لأشهر كانون الثاني من السنوات (٢٠١١-٢٠٠٧)

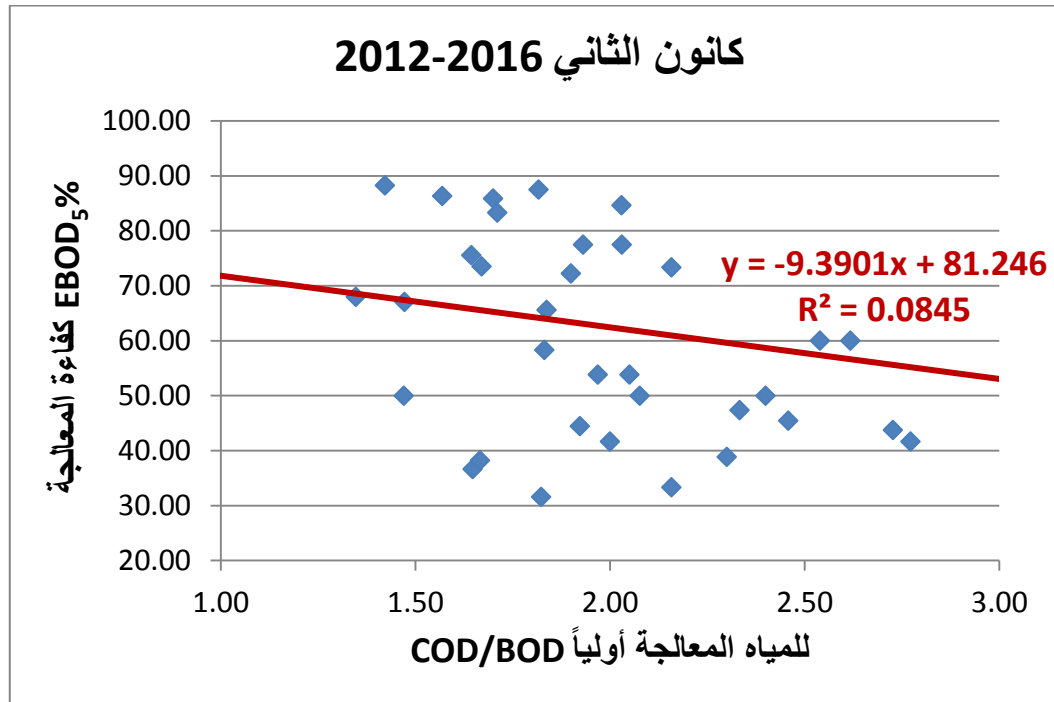
كفاءة المعالجة البيولوجية	COD/ BOD للمياه المعالجة أولياً	التاريخ	كفاءة المعالجة البيولوجية	COD/ BOD للمياه المعالجة أولياً	التاريخ	كفاءة المعالجة البيولوجية	COD/ BOD للمياه المعالجة أولياً	التاريخ
85.38	1.95	12/1/09	91.11	1.83	7/1/08	89.17	2.64	7/1/07
96.40	1.67	11/1/09	82.70	1.32	8/1/08	80.00	1.73	8/1/07
90.63	1.85	13/1/09	94.87	1.17	9/1/08	75.00	2.16	9/1/07
92.90	1.66	14/1/09	88.50	1.30	13/1/08	90.53	1.44	10/1/07
95.20	1.38	15/1/09	93.33	2.15	14/1/08	91.05	1.45	11/1/07
94.64	1.21	18/1/09	68.18	2.72	15/1/08	90.00	1.39	14/1/07
89.81	1.54	19/1/09	85.71	1.33	16/1/08	91.35	1.28	15/1/07
83.70	1.21	20/1/09	77.08	1.92	17/1/08	89.47	1.33	16/1/07
92.64	1.17	21/1/09	84.21	1.29	20/1/08	91.82	1.26	17/1/07
86.58	2.20	22/1/09	81.58	1.07	21/1/08	91.36	1.39	18/1/07
88.42	2.00	25/1/09	86.84	1.57	22/1/08	90.91	1.33	22/1/07
87.61	1.67	26/1/09	82.69	1.68	23/1/08	88.00	1.93	23/1/07
80.32	2.02	27/1/09	70.45	2.06	24/1/08	91.43	1.89	24/1/07
93.08	1.18	28/1/09	78.95	1.20	27/1/08	86.54	2.03	25/1/07
78.40	1.94	29/1/09	76.09	1.90	28/1/08	97.50	1.94	28/1/07
90.97	1.88	3/1/10	86.36	1.07	31/1/08	90.00	2.00	29/1/07

92.69	1.15	4/1/10	88.15	1.69	4/1/09	94.80	1.04	30/1/07
95.93	1.11	5/1/10	90.77	1.38	5/1/09	90.40	1.64	31/1/07
88.80	1.96	6/1/10	79.31	1.78	6/1/09	93.00	1.46	2/1/08
95.37	1.03	7/1/10	84.17	2.17	7/1/09	88.89	1.72	3/1/08
93.75	2.36	10/1/10	96.52	1.20	8/1/09	92.82	1.30	6/1/08
كفاءة المعالجة البيولوجية	COD/ BOD للمياه المعالجة أوليا	التاريخ	كفاءة المعالجة البيولوجية	COD/ BOD للمياه المعالجة أوليا	التاريخ	كفاءة المعالجة البيولوجية	COD/ BOD للمياه المعالجة أوليا	التاريخ
84.62	2.01	27/1/11	92.94	1.81	4/1/11	97.24	1.16	11/1/10
84.71	2.35	30/1/11	93.75	1.79	5/1/11	91.67	1.21	12/1/10
			88.18	2.09	6/1/11	89.25	1.08	13/1/10
			86.96	1.97	9/1/11	90.54	4.38	17/1/10
			89.57	1.92	11/1/11	92.34	1.42	18/1/10
			89.60	1.87	12/1/11	81.25	1.60	19/1/10
			91.30	1.98	13/1/11	81.43	3.20	20/1/10
			88.89	1.84	16/1/11	74.82	2.26	21/1/10
			81.43	1.86	17/1/11	88.42	2.28	24/1/10
			88.67	2.02	19/1/11	90.49	1.11	25/1/10
			89.00	2.06	20/1/11	87.80	2.98	26/1/10
			89.29	1.88	23/1/11	94.36	1.06	27/1/10
			91.33	1.87	24/1/11	89.92	1.27	28/1/10
			94.38	1.44	25/1/11	91.45	1.38	31/1/10
			89.60	1.96	26/1/11	92.14	1.74	3/1/11

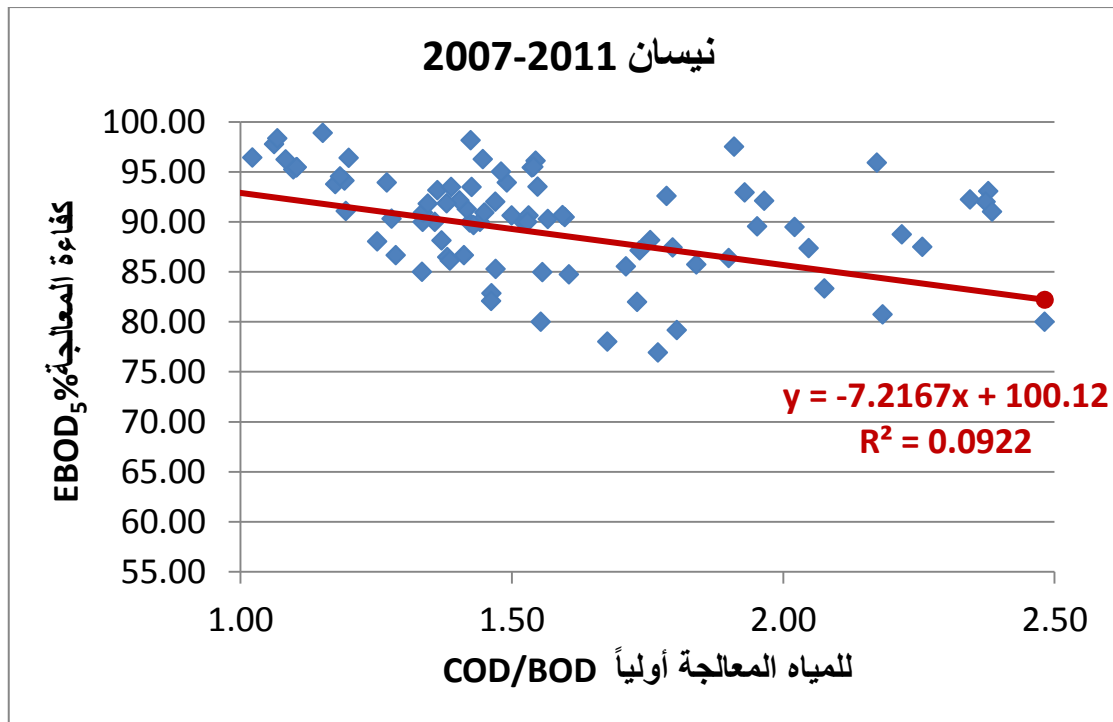
الأشكال من (٤-١٧) وحتى (٤-٢٤) توضح العلاقة المدروسة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولياً (SW) وكفاءة المعالجة البيولوجية ( $EBOD_5$ %) لأشهر /كانون الثاني (يمثل فصل الشتاء)- نيسان (يمثل فصل الربيع)- تموز (يمثل فصل الصيف)- تشرين الأول (يمثل فصل الخريف)/ آخذين بالاعتبار الفترتين المدروستين / (٢٠٠٧-٢٠١١) - (٢٠١٢-٢٠١٦) /، لذلك يوجد مخططان لكل شهر من الأشهر السابقة:



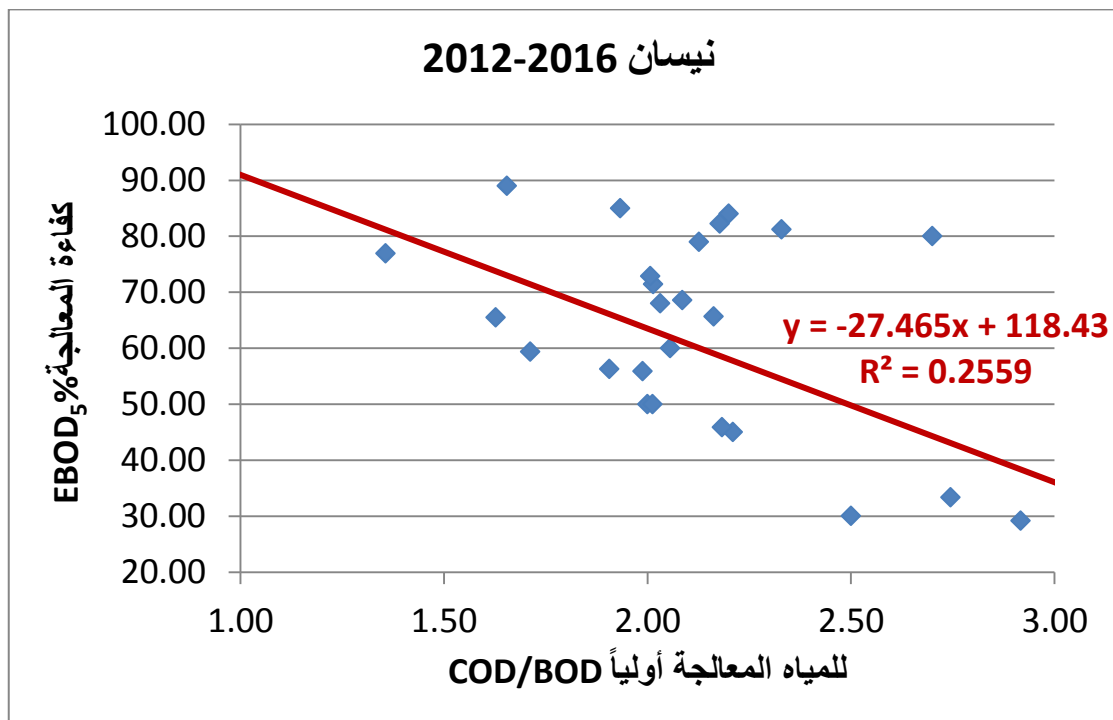
الشكل (٤-١٧): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة لشهر كانون الثاني للسنوات (٢٠٠٧-٢٠١١)



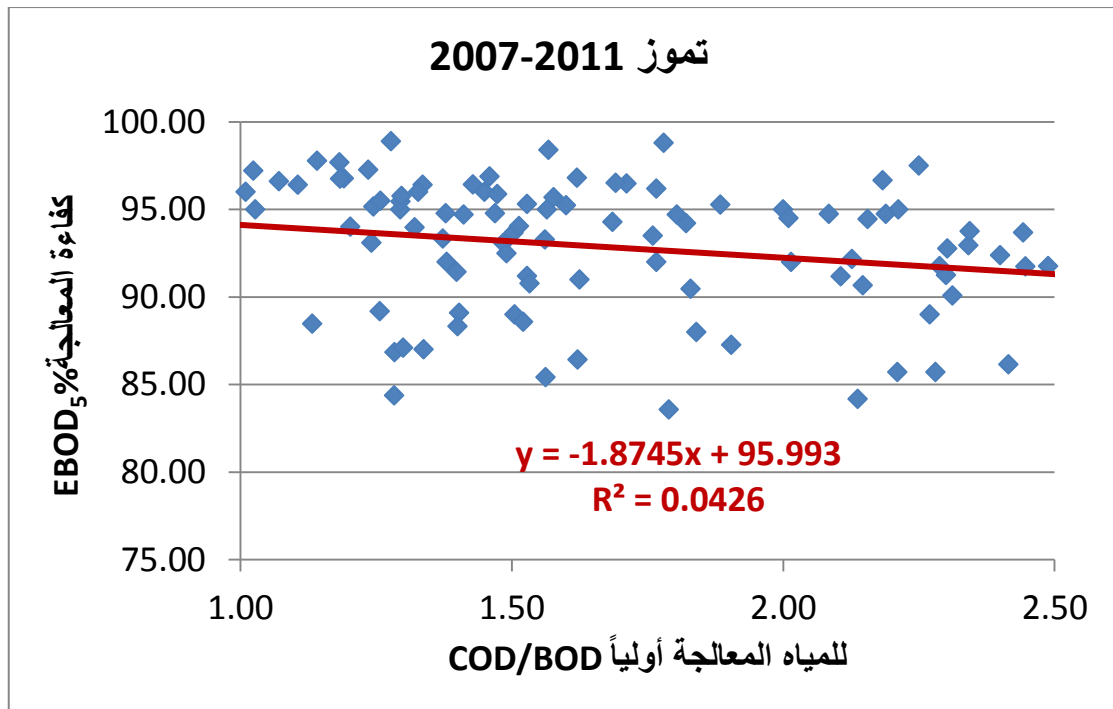
الشكل (٤-١٨): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة لشهر كانون الثاني للسنوات (٢٠١٢-٢٠١٦)



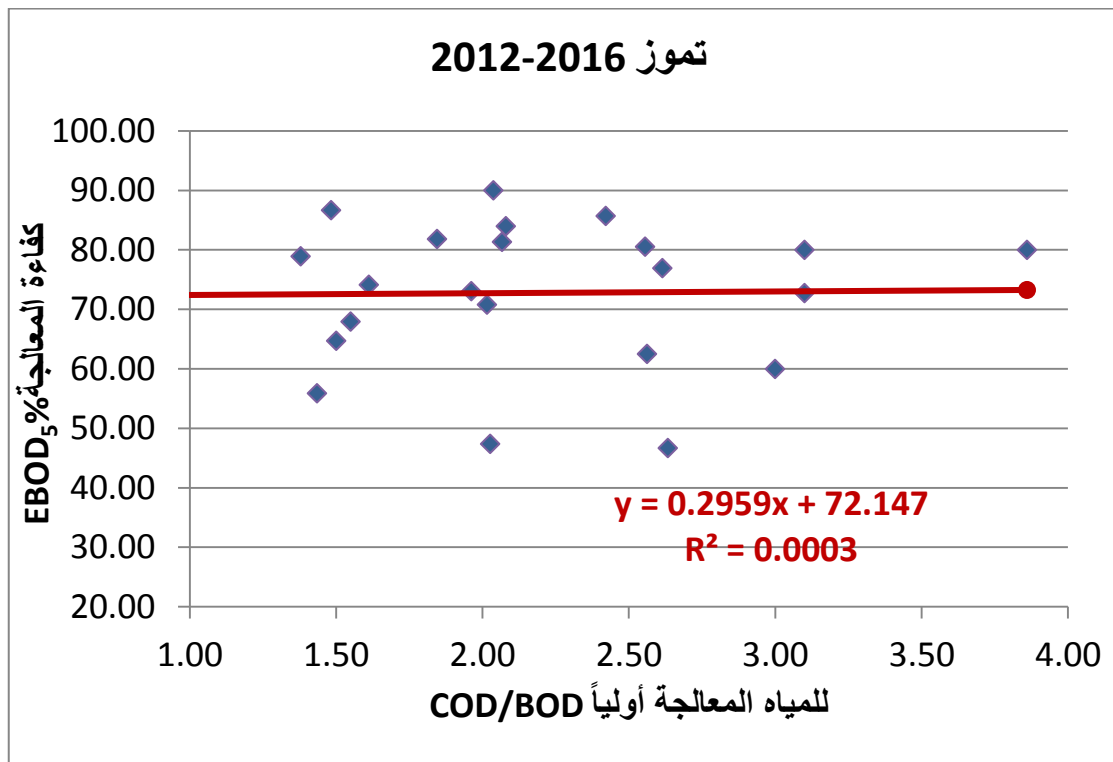
الشكل (٤-١٩): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولياً وكفاءة المعالجة لشهر نيسان للسنوات (٢٠٠٧-٢٠١١)



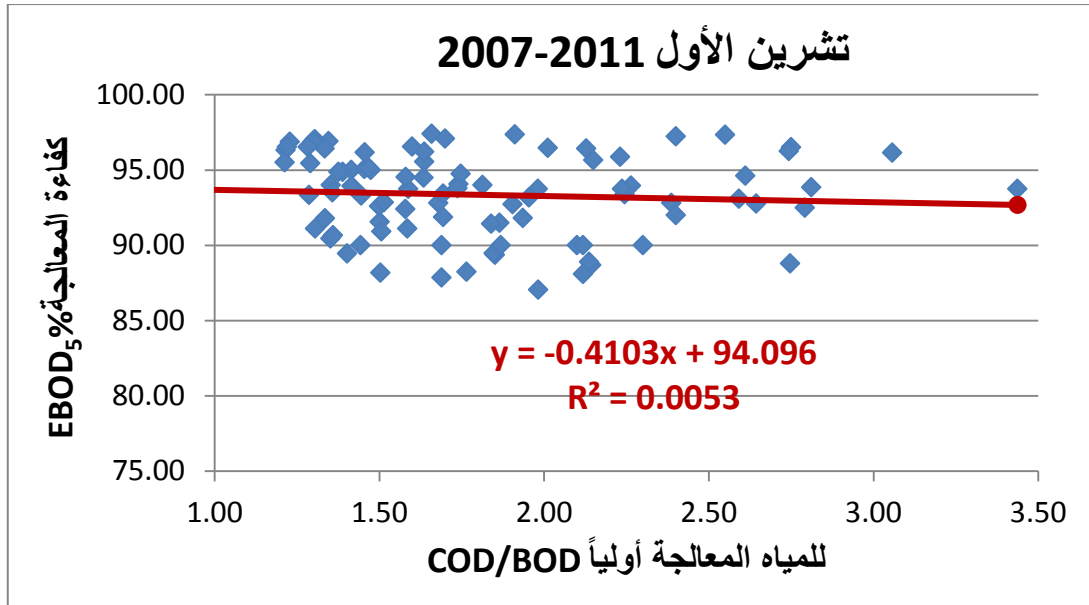
الشكل (٤-٢٠): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولياً وكفاءة المعالجة لشهر نيسان للسنوات (٢٠١٢-٢٠١٦)



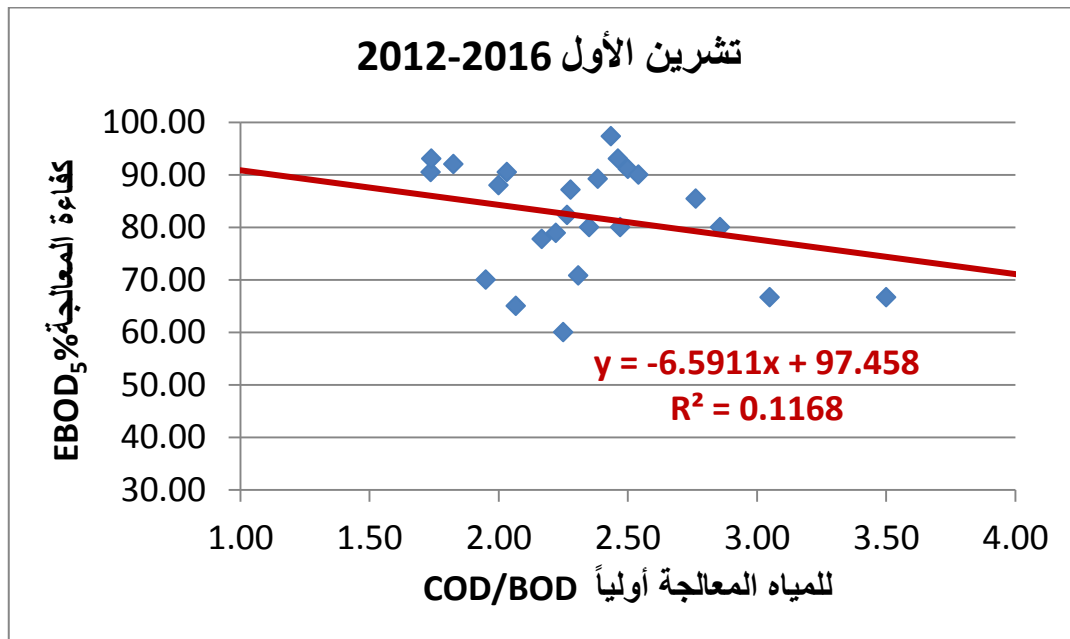
الشكل (٤-٢١): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولياً وكفاءة المعالجة لشهر تموز للسنوات (٢٠١١-٢٠٠٧)



الشكل (٤-٢٢): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولياً وكفاءة المعالجة لشهر تموز للسنوات (٢٠١٦-٢٠١٢)



الشكل (٢٣-٤): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة لشهر تشرين الأول للسنوات (٢٠١١-٢٠٠٧)



الشكل (٢٤-٤): العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة لشهر تشرين الأول للسنوات (٢٠١٦-٢٠١٢)

توضح الأشكال (١٧-٤) وحتى (٢٤-٤) إنَّ العلاقة بين النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً وكفاءة المعالجة هي علاقة عكسية ضعيفة جداً لا يتجاوز مربع معامل الارتباط لها في جميع الأشهر السابقة (٠,٠٢٥)، ولدراسة هذه العلاقة وتحديد شكل أفضل لجأنا لاستخدام برنامج SPSS الإحصائي.

#### ٤-٢-٢- تحليل البيانات المدروسة باستخدام برنامج SPSS الإحصائي:

برنامج SPSS المستخدم في الدراسة هو برنامج إحصائي يقوم بمعالجة البيانات وتحليلها إحصائياً من خلال إيجاد مجموعة من القيم الإحصائية المعروفة (المتوسط الحسابي والوسيط والانحراف المعياري والقيمة الدنيا والعظمى ...)، كما إنه يسمح بإنشاء متغيرات جديدة على أساس البيانات المدخلة بحيث تسهل العمل الإحصائي، وتساعد المستخدم في الوصول للنتائج المطلوبة سواء كانت عبارة عن مخططات بيانية أو جداول إحصائية.

إن تحليل الارتباط بين متغيرين هو عبارة عن اختبار يقوم به البرنامج لقياس درجة العلاقة بين متغيرين، وتدلنا قيمة معامل الارتباط عن وجود علاقة بينهما أو عدمها، أي إنه في حال حصول أي تغير في قيمة أحد المتغيرين فهل سيرافقه تغير بقيمة المتغير الآخر أم لا، وفي حال وجود العلاقة بينهما، فهل هذه العلاقة طردية أم عكسية، وما صفتها (معنوية أو غير معنوية).

تم إدخال البيانات المعبأة في جداول Excel إلى برنامج SPSS وهي عبارة عن أربعة أعمدة (متغيرات) الأول منها هو التاريخ وهو متغير مستقل، أما الثاني فهو عبارة عن نسبة COD/BOD لمياه المجاري الخام ورمزها (IN)، والثالث هو نسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولياً الداخلة للمعالجة البيولوجية ورمزها (SW)، أما المتغير الرابع فهو كفاءة المعالجة البيولوجية  $EBOD_5\%$  وهذه المتغيرات الثلاثة الأخيرة غير مستقلة وتتبع للتاريخ.

يوضح الشكل (٤-٢٥) نافذة برنامج SPSS والمتغيرات المدخلة:

	Date	IN	SW	EBOD5	E95	E90	E85	E80	E75	E70	E69	Esw95	Esw90	Esw85	E1
1	7/1/07	2.10	2.64	89.17	-	-	2.10	-	-	-	-	-	-	2.64	-
2	8/1/07	1.53	1.73	80.00	-	-	-	1.53	-	-	-	-	-	-	-
3	9/1/07	1.75	2.16	75.00	-	-	-	-	1.75	-	-	-	-	-	-
4	10/1/07	1.97	1.44	90.53	-	-	1.97	-	-	-	-	-	1.44	-	-
5	11/1/07	1.47	1.45	91.05	-	-	1.47	-	-	-	-	-	1.45	-	-
6	14/1/07	1.51	1.39	90.00	-	-	1.51	-	-	-	-	-	1.39	-	-
7	15/1/07	2.55	1.28	91.35	-	-	2.55	-	-	-	-	-	1.28	-	-
8	16/1/07	2.26	1.33	89.47	-	-	2.26	-	-	-	-	-	-	1.33	-
9	17/1/07	1.86	1.26	91.82	-	-	1.86	-	-	-	-	-	1.26	-	-
10	18/1/07	1.42	1.39	91.36	-	-	1.42	-	-	-	-	-	1.39	-	-
11	22/1/07	1.45	1.33	90.91	-	-	1.45	-	-	-	-	-	1.33	-	-
12	23/1/07	1.89	1.93	88.00	-	-	1.89	-	-	-	-	-	-	1.93	-
13	24/1/07	1.75	1.89	91.43	-	-	1.75	-	-	-	-	-	1.89	-	-
14	25/1/07	1.79	2.03	86.54	-	-	1.79	-	-	-	-	-	-	2.03	-
15	28/1/07	1.44	1.94	97.50	1.44	-	-	-	-	-	-	1.94	-	-	-
16	29/1/07	1.88	2.00	90.00	-	-	1.88	-	-	-	-	-	2.00	-	-
17	31/1/07	1.57	1.64	90.40	-	-	1.57	-	-	-	-	-	1.64	-	-
18	4/2/07	1.48	1.19	84.38	-	-	-	1.48	-	-	-	-	-	-	-
19	5/2/07	1.51	1.28	82.61	-	-	-	1.51	-	-	-	-	-	-	-
20	6/2/07	1.53	1.42	78.57	-	-	-	-	1.53	-	-	-	-	-	-
21	8/2/07	1.76	1.51	91.58	-	-	1.76	-	-	-	-	-	1.51	-	-
22	11/2/07	2.44	1.54	92.50	-	-	2.44	-	-	-	-	-	1.54	-	-
23	12/2/07	2.51	1.30	93.18	-	-	2.51	-	-	-	-	-	1.30	-	-

الشكل (٤-٢٥): نافذة برنامج SPSS الإحصائي لإدخال قيم المتغيرات

## خطوات العمل:

١ - قسمت بيانات الكفاءة إلى سبع شرائح، وكل شريحة يقابلها متغير من المتغيرات التالية:

- المتغير الأول (E1) يعطينا قيمة النسبة COD/BOD عندما يتحقق الشرط  $EBOD_5 \geq 95$ .

- المتغير الثاني (E2) يعطينا قيمة النسبة COD/BOD عندما  $90 \leq EBOD_5 < 95$ .

- المتغير الثالث (E3) يعطينا قيمة النسبة COD/BOD عندما  $85 \leq EBOD_5 < 90$ .

- المتغير الرابع (E4) يعطينا قيمة النسبة COD/BOD عندما  $80 \leq EBOD_5 < 85$ .

- المتغير الخامس (E5) يعطينا قيمة النسبة COD/BOD عندما  $75 \leq EBOD_5 < 80$ .

- المتغير السادس (E6) يعطينا قيمة النسبة COD/BOD عندما  $70 \leq EBOD_5 < 75$ .

- المتغير السابع (E7) يعطينا قيمة النسبة COD/BOD عندما  $EBOD_5 < 70$ .

تم الحصول بواسطة البرنامج الإحصائي SPSS على قيم كل من المتوسط الحسابي، والوسيط، والانحراف المعياري، والمدى، والقيمة الدنيا، والعظمى لبيانات كل متغير، بالإضافة لإيجاد القيم الإحصائية السابقة للبيانات قبل تقسيمها (النسبة COD/BOD لكل من المياه الخام (IN) والمياه المعالجة أولاً (SW)، وقيم كفاءة المعالجة ( $EBOD_5\%$ ) الناتجة المقابلة لها لأيام السنوات الخمس لكل فترة من فترتي الدراسة)، وبذلك تمت معرفة مجال النسبة COD/BOD التي تنتج عندها هذه الشرائح المختلفة للكفاءة، وتبين وجود نفس المجال تقريباً لكل شريحة وخصوصاً الشرائح التي تحوي عدداً متقارباً من البيانات، وهي الشرائح الثلاث الأعلى قيمة للكفاءة.

الجدول (٤-٦) وحتى (٤-٩) توضح القيم الإحصائية للمتغيرات الجديدة التي تم إنشاؤها ولبينات كفاءة المعالجة والنسبة COD/BOD قبل تقسيم الشرائح، وذلك لكل من المياه الخام والمياه المعالجة أولاً خلال الفترتين (٢٠٠٧-٢٠١١) و(٢٠١٢-٢٠١٦):

جدول (٤-٦): التحليل الإحصائي لبيانات الشرائح السبع والكفاءة وCOD/BOD للمياه الخام الداخلة للمحطة بواسطة برنامج SPSS (2007-2011)

القيم الإحصائية	COD/BOD للمياه الخام	كفاءة المعالجة	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
عدد القيم في الشريحة	1084	1084	246	464	206	108	40	7	13
المتوسط الحسابي	1.76	90.44	1.79	1.79	1.74	1.77	1.71	1.69	1.57
الوسيط	1.68	92.00	1.69	1.69	1.65	1.62	1.60	1.66	1.53
الانحراف المعياري	.449	6.087	.503	.449	.40	.445	.393	.370	.268
المدى	2.81	58.64	2.57	2.81	2.01	1.85	1.84	1.00	.82
القيمة الدنيا	1.10	40.74	1.11	1.10	1.10	1.22	1.26	1.34	1.20
القيمة العظمى	3.91	99.38	3.68	3.91	3.11	3.07	3.10	2.34	2.02



جدول (٤-٧): التحليل الإحصائي لبيانات الشرائح السبع والكفاءة و COD/BOD للمياه المعالجة أولاً بواسطة برنامج SPSS (2007-2011)

القيم الإحصائية	COD/BOD للمياه المعالجة أولاً	كفاءة المعالجة	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
عدد القيم في الشريحة	1084	1084	246	464	206	108	40	7	13
المتوسط الحسابي	1.71	90.44	1.61	1.73	1.75	1.78	1.76	1.82	1.85
الوسيط	1.63	92.00	1.51	1.61	1.73	1.74	1.77	2.06	1.77
الانحراف المعياري	.420	6.087	.404	.433	.386	.449	.355	.445	.443
المدى	2.37	58.64	1.96	2.34	1.95	2.31	1.69	1.08	1.59
القيمة الدنيا	1.10	40.74	1.10	1.10	1.10	1.16	1.20	1.18	1.13
القيمة العظمى	3.47	99.38	3.06	3.44	3.05	3.47	2.89	2.26	2.72

جدول (٤-٨): التحليل الإحصائي لبيانات الشرائح السبع والكفاءة و COD/BOD للمياه الخام الداخلة للمحطة بواسطة برنامج SPSS (2012-2016)

القيم الإحصائية	COD/BOD للمياه الخام	كفاءة المعالجة	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
عدد القيم في الشريحة	339	339	6	38	34	37	18	28	184
المتوسط الحسابي	2.26	64.73	2.08	2.15	2.14	2.34	2.25	2.05	2.34
الوسيط	2.38	68.00	2.38	2.41	2.13	2.31	2.04	2.48	2.40
الانحراف المعياري	.656	21.85	.839	.631	.605	.696	.409	.573	.670
المدى	3.30	93.83	2.58	2.94	3.11	2.95	1.46	2.71	3.04
القيمة الدنيا	1.03	5.26	1.32	1.17	1.03	1.11	1.15	1.61	1.29
القيمة العظمى	4.33	99.09	3.90	4.11	4.14	4.06	2.61	4.32	4.33

جدول (٤-٩): التحليل الإحصائي لبيانات الشرائح السبع والكفاءة و COD/BOD للمياه المعالجة أولاً بواسطة برنامج SPSS (2012-2016)

القيم الإحصائية	COD/BOD للمياه المعالجة أولاً	كفاءة المعالجة	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
عدد القيم في الشريحة	339	339	6	38	34	37	18	28	184
المتوسط الحسابي	2.24	64.73	2.08	2.05	2.04	2.14	2.24	2.05	2.34
الوسيط	2.14	68.00	1.97	2.03	2.08	2.23	2.19	2.01	2.17
الانحراف المعياري	.555	21.85	.433	.504	.408	.540	.506	.418	.599
المدى	2.85	93.83	1.10	2.23	1.94	2.74	1.83	1.77	2.76
القيمة الدنيا	1.12	5.26	1.65	1.35	1.44	1.12	1.38	1.33	1.21
القيمة العظمى	3.97	99.09	2.75	3.58	3.38	3.86	3.21	3.10	3.97

نلاحظ من الجدولين (٦-٤) و(٧-٤) إن القيمة الدنيا للشرائح الأربع الأولى كانت (١,١) تقريباً والقيمة العظمى (٣,٩-٣,٤٧)، وهذا يدل على إن اختلاف شريحة الكفاءة لم يرتبط باختلاف في مجال النسبة COD/BOD، ولكننا لاحظنا ارتفاعاً بسيطاً بقيمة متوسط النسبة COD/BOD عند انخفاض الكفاءة من الشريحة الأولى وحتى السابعة، أما في الجدولين (٨-٤) و(٩-٤) لم يرتبط اختلاف الشريحة باختلاف في مجال النسبة COD/BOD وكان المجال تقريباً ذاته لجميع الشرائح.

## ٢- حساب قيمة معامل الارتباط بيرسون:

معامل الارتباط بيرسون هو معامل لقياس درجة العلاقة بين متغيرين تتراوح قيمته بالمجال من (١-) وحتى (١)، وكلما كانت قيمته أقرب للصفر فهذا يدل على ضعف الارتباط بين المتغيرين المدروسين، أما عندما تقترب قيمته من الواحد فهذا يعني وجود علاقة طردية بين المتغيرين المدروسين، وفي حال كانت تقترب من ال(١-) فهذا يعني وجود علاقة عكسية بين المتغيرين، أما قيمة المعنوية فهي تعني أن العلاقة موثوقة أم لا، وتحدد بحيث إذا كانت قيمة المعنوية أصغر أو تساوي (٠,٠٥) إذاً هنالك علاقة ذات دلالة إحصائية (معنوية جيدة)، أو قيمة المعنوية أكبر من (٠,٠٥) إذاً ليست هنالك علاقة ذات دلالة إحصائية (معنوية جيدة).

الجدولان (١٠-٤) و(١١-٤) يظهران قيمة معامل الارتباط بيرسون، ومعنوية العلاقة بين نسبة COD/BOD<sub>5</sub> للمياه الخام الداخلة للمحطة وللمياه المعالجة أولاً مع كفاءة المعالجة البيولوجية EBOD<sub>5</sub> لكل شهر للفترتين المدروستين على التوالي:

جدول (٤-١٠): قيم معامل الارتباط بيرسون ومعنوية العلاقة بين النسبة COD/BOD وكفاءة المعالجة (٢٠٠٧-٢٠١١)

السنة	الشهر	COD/BOD للمياه الخام مع كفاءة المعالجة		الملاحظة	COD/BOD للمياه المعالجة أولاً مع كفاءة المعالجة		الملاحظة
		معامل الارتباط	قيمة المعنوية		معامل الارتباط	قيمة المعنوية	
2007-2011	كانون الثاني	٠,٠٠١	٠,٤٩٥	علاقة ضعيفة لا معنوية	٠,٢٢٩-	٠,٠١٤	علاقة عكسية معنوية
	شباط	٠,١٨١	٠,٠٤٣	علاقة طردية معنوية ضعيفة	٠,١٣٧-	٠,٠٩٨	علاقة عكسية لا معنوية
	آذار	٠,٠١٤	٠,٤٥٢	علاقة ضعيفة لا معنوية	٠,١٢١	٠,١٥٠	علاقة طردية معنوية ضعيفة
	نيسان	٠,٠١٤	٠,٤٥١	علاقة ضعيفة لا معنوية	٠,٢٥٢-	٠,٠١٠	علاقة عكسية معنوية
	أيار	٠,٠٣٢	٠,٣٨١	علاقة ضعيفة لا معنوية	٠,١٤٦-	٠,٠٨٤	علاقة عكسية معنوية ضعيفة
	حزيران	٠,٠٥٤	٠,٢٩٨	علاقة ضعيفة لا معنوية	٠,٢٦٩-	٠,٠٠٤	علاقة عكسية معنوية
	تموز	٠,٠٦٢	٠,٢٧٢	علاقة ضعيفة لا معنوية	٠,٠٩٤-	٠,١٨١	علاقة عكسية لا معنوية
	آب	٠,١٨٦	٠,٠٣٣	علاقة طردية معنوية ضعيفة	٠,٠٧٢-	٠,٢٣٩	علاقة عكسية لا معنوية
	أيلول	٠,٠٠٦-	٠,٤٧٨	علاقة عكسية لا معنوية	٠,٠٨١-	٠,٢٢٥	علاقة عكسية لا معنوية
	تشرين الأول	٠,٠٥١	٠,٣١١	علاقة ضعيفة لا معنوية	٠,١٢٢-	٠,١١٨	علاقة عكسية لا معنوية
	تشرين الثاني	٠,١٤-	٠,٠٩٢	علاقة عكسية لا معنوية	٠,٢٣٣-	٠,٠١٣	علاقة عكسية معنوية
	كانون الأول	٠,٠٤٥	٠,٣٤٢	علاقة ضعيفة لا معنوية	٠,٢١١-	٠,٠٢٧	علاقة عكسية معنوية

جدول (٤-١١): قيم معامل الارتباط بيرسون ومعنوية العلاقة بين النسبة COD/BOD وكفاءة المعالجة  
(٢٠١٦-٢٠١٢)

السنة	الشهر	COD/BOD للمياه الخام مع كفاءة المعالجة		الملاحظة	COD/BOD للمياه المعالجة أولاً مع كفاءة المعالجة		الملاحظة
		معامل الارتباط	قيمة المعنوية		معامل الارتباط	قيمة المعنوية	
2012-2016	كانون الثاني	-٠,٠٣٣	٠,٤١١	علاقة عكسية ضعيفة لا معنوية	-٠,١٤٩	٠,١٥٦	علاقة عكسية لا معنوية
	شباط	٠,٠٢٨	٠,٤٣٥	علاقة ضعيفة لا معنوية	-٠,٥٣٥	٠,٠٠٠	علاقة عكسية معنوية جيدة
	آذار	٠,٠٣٥	٠,٤٢٨	علاقة ضعيفة لا معنوية	-٠,٦٠٩	٠,٠٠٠	علاقة عكسية معنوية جيدة
	نيسان	-٠,٤٨٨	٠,٠٠٤	علاقة عكسية معنوية جيدة	-٠,٢٥٥	٠,٠٩٥	علاقة عكسية لا معنوية
	أيار	٠,٠٤٥	٠,٤١٣	علاقة ضعيفة لا معنوية	-٠,٠٧٩	٠,٣٤٨	علاقة عكسية ضعيفة لا معنوية
	حزيران	-٠,٢٧	٠,١٠٦	علاقة عكسية لا معنوية	-٠,١٣	٠,٢٧٧	علاقة عكسية ضعيفة لا معنوية
	تموز	-٠,٠٣٧	٠,٤٢٧	علاقة عكسية ضعيفة لا معنوية	٠,٠٣٩	٠,٤٢٤	علاقة ضعيفة لا معنوية
	آب	-٠,٠٨٢	٠,٣٥٤	علاقة عكسية ضعيفة لا معنوية	-٠,٥٨١	٠,٠٠٢	علاقة عكسية معنوية جيدة
	أيلول	٠,٣٦٣	٠,٠٢٩	علاقة طردية معنوية جيدة	-٠,١١١	٠,٢٨٧	علاقة عكسية لا معنوية
	تشرين الأول	٠,٠٠٥	٠,٤٠٨	علاقة ضعيفة لا معنوية	-٠,٣٦٥	٠,٠٠٤	علاقة عكسية معنوية جيدة
	تشرين الثاني	-٠,١٥٩	٠,١٧٣	علاقة عكسية لا معنوية	-٠,٤٢٧	٠,٠٠٤	علاقة عكسية معنوية جيدة
	كانون الأول	٠,٤٧٦	٠,٠٣٦	علاقة طردية معنوية جيدة	-٠,٠٢٦	٠,٤٦٤	علاقة عكسية ضعيفة لا معنوية

الجدول (٤-١٠) يظهر إن قيم معامل الارتباط بين النسبة COD/BOD وكفاءة المعالجة البيولوجية للمياه الخام كانت جميعها أقل من (٠,٢)، وهذا يدل على عدم تأثير الكفاءة بتغيير هذه النسبة كثيراً فالعلاقة بينهما طردية ضعيفة جداً، أما قيمة معامل الارتباط للنسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً مع كفاءة المعالجة البيولوجية، فكانت تتراوح بين (-٠,٠٧ وحتى -٠,٢)،

وهذا يعني وجود علاقة عكسية ضعيفة جداً بينهما (أي كلما ازدادت النسبة تنخفض الكفاءة بمعدل طفيف جداً)، أما بالنسبة للسنوات (٢٠١٦-٢٠١٢) المبينة في الجدول (٤-١١) فإن قيم معامل الارتباط للنسبة COD/BOD للمياه الخام مع الكفاءة كانت غير دالة بسبب تذبذبها بين موجب وسالب كما انخفضت قيمة المعنوية لها، وتراوحت قيمة معامل الارتباط للنسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً مع الكفاءة بالمجال (-٠,٠٢٦ وحتى ٠,٦) وهذا يدل على وجود علاقة عكسية ضعيفة في معظم الأحيان بينهما.

٣- قسّمت بيانات النسبة COD/BOD للمياه الداخلة للمعالجة البيولوجية إلى مجالات، وتم حساب متوسط النسبة COD/BOD ومتوسط كفاءة المعالجة في كل مجال لتحديد تأثير ارتفاع متوسط هذه النسبة على متوسط كفاءة المعالجة، والمجالات كالآتي:

المجال الأول: النسبة COD/BOD أكبر من (٢).

المجال الثاني: النسبة COD/BOD أكبر من (٢,٥).

المجال الثالث: النسبة COD/BOD أكبر من (٣).

المجال الرابع: النسبة COD/BOD أكبر من (٣,٥).

المجال الخامس: النسبة COD/BOD أكبر من (٤).

الجدولان (٤-١٢) و (٤-١٣) يوضحان تغيّر متوسط كفاءة المعالجة البيولوجية مع ارتفاع متوسط النسبة COD/BOD للفترتين المدروستين:

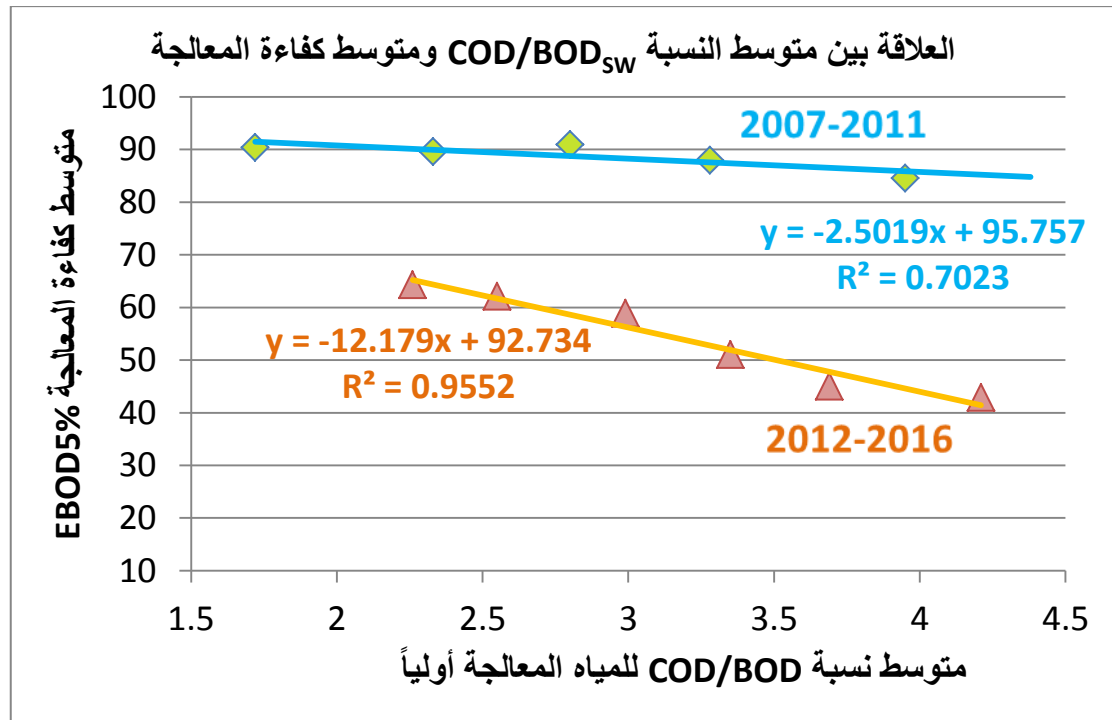
جدول (٤-١٢): تغيّر متوسط كفاءة المعالجة البيولوجية تبعاً لارتفاع النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً (٢٠١١-٢٠٠٧)

	كفاءة المعالجة	COD/BOD >2	COD/BOD >2.5	COD/BOD >3	COD/BOD >3.5	COD/BOD >4
عدد القيم بالمجال	1089	250	57	13	3	1
متوسط النسبة	1.72	2.33	2.8	3.28	3.95	4.38
متوسط الكفاءة	90.43	89.60	90.95	87.98	84.60	90.54
أدنى قيمة للكفاءة بالمجال	40.74	56.52	68.18	73.85	73.85	90.54
أعظم قيمة للكفاءة بالمجال	99.38	99.38	99.38	96.15	90.54	90.54

جدول (٤-١٣): تغير متوسط كفاءة المعالجة البيولوجية تبعاً لارتفاع النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً (٢٠١٢-٢٠١٦)

	كفاءة المعالجة	COD/BOD >2	COD/BOD >2.5	COD/BOD >3	COD/BOD >3.5	COD/BOD >4
عدد القيم بالمجال	345	227	101	47	19	6
متوسط النسبة	2.26	2.55	2.99	3.35	3.69	4.21
متوسط الكفاءة	64.35	62.11	58.91	51.05	45.03	42.95
أدنى قيمة للكفاءة بالمجال	5.26	5.56	5.56	5.56	5.56	5.56
أعظم قيمة للكفاءة بالمجال	99.09	98.33	98.33	92.73	92.50	77.78

نمّثل تغير متوسط الكفاءة مع ارتفاع متوسط النسبة COD/BOD للمياه المعالجة أولاً بالشكل (٤-٢٦) حيث تمثّل كل فترة زمنية (٢٠١١-٢٠٠٧) و (٢٠١٢-٢٠١٦) بخط بياني.



الشكل (٤-٢٦): تأثير ارتفاع متوسط النسبة COD/BOD على متوسط كفاءة المعالجة البيولوجية

الشكل (٤-٢٦) يبين انخفاض معدل الكفاءة مع ارتفاع النسبة COD/BOD حيث تبين أنه خلال السنوات (٢٠١١-٢٠٠٧) كان انخفاض الكفاءة بسيطاً، ولم يتجاوز ٥% حتى عند نسبة

COD/BOD أكبر من (٤)، أما خلال السنوات (٢٠١٦-٢٠١٢) فكان انخفاض متوسط الكفاءة عند ازدياد النسبة COD/BOD أكثر وضوحاً حيث انخفض متوسط الكفاءة بنسبة ٢% عندما تزيد النسبة COD/BOD عن (٢)، وانخفض بنسبة ٥% عندما زادت النسبة عن (٢,٥) وبنسبة ١٣% تقريباً عند ازدياد النسبة عن (٣)، أما عندما تزيد النسبة COD/BOD عن (٣,٥) ينخفض متوسط كفاءة المعالجة البيولوجية بنسبة ١٩%، وعندما تكون النسبة أكبر من (٤) ينخفض المتوسط ٢٠%.

#### ٤-٣- تحليل قيم تجارب آذار ونيسان لعام ٢٠١٩:

❖ آذار ٢٠١٩:

قيم تجارب آذار ٢٠١٩ مبينة بالجدول (٤-١٤):

جدول (٤-١٤): قيم BOD, COD ومؤشر التحلل البيولوجي (BI) والحرارة T، و pH لمياه الصرف الداخلة للمعالجة البيولوجية وتركيز المواد الصلبة المعلقة ونسبة إعادة الحمأة المنشطة RAS% خلال شهر آذار ٢٠١٩.

EBOD% BIO	RAS %	تركيز المواد الصلبة المعلقة (mg/l)		pH	T(°)	BI	COD/BOD SW	قيمة COD SW(mg/l)	قيمة BOD SW(mg/l)	اليوم
		الحماة الراجعة	حوض التهوية							
80.00	75.16	4184	2728	7.63	15.1	0.23	4.31	237	55	05/03/2019
91.25	55.37	3062	1862	7.37	18.1	0.36	2.79	223	80	07/03/2019
83.33	59.27	4660	2760	7.52	14	0.31	3.21	385	120	10/03/2019
91.67	40.52	5464	2776	7.12	14.2	0.43	2.33	279	120	12/03/2019
45.16	53.57	1214	646	6.98	14.2	0.21	4.73	733	155	13/03/2019
47.37	71.20	858	838	7.27	13	0.42	2.38	452	190	14/03/2019
22.73	41.98	3762	1080	7.44	13.4	0.43	2.32	255	110	17/03/2019
25.00	38.34	2354	1294	7.51	13.8	0.47	2.11	253	120	18/03/2019
30.00	29.49	4434	830	6.78	15.2	0.43	2.34	234	100	19/03/2019
53.57	65.24	1970	900	7.18	16.2	0.61	1.64	229	140	20/03/2019
65.63	38.30	2286	1272	7.01	14.2	0.46	2.16	346	160	24/03/2019
44.44	49.73	2154	842	7.13	13.4	0.40	2.48	223	90	25/03/2019
60.00	54.25	3044	1742	7.31	13.9	0.35	2.87	431	150	26/03/2019
61.76	56.29	3042	1740	7.21	13.6	0.36	2.74	466	170	27/03/2019

❖ نلاحظ من الجدول (٤-١٤) إنه عند نسبة COD/BOD تساوي (٤,٣١) و (٤,٧٣) أي مؤشر تحلل بيولوجي منخفض جداً (٠,٢٢) تكون المعالجة البيولوجية شديدة الحساسية ولكن

بالنظر لنسبة إعادة الحمأة المنشطة التي كانت على التوالي (٥٣٪، ٧٥٪) وعند تركيز للمواد الصلبة في حوض التهوية على الترتيب (٢٧٢٨، ٦٤٦) مغ/ل كانت كفاءة المعالجة (٨٠٪، ٤٥٪) على التوالي.

❖ نيسان ٢٠١٩:

قيم تجارب نيسان ٢٠١٩ مبينة بالجدول (٤-١٥):

جدول (٤-١٥): قيم BOD, COD ومؤشر التحلل البيولوجي (BI) والحرارة T، و pH لمياه الصرف الداخلة للمعالجة البيولوجية وتركيز المواد الصلبة المعلقة ونسبة إعادة الحمأة المنشطة RAS% خلال شهر نيسان ٢٠١٩.

EBOD% BIO	RAS %	تركيز المواد الصلبة المعلقة (mg/l)		pH	T(°)	BI	COD/BOD SW	COD قيمة SW(mg/l)	BOD قيمة SW(mg/l)	اليوم
		الحمأة الراجعة	حوض التهوية							
40.00	55.00	7314	3512	7.04	13.2	0.43	2.30	184	80	01/04/2019
73.33	37.00	6700	2796	7.22	13.5	0.57	1.74	235	135	02/04/2019
78.18	56.00	2302	868	6.89	15.6	0.52	1.92	423	220	04/04/2019
76.00	55.00	5456	3174	7.15	16.4	0.41	2.45	490	200	07/04/2019
81.74	64.00	7654	3674	6.94	16.8	0.47	2.11	485	230	08/04/2019
80.00	79.00	7008	3738	7.05	16	0.25	3.95	711	180	09/04/2019
84.62	107.00	9102	4754	7.12	15.4	0.38	2.63	685	260	10/04/2019
87.50	82.00	9206	5254	6.9	17.1	0.39	2.56	410	160	11/04/2019
82.50	86.00	11656	7316	7.23	15.7	0.25	4.05	648	160	14/04/2019
91.11	78.00	11608	6492	7.24	12.7	0.38	2.65	954	360	15/04/2019
90.00	88.00	5942	3184	7.18	13.9	0.38	2.64	738	280	22/04/2019
65.33	85.00	7358	3262	7.16	14.9	0.32	3.11	233	75	23/04/2019
85.45	76.00	4858	2266	6.99	17.3	0.40	2.47	544	220	24/04/2019
87.33	100.00	4000	2858	7.16	18.7	0.50	2.01	302	150	25/04/2019
96.84	110.00	2778	2084	7.21	17.4	0.43	2.34	444	190	29/04/2019

❖ إنَّ أخفض نسبة للكفاءة في الجدول (٤-١٥) كانت (٤٠٪)، وذلك عندما كانت نسبة COD/BOD (٣،٢) ودرجة الحرارة (١٣ درجة مئوية)، نسبة إعادة الحمأة المنشطة ٥٥٪ ومحتوى المواد الصلبة في حوض التهوية جيد (٣٥١٢) مغ/ل، وفي تدفق الحمأة الراجعة (٧٣١٤) مغ/ل ونسبة الإعادة للحمأة (٥٥٪)، أما عند نسبة عالية (٣،٩٥ - ٤،٠٥)،



فكانت قيم الكفاءة جيدة، ويعزى ذلك لارتفاع معدل إعادة الحمأة المنشطة (٧٩%، ٨٦%)، كما إن درجة الحرارة كانت أفضل (١٦ درجة مئوية).

#### ٤-٤ - الاستنتاجات والمناقشة:

❖ النسبة الوسطية COD/BOD لمياه الصرف الصحي الخام لمدينة حمص خلال الأعوام (٢٠٠٧-٢٠١١) كانت تقارب (١,٧٦) ولمياه الصرف المعالجة أولياً (١,٧١) وبالتالي يتراوح مؤشر التحلل البيولوجي لها بين (٠,٥٧-٠,٥٨) مما يعني قابلية هذه المياه للتحلل البيولوجي بشكل كبير، أما بعد عام ٢٠١٢ كانت النسبة COD/BOD لمياه الصرف الخام (٢,٢٦) ولمياه الصرف المعالجة أولياً (٢,٢٤)، وبالتالي انخفض متوسط مؤشر التحلل البيولوجي لها حتى (٠,٤٤) وأصبحت المعالجة البيولوجية أكثر حساسية، وتحتاج لأحياء دقيقة أكثر استقراراً.

❖ إن علاقة COD مع BOD هي علاقة خطية غالباً إلا في حالات نادرة بسبب وجود أخطاء بالقياس، أو بأخذ العينات، أو بسبب الظروف التي مرت بها المحطة بعد الأزمة (انقطاع الكهرباء - عدم القدرة على أخذ العينات اللازمة بشكل دقيق ...).

❖ علاقة كل من قيمتي BOD و COD لمياه الصرف الخام ولمياه الصرف المعالجة أولياً الداخلة للمعالجة البيولوجية مع كفاءة هذه المعالجة هي علاقة طردية ضعيفة.

❖ تأثير تغير النسبة COD/BOD لمياه الصرف الخام ولمياه الصرف المعالجة أولياً على كفاءة المعالجة البيولوجية كان ضعيفاً خلال الفترة (٢٠٠٧-٢٠١١) كما انخفض عدد الحالات الذي تكون فيها الكفاءة أقل من ٧٥% إلى ٢٠ قيمة من أصل ١٠٨٤ قيمة، ويعزى ذلك لعدة عوامل أهمها:

- انتظام عمل المحطة خلال هذه الفترة (٢٠٠٧-٢٠١١) ومهارة المشغلين لها من حيث الضبط الدقيق لعمليات التشغيل والمراقبة الدائمة للأحمال القادمة للمحطة، بحيث يتم تلافي حدوث الصدمات أو امتصاصها إن حدثت، ثم إن عملية أخذ العينات كانت آلية وتتم ثلاث مرات يومياً.

- نموذج حوض التهوية الموجود في المحطة الذي يعتمد في القسم الأول منه على المزج الكامل الذي خفف تأثير التغيرات غير المرغوبة على كفاءة المعالجة، فهو أكثر مرونة وقابلية لامتصاص صدمات الأحمال القادمة من أنظمة المعالجة البيولوجية الأخرى.

- الاستقرار في وضع السكان وعاداتهم وهذا يعني الاستقرار بكمية التدفقات القادمة للمحطة ونوعيتها، مما جعل هناك استقرار في العمليات البيولوجية، وأمن ظروف أفضل لعمل البكتيريا التي تقوم بالمعالجة.

- ❖ خلال الأعوام (٢٠١٢-٢٠١٦) نلاحظ إن عدد القيم التي انخفضت فيها الكفاءة عن ٧٠% كان حوالي ٢٠٠ قيمة من أصل ٣٤٥، وكان عدد القيم التي تزيد فيها الكفاءة عن ٩٥% هو ٦ قيم فقط، وانخفض متوسط كفاءة المعالجة البيولوجية خلال هذه الفترة إلى (٦٤,٧٣%) ويعزى ذلك لظروف عمل المحطة حيث انخفضت كفاءة عمليات التحكم والتشغيل ككل، بالإضافة لانخفاض معدلات التدفق القادمة للمحطة مما أدى لوصول مياه صرف ذات مواصفات قريبة من مياه الصرف الصناعية بسبب انخفاض قيمة  $BOD_5$  نتيجة التحلل البيولوجي للمواد العضوية داخل الشبكة وترسبها حيث إنها تحتاج وقتاً أطول لتصل للمحطة.
- ❖ خلال السنوات (٢٠٠٧-٢٠١١) كان انخفاض متوسط الكفاءة بسيطاً ولم يتجاوز ٥% حتى عندما زادت النسبة COD/BOD أكثر من (٣,٥)، أما خلال السنوات (٢٠١٢-٢٠١٦) فكان انخفاض متوسط الكفاءة عند ازدياد النسبة COD/BOD أكثر وضوحاً حيث انخفض متوسط الكفاءة بنسبة ٢٠% عندما زادت نسبة COD/BOD أكبر من (٤).

#### ٤-٥- التوصيات:

- يوصى باتباع نظام المعالجة البيولوجية الهوائية بالحماة المنشطة التقليدية في محطات المعالجة التي تستقبل مياه صرف ذات مواصفات متغيرة من حيث الحمل العضوي الداخل للمحطة ونسبة COD/BOD.
- يوصى بدراسة شاملة لتأثير درجة الحرارة والحموضة، ونسبة إعادة الحماة ومحتوى المواد الصلبة (MLSS) على تغير كفاءة المعالجة البيولوجية، وبالتالي معرفة تأثيرها على المتعضيات الدقيقة والبكتيريا بحوض التهوية، كما إنه من المفيد والهام القيام بدراسة تربط بين تأثير العوامل المختلفة على كفاءة المعالجة البيولوجية بالحماة المنشطة التقليدية لأنها الطريقة الأكثر استخداماً في سوريا.
- ينصح بأخذ قيمة BOD متوقعة عند القيام بتجربة BOD تساوي ٦٠% من قيمة COD المقاسة بدلاً من ٨٠% المعتمدة حالياً في المخبر.

- METCALF and EDDY, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, vol. [1]  
Forth Edition, Boston, Newyork: Mc Graw Hill, 2004, pp. 80-100.
- B. Could and H. Vallentine, Water and Wastewater Engineering Systems, vol. [3]  
First Eddition, Massachusettes: Pitman Publishing inc, 1981, pp. 109-116.
- D. L. Russell and PE, Practical Wastewater Treatment, vol. First Edition, John [4]  
Wiley & SONS,INC, 2006, pp. 91-102.
- L. R. Dorste, Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment, [5]  
Newyork: Jhon Wiley & SONS,INC, 1997.
- C. P. Gerba and I. L. Pepper, Environemental and Pollution Science, vol. [6]  
Second Edition, USA: ELSEVIER, 2006.
- G. Samudro, "Review on BOD.COD and BOD/COD Ratio: A Triangle Zone for [7]  
Toxic.Biodegradable and Stable levels," *International Journal of Academic Research*, vol. Forth, 2010.
- K. Z. Abdalla and G. Hammam, "Correlation between Biochemical Oxygen [8]  
Demand and Chemical Oxygen Demand for Various Wastewater Treatment  
Plants in Egypt to Obtain the Biodegradability Indices," *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, pp. 42-48, 2014.
- WEF, Opration of Municipal Wastewater Treatment Plant, vol. Six Edition, [10]  
Newyork: WEF PRESS, 2008.
- HAWARD HAMPHREYS & SONS, Homs Sewage Treatment Plant, Pre- [12]  
Investment Study Volume 2 & 3, England, 1978.
- HOWARD HAMPHREYS & SONS, Homs Sewage Treatment Plant, Design [13]  
report, England, 1978.
- J. C. Young, T. George, M. Sabry and G. M. Terry, Standard Methods for [14]  
Examination Water and Wastewater, Standard Methods Committee, 2005, pp.  
2-19.

## المراجع العربية:

- [٢] ج. ميخائيل و ر. زكية، الصرف الصحي /٢/ محطات معالجة مياه المجاري، المجلد الطبعة الأولى، حمص: مديرية الكتب والمطبوعات، جامعة البعث، ٢٠٠٢، ص 247 .
- [٩] ف. جعارة، محطات معالجة مياه الصرف الصحي، حلب: مطبوعات جامعة حلب، ٢٠١٤، ص 69-76.
- [١١] ١. ا. المصطفى، الطرائق البسيطة لتخفيض تركيز الملوثات في المياه الناتجة عن معالجة الحمأة في محطة معالجة مياه مجاري مدينة حمص، حمص: جامعة البعث، ٢٠١١، ص 57-80 .

## **"Study of the effect of the ratio COD value to BOD value of wastewater on the efficiency of biological treatment in Homs sewage treatment plant"**

### **Research Summary:**

Wastewater treatment has become an urgent necessity nowadays, for many reasons, such as maintaining a clean and safe environment and taking advantage of the water produced by the treatment agent as a non-conventional water source that is used in many areas.

COD and BOD indicators are important indicators in determining the degree of sewage contamination and the development of design criteria for the construction and operation of biological treatment units.

The water of the streams of Homs contains both literal and industrial water in addition to the wastewater from the residential area. The COD / BOD has a range of (1-4.4). It is highly biodegradable. The values of the BOD5 removal efficiency during these five years ranged from (70.4% to 99.5%).

The efficiency of treatment is related to many variables, the most important of which are the operation parameters of the ventilation basins (temperature - dissolved oxygen - MLSS - returned sludge ratio).

Although the efficiency of biological treatment of Homs sewage water is very good, the statistical study shows a low inverse correlation between COD to BOD ratio and the BOD5 removal efficiency within the above mentioned area, the increase in the COD / BOD ratio led to a slight decrease in the efficiency of the biological treatment. The decrease in the average efficiency did not exceed 5% when the average COD / BOD ratio is above (3.5) in well controlled conditions for biological treatment during the years( 2007-2011). In the years( 2012-2016), where the conditions of operation of the plant have difficulties in controlling treatment processes and changes in the quality of the water coming to the plant, in which the average efficiency of the treatment decreased to (64%), when the average COD / BOD is above (3.5) the efficiency of biological treatment decreased about (20%).

**Albaath University**  
**Faculty of Civil Engineering**  
**Department of Environmental Engineering**



**The effect of the ratio of chemical oxygen demand (COD) to biochemical oxygen demand (BOD) in the biological treatment efficiency of Homs' sewage treatment plant**

Thesis was prepared for master degree in Environmental Engineering

**Submitted by**  
**Eng. Kamar Ahmad AL-Mustafa**

**Supervisor**  
**Principal Doctor**  
**Rasin Zakia**  
**Assistant Professor, Department of Environmental Engineering**

---

**2019-1441**