

## تقدير انبعاث غازات الاحتباس الحراري من بعض محطات معالجة مياه الصرف الصحي في ريف اللاذقية

د. هناء سلمان\*

(تاريخ الإيداع 9 / 10 / 2017. قُبل للنشر في 20 / 6 / 2018)

### □ ملخص □

تساهم محطات معالجة مياه الصرف الصحي بانبعاث ثلاثة أنواع من غازات الاحتباس الحراري وهي غاز ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$ ، وغاز الميثان  $CH_4$ ، وغاز أكسيد النيتروز  $N_2O$ ، وبذلت جهود كبيرة لتقدير كمية هذه الغازات ولتضمين تأثيرها عند تقدير كفاءة محطات المعالجة. يهدف هذا البحث إلى تقدير كمية غازات الاحتباس الحراري المنبعثة من ثلاث محطات صغيرة لمعالجة مياه الصرف الصحي في محافظة اللاذقية، وهي محطة معالجة مرج معيربان ومحطة معالجة الحارة، وتعملان بطريقة التهوية المدببة. ومحطة معالجة الرويمية ويتم فيها إزالة مركبات النتروجين والفسفور بثلاث مراحل لاهوائية، منقوص الأوكسجين، وهوائية. وبينت النتائج أن كمية الانبعاثات الكلية كقيمة مكافئة لغاز ثاني أكسيد الكربون من المصادر المباشرة لعمليات المعالجة، والمصادر غير المباشرة الناتجة عن استهلاك الطاقة الكهربائية، للمحطات الثلاث هي  $464.31 \text{ kgCO}_2\text{e/d}$ ،  $190.64 \text{ kgCO}_2\text{e/d}$ ،  $199.37 \text{ kgCO}_2\text{e/d}$  للرويمية والحارة ومرج معيربان على التوالي. كما بلغت كمية الانبعاث المكافئة لكل متر مكعب من المياه المعالجة  $1.01 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$ ،  $0.35 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$  و  $0.42 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$  على التوالي لمحطات الرويمية والحارة ومرج معيربان. مما يبين التأثير الكبير لطريقة المعالجة البيولوجية المتبعة في محطة الرويمية على زيادة كمية انبعاث غازات الاحتباس الحراري، كما يتضح تأثير مواصفات المياه المعالجة وظروف التشغيل على الاختلاف بين كمية الانبعاثات بالنسبة لمحطتي الحارة ومرج معيربان.

**الكلمات المفتاحية:** معالجة مياه الصرف الصحي، غازات الاحتباس الحراري، ثاني أكسيد الكربون، الميثان، أكسيد النيتروز.

\* أستاذ مساعد، قسم الهندسة البيئية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين.

## Estimation of greenhouse gas emissions from some wastewater treatment plants in Latakia countryside

Dr. Hana Salman \*

(Received 9 / 10 / 2017. Accepted 20 / 6 / 2018)

### □ ABSTRACT □

Wastewater treatment plants contribute to the emission of three types of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$ . Significant efforts have been made to estimate the amount of these gases and to include them in evaluation the efficiency of treatment processes. This research aims to estimate the amount of greenhouse gases emitted from three small wastewater treatment plants in Latakia countryside, Al-Hara and Merj-Muiraban that used extended aeration, and Al-Rouaimia which included nitrogen and phosphor compounds removal in anaerobic – anoxic – aerobic phases. The results showed that the total amount of GHG emissions from direct and indirect sources for these plants is 464.31  $\text{kgCO}_2\text{e/d}$ , 190.64  $\text{kgCO}_2\text{e/d}$ , and 199.37  $\text{kgCO}_2\text{e/d}$  for Al-Rouaimia, Al-Hara and Merj-Muiraban respectively. The amount of the equivalent emissions per cubic meter of treated wastewater was 1.01  $\text{kgCO}_2\text{e/m}^3$ , 0.36  $\text{kgCO}_2\text{e/m}^3$ , and 0.34  $\text{kgCO}_2\text{e/m}^3$ , respectively for Al-Rouaimia, Al-Hara and Merj-Muiraban plants. The results indicate the significant impact of biological wastewater treatment method at the Al-Rouaimia plant in increase of greenhouse gas emissions, however the effect of the wastewater characterization and operating conditions shows the difference between the quantity of emissions for Al-Hara and Merj-Muiraban wastewater treatment plants.

**Keywords:** wastewater treatment, greenhouse gas, carbon dioxide, nitrous oxide, methane.

---

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

## مقدمة

مع زيادة الاهتمام بتغيير المناخ تبذل محاولات جادة لتخفيض انبعاث غازات الاحتباس الحراري Greenhouse Gases (GHG) إلى الغلاف الجوي من مختلف المصادر مثل وسائل النقل ومحطات توليد الطاقة الكهربائية والمحارق، وكذلك من عمليات التخلص من النفايات الصلبة والسائلة، إذ تشكل محطات معالجة مياه الصرف الصحي مصدراً هاماً لانبعاث ثلاثة أنواع من غازات الاحتباس الحراري وهي ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$ ، وغاز الميثان  $CH_4$ ، وغاز أكسيد النيتروز  $N_2O$ . وتلعب مواصفات وتركيب المياه الداخلة إلى محطة المعالجة دوراً أساسياً في كمية GHG المنبعثة [1]. كذلك يؤثر اختيار تصميم وتشغيل محطات معالجة مياه الصرف الصحي على انبعاث غازات الاحتباس الحراري، إذ يعود العامل الأهم في كمية الغازات المنبعثة إلى استخدام طرق المعالجة الهوائية واللاهوائية وكذلك كمية الطاقة المستهلكة في العمليات [2]، إن طريقة المعالجة اللاهوائية مع استعادة الميثان تشكل طريقة أكثر اقتصادية من الطرق الهوائية مع تحقيق الشروط المطلوبة لمياه الصرف المعالجة [3]. وكذلك تشكل طريقة الحمأة المنشطة التقليدية انبعاثات GHG أقل من طريقة التهوية المديدة [4]، والانبعاثات الناتجة عن خنادق الأكسدة أقل من تلك الناتجة عن الطريقة اللاهوائية/منقوصة الأوكسجين/الهوائية [5]. كما يساعد التحكم في انبعاث GHG من محطات معالجة مياه الصرف الصحي في تخفيض معدل انبعاث هذه الغازات على المدى الطويل [6].

وقد تم في السنوات الأخيرة تضمين انبعاث غازات الاحتباس الحراري في تقدير كفاءة محطات معالجة مياه الصرف الصحي بالإضافة إلى الكلفة التأسيسية واستهلاك الطاقة وكفاءة إزالة الملوثات [7]، كما تم أخذ مؤشر كمية انبعاث GHG بالاعتبار خلال تقييم استراتيجيات التحكم بعمل محطات معالجة مياه الصرف الصحي بالإضافة إلى مؤشر نوعية المياه المعالجة ومؤشر كلفة التشغيل [8,9]. وقد تؤدي استراتيجية التحكم بالحصول على مواصفات مياه عالية مع كلفة أقل إلى زيادة انبعاث GHG، لذلك من المناسب استخدام مؤشر نوعية مياه معالجة مع التركيز على إزالة ملوثات محددة للحد من الانبعاثات [10].

يتم تقدير انبعاث الغازات المباشرة الناتجة عن العمليات البيولوجية والكيميائية الناتجة من وحدات محطات المعالجة، وغير المباشرة نتيجة استهلاك الطاقة الكهربائية كانبعاثات مكافئة من ثاني أكسيد الكربون بحسب امكانية الاحتباس الحراري لكل ملوث (Global Warming Potential (GWP) وهي القيمة 1 من أجل غاز ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  و 21 من أجل غاز الميثان  $CH_4$  و 310 من أجل غاز أكسيد النيتروز  $N_2O$ . واستخدمت على نطاق واسع الطرق التي اعتمدها وكالة حماية البيئة الأمريكية ودليل التغيير المناخي في تقدير GHG الناتجة عن محطات معالجة مياه الصرف الصحي [11,12]، كما طبق الموديل الرياضي في الحالة الديناميكية Benchmark Simulation Model No.2 (BSM2) المستخدم في تقييم كفاءة المعالجة وكلفة التشغيل بنجاح في تقدير كمية GHG المنبعثة من محطات المعالجة [13]. عند تحليل الحساسية تبين إن العوامل التي تؤثر على انبعاثات GHG عند استخدام مختلف النماذج الرياضية هي العوامل التي تدخل في تقدير كمية أكسيد النيتروز بسبب تحولات النيتروجين خلال مراحل المعالجة [14]. وقد تم تطوير نماذج رياضية لتقدير انبعاث  $N_2O$  خلال عمليات النترجة وعمليات نزع النيتروجين، وتتعلق كمية أكسيد النيتروز المتشكلة بتركيز النترت والنترات والأوكسجين المنحل في أحواض المعالجة بالحمأة المنشطة [15-17].

ستستخدم في هذا البحث الطرق المعتمدة من قبل وكالة حماية البيئة الأمريكية ودليل التغيير المناخي وتعديلاتها في تقدير GHG الناتجة عن بعض محطات معالجة مياه الصرف الصحي في محافظة اللاذقية.

## أهمية البحث وأهدافه

إن الغاية من إنشاء محطات معالجة مياه الصرف الصحي هي حماية البيئة المحيطة من الآثار السلبية التي تسببها المياه الملوثة، غير أن عمليات المعالجة تترافق مع انبعاث غازات الاحتباس الحراري التي تسبب التغيرات المناخية، ويجب أن تؤخذ بالاعتبار بالإضافة إلى نوعية المياه المعالجة المطلوبة وكلفة التشغيل. يهدف هذا البحث إلى تقدير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من محطات معالجة مياه الصرف الصحي لبعض التجمعات السكنية الصغيرة في ريف محافظة اللاذقية والمقارنة بينها حسب طرق تصميم وتشغيل هذه المحطات.

## طرائق البحث ومواده

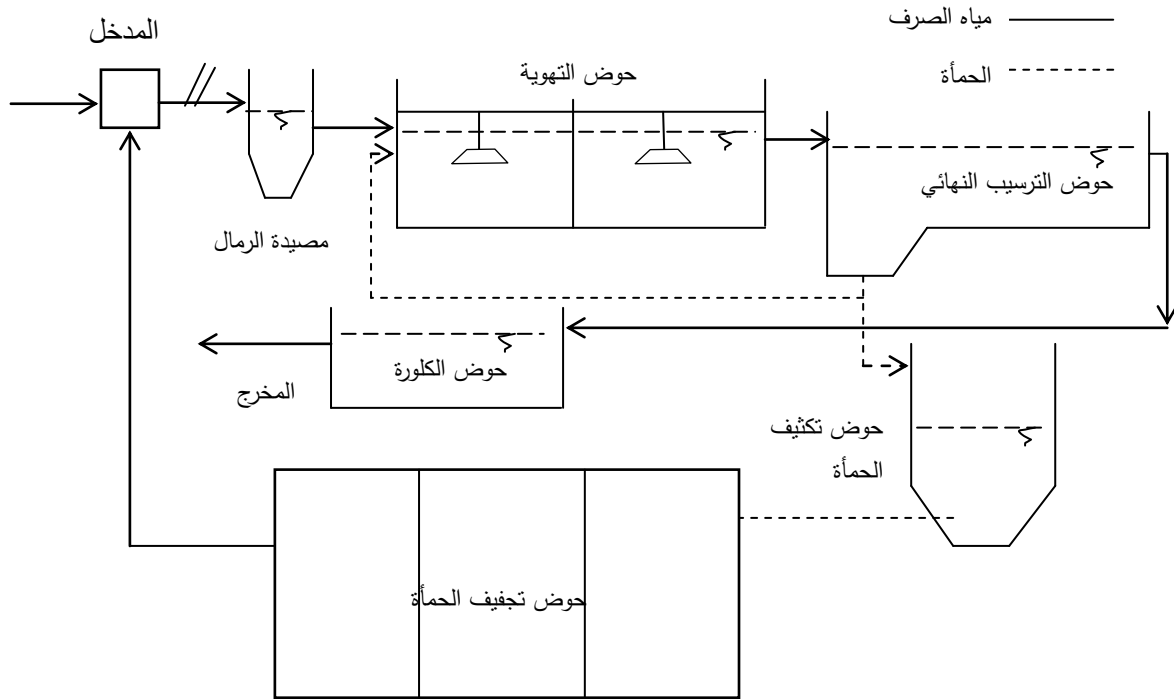
### منطقة الدراسة

تم اختيار ثلاث محطات معالجة لمياه الصرف الصحي في محافظة اللاذقية موضحة في الشكل (1)، وهي محطة الحارة ومحطة مرج معيربان وتعملان بطريقة التهوية المديدة حيث تتضمن المعالجة البيولوجية فقط أحواض التهوية المديدة وتستخدم فيها المهوريات السطحية كما يبين الشكل (2)، ومحطة الرويمية التي تعمل بطريقة الحمأة المنشطة مع إزالة النتروجين والفوسفور، وتتضمن عمليات المعالجة البيولوجية فيها أحواض لاهوائية ومنقوصة الأوكسجين ومهواة وتستخدم فيها ناشرات الهواء والخلاطات كما يوضح الشكل (3). أما بالنسبة إلى الحمأة الناتجة عن عمليات المعالجة فيتم تكثيفها في أحواض التكثيف، ومن ثم التخلص من رطوبتها وتحفيقها في ساحات التحفيف في المحطات الثلاث.

أخذت كمية ومواصفات المياه الداخلة والخارجة من هذه المحطات كقيمة متوسطة للقياسات في العام 2015 [18]، وتم تقدير كمية TN كنسبة من الطلب الحيوي للأكسجين وفعالية إزالة مركبات النتروجين المحتملة في نظام لاهوائي - منقوص الأكسجين - هوائي [19] والقيم موضحة في الجدول (1)، ويلاحظ انخفاض تركيز BOD<sub>5</sub> في التدفق الداخل إلى محطة الرويمية بسبب التفاوت الكبير في حمولة التلوث العضوي الواصل إلى المحطة صيفاً وشتاءً، ويعزى انخفاض الـ BOD<sub>5</sub> شتاءً إلى وصول كميات كبيرة من المياه الطبيعية إلى شبكة الصرف الصحي التي تنتهي إلى محطة المعالجة المذكورة.



الشكل (1) مواقع محطات معالجة مياه الصرف الصحي.



الشكل (2) شكل تخطيطي يبين محطتي معالجة مياه الصرف الصحي في كل من الحارة ومرج معيربان

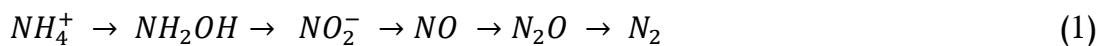
الجدول (1) مواصفات مياه الصرف الصحي في محطات المعالجة المدروسة [18].

المحطة	الرويمية	مرج معيربان	الحارة
التدفق الداخل $m^3/d$	460	470	540
تركيز $BOD_5$ الداخل $mg/L$	130	240	270
تركيز $TN$ $mg/L$	32	40	40
استهلاك الكهرباء $KWh/d$	310	270	230
فعالية إزالة $BOD_5\%$	72	78	86
فعالية إزالة $TN\%$	60	-	-

#### تقدير الانبعاثات من المصادر المباشرة ( $CO_2e(kgCO_2e/d)$ )

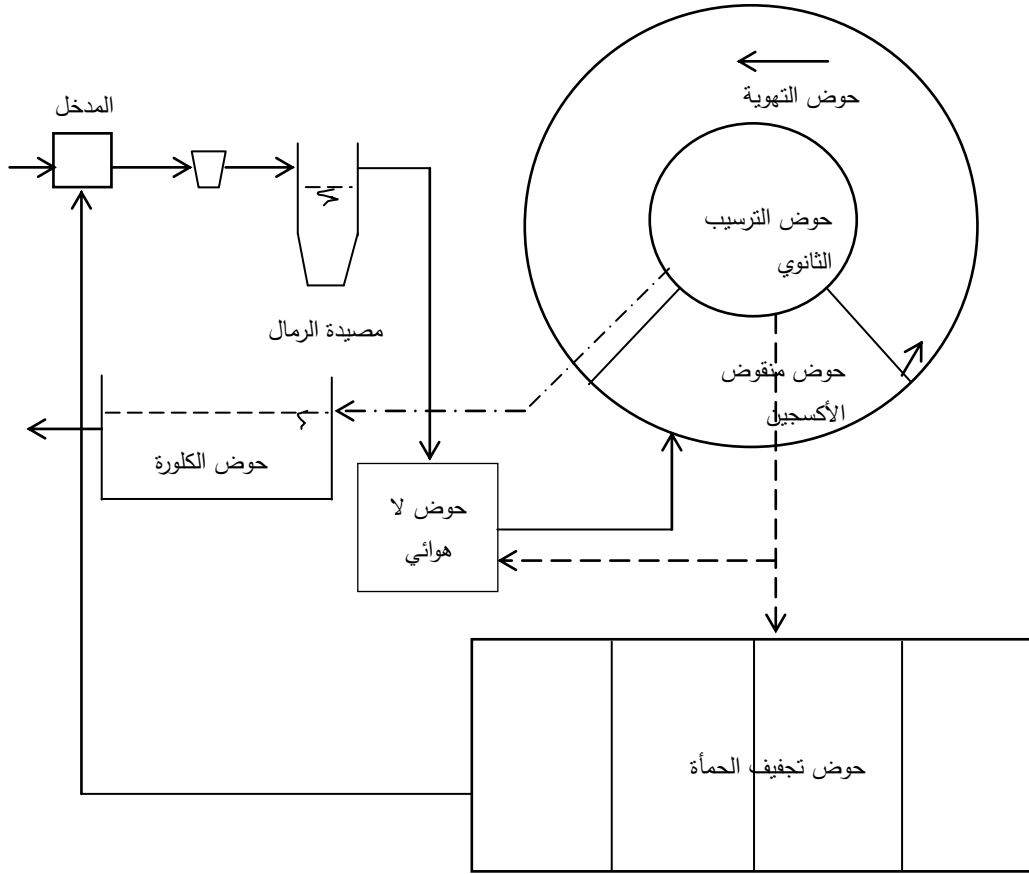
تنتج أنظمة معالجة مياه الصرف الصحي الهوائية غاز ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  بشكل أساسي، بينما تنتج أنظمة المعالجة اللاهوائية مزيج من  $CO_2$  وغاز الميثان  $CH_4$ ، ويفترض أن كل الكربون العضوي المزال يتحول إلى  $CO_2$  أو  $CH_4$  أو كتلة حيوية جديدة.

كما تتضمن عمليات النترجة  $nitrification$  وعمليات إزالة النترجين  $denitrification$  أكسدة الأمونيوم والنترجين العضوي إلى نترات  $NO_3^-$  ويتم ارجاعها إلى نترت  $NO_2^-$  وثم أكسيد النترت  $NO$  يتشكل بعدها أكسيد النترتوز  $N_2O$  كمنتج ثانوي ينبعث إلى الجو كما تبين المعادلات (1) و(2) [20].





\_\_\_\_\_ مياه الصرف  
 ----- الحمأة  
 -.-.-.-.- مياه الصرف من حوض الترسيب النهائي



الشكل (3) شكل تخطيطي يبين محطة معالجة مياه الصرف الصحي في الرومية

تم تقدير مجموع الانبعاثات المباشرة من  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$  في كل محطة معالجة باستخدام المعادلات من (3) إلى (9) [11,12,20,21]:

$$CO_{2e} = \sum_{i=1}^n GHG_i * GWP_i \quad (3)$$

حيث:

$CO_{2e}$  - الانبعاثات المكافئة من ثاني أكسيد الكربون kg/d

$GHG_i$  - انبعاثات الملوث المحدد من غازات الاحتباس الحراري kg/d

$GWP_i$  - إمكانية الاحتباس الحراري لكل ملوث

يتم تقدير انبعاث GHG المباشرة كقيمة مكافئة لغاز ثاني أكسيد الكربون ( $\text{kgCO}_2\text{e/d}$ )، ففي محطاتي الحارة ومرج معيربان ونظراً لتشابه هاتين المحطتين من حيث حجم المحطة وطريقة المعالجة المتبعة، وباعتبار أن المعالجة البيولوجية هوائية وبإهمال الانبعاثات من المدخل ومصائد الرمال وأحواض الترسيب الثانوية وأحواض تكثيف الحمأة [4] يتم تقدير الانبعاثات من ثاني أكسيد الكربون بالمعادلة (4). أما بالنسبة لمحطة المعالجة في الرويمية فيتم تقدير الانبعاثات من غاز ثاني أكسيد الكربون في الأحواض اللاهوائية ومنقوصة الأوكسجين والهوائية بالمعادلات (5) و (6) و (7) مع الأخذ بالاعتبار اختلاف معدلات إنتاج الكتلة الحيوية في المراحل الثلاث  $Y$  وتغير معدل الإنتاج الملاحظ  $Y_{OBS}$  ومعدل إنتاج النترجة الملاحظ  $Y_{OBSn}$  بسبب اختلاف الكائنات الدقيقة النشطة في كل مرحلة [20,21]، وتم اعتبار أن غاز الميثان ينبعث فقط في حالة المعالجة البيولوجية اللاهوائية وحسب بالمعادلة (8)، أما انبعاثات ثاني أكسيد النتروز فتم تقديرها بالمعادلة (9).

غاز ثاني أكسيد الكربون في الحالة الهوائية بطريقة التهوية المديدة ( $\text{kgCO}_2\text{e/d}$ ) (محطتي الحارة ومرج معيربان):

$$CO_2 = Q * BOD_{5in} * E_{ff} * CF_{CO_2} \left[ \left( 1 - (MCF * BG_{CH_4}) \right) (1 - Y) \right] 10^{-3} kg g^{-1} \quad (4)$$

غاز ثاني أكسيد الكربون في الحالة اللاهوائية ( $\text{kgCO}_2\text{e/d}$ ) (محطة الرويمية):

$$CO_2 = Q * BOD_{5in} * E_{ff} * CF_{CO_2} * (1 - 1.42Y_{OBS}) * 10^{-3} kg g^{-1} \quad (5)$$

غاز ثاني أكسيد الكربون في حالة منقوص الأوكسجين ( $\text{kgCO}_2\text{e/d}$ ) (محطة الرويمية):

$$CO_2 = Q * CF_{CO_2} * (TN_{in} * E_{ffN} - 0.12 * Y_{OBS} * BOD_{5in} * E_{ff}) * 10^{-3} kg g^{-1} \quad (6)$$

غاز ثاني أكسيد الكربون في الحالة الهوائية ( $\text{kgCO}_2\text{e/d}$ ) (محطة الرويمية):

$$CO_2 = Q * BOD_{5in} * E_{ff} * CF_{CO_2} * (1 - 1.42Y_{OBSn}) * 10^{-3} kg g^{-1} \quad (7)$$

غاز الميثان ( $\text{kgCO}_2\text{e/d}$ ) (محطة الرويمية):

$$CH_4 = GWP_{CH_4} * Q * MCF * BOD_{5in} * E_{ff} * CF_{CH_4} (1 - 1.42Y_{OBS}) * 10^{-3} kg g^{-1} \quad (8)$$

غاز أكسيد النتروز ( $\text{kgCO}_2\text{e/d}$ ) (محطة الرويمية):

$$N_2O = GWP_{N_2O} * Q * CF_{N_2O} * TN_{in} * E_{ffN} * 10^{-3} kg g^{-1} \quad (9)$$

حيث:

$Q$  - تدفق مياه الصرف الصحي  $\text{m}^3/\text{d}$ ،  $BOD_{5in}$  - تركيز الطلب الحيوي للأكسجين الداخل  $\text{g}/\text{m}^3$ ،  $E_{ff}$  - فعالية إزالة  $BOD_5$ ،  $CF_{CO_2}$  - معامل تحويل من أجل إنتاج أعظمي لـ  $CO_2$  بالنسبة لـ  $BOD_5$  يأخذ القيمة  $1.375 \text{gCO}_2/\text{gBOD}_5$ ،  $MCF$  - معامل تصحيح بدون واحدة يتعلق بطريقة معالجة مياه الصرف الصحي ويشير إلى الجزء من الطلب الحيوي للأكسجين الذي يتحول لاهوائياً في وحدة المعالجة،  $BG_{CH_4}$  - نسبة الكربون في الغاز الحيوي (القياسي 0.65)،  $Y$  - معدل إنتاج الكتلة الحيوية  $\text{gVSS}/\text{gBDO}_5$ ،  $Y_{OBS}$  - معامل الإنتاج الملاحظ  $\text{gVSS}/\text{gBDO}_5$ ،  $TN_{in}$  - النترجين الكلي الداخل  $\text{g}/\text{m}^3$ ،  $E_{ffN}$  - فعالية إزالة النترجين %،  $Y_{OBSn}$  - معامل إنتاج النترجة الملاحظ  $\text{gVSS}/\text{gN}$ ،  $GWP_{CH_4}$  - إمكانية الاحتباس

الحراري للميثان،  $CF_{CH_4}$  - عامل تحويل من أجل توليد أعظمي لـ  $CH_4$  ويساوي  $0.5 \text{ gCH}_4/\text{gBOD}_5$ ،  $GWP_{N_2O}$  - امكانية الاحتباس الحراري لأكسيد النتروز،  $CF_{N_2O}$  - معامل انبعاث لأكسيد النتروز  $0.005 \text{ gN emitted as N}_2\text{O/gTN}$ .

### تقدير الانبعاثات من المصادر غير المباشرة ( $\text{kgCO}_2\text{e/d}$ )

يتم استهلاك الطاقة الكهربائية في محطة الرويمية من أجل مضخات المدخل والحمأة العائدة والحمأة الفائضة وسحب الرمال ومضخات التدوير الداخلي، والمصفاة الدوارة، وخلطات المنطقة الهوائية والمنطقة منقوصة الأوكسجين وفي ناشرات الهواء. وفي محطتي الحارة ومرج معيربان من أجل مضخات المدخل وسحب الرمال وضخ الحمأة العائدة والحمأة الفائضة والمهويات، بالإضافة إلى استهلاك الكهرباء في هذه المحطات من أجل الإنارة والتكييف والمخابر. وتقدر الانبعاثات المكافئة من ثاني أكسيد الكربون عند توليد الطاقة الكهربائية من النفط بـ  $0.604 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh}$ . [22].

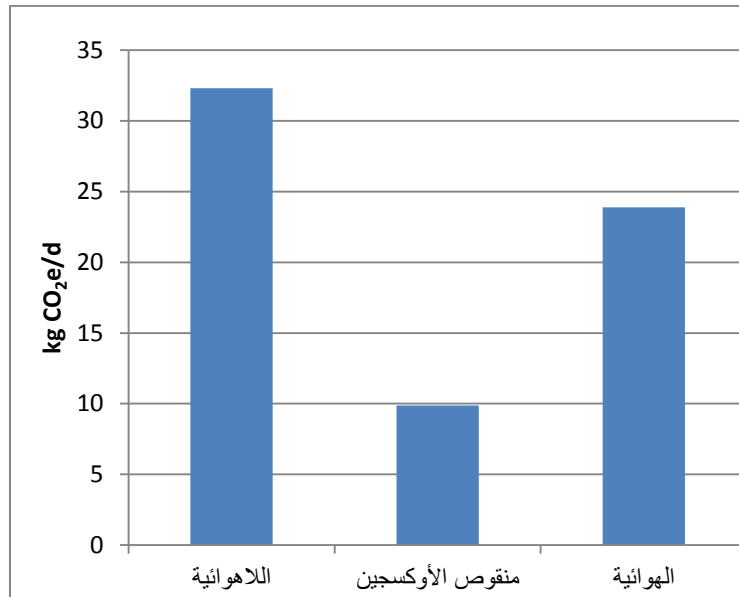
## النتائج والمناقشة

### كمية الانبعاثات من المصادر المباشرة ( $\text{kgCO}_2\text{e/d}$ )

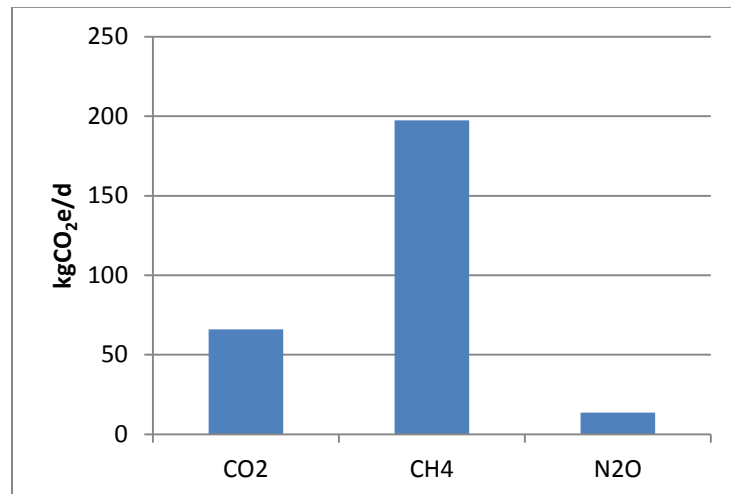
تم حساب كمية الانبعاثات المباشرة لغازات الاحتباس الحراري لمحطة الرويمية في مراحل المعالجة البيولوجية اللاهوائية ومنقوصة الأوكسجين والهوائية كقيمة مكافئة لغاز ثاني أكسيد الكربون، فكانت كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعثة من المراحل الثلاث بعد تطبيق المعادلات (5) للمرحلة اللاهوائية و (6) لمرحلة منقوص الأوكسجين و (7) للمرحلة الهوائية هي  $32.30 \text{ kgCO}_2\text{e/d}$  و  $9.87 \text{ kgCO}_2\text{e/d}$  و  $23.89 \text{ kgCO}_2\text{e/d}$  على التوالي كما هو موضح في الشكل (4)، حيث يشكل انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون من المرحلة اللاهوائية 50% تقريباً من الانبعاثات الكلية لثاني أكسيد الكربون للمراحل الثلاثة. بالإضافة إلى ذلك تتبع كميات هامة من غاز الميثان من المرحلة اللاهوائية تقدر بـ  $9.40 \text{ kgCH}_4/\text{d}$  أو  $197.40 \text{ kgCO}_2\text{e/d}$  حسب المعادلة (8). وينبعث غاز أكسيد النتروز كما ذكر سابقاً كنتاج ثانوي عن عمليات النترجة وإزالة النترجين في مراحل المعالجة اللاهوائية ومنقوص الأوكسجين والهوائية وتقدر كميته حسب المعادلة (9) بـ  $0.045 \text{ kgN}_2\text{O/d}$  أو  $13.95 \text{ kgCO}_2\text{e/d}$ ، يبين الشكل (5) كمية كل نوع من غازات الاحتباس الحراري التي تتبع من هذه المحطة كقيمة مكافئة لغاز ثاني أكسيد الكربون، ويلاحظ التأثير الأكبر لانبعاث غاز الميثان بسبب وجود المرحلتين منقوصة الأوكسجين واللاهوائية من أجل إزالة المغذيات من مياه الصرف الصحي.

أما في محطتي الحارة ومرج معيربان لا تسبب طريقة التهوية المديدة انبعاث كميات مؤثرة من غاز الميثان إلا في حال توقف المهويات عن العمل بسبب الانقطاع الطويل للطاقة الكهربائية، ولم يتم لحظها في هذه الدراسة، والانبعاث الرئيسية هي غاز  $\text{CO}_2$  ويهمل أيضاً انبعاث غاز أكسيد النتروز حيث لا تتم فيها عمليات نترجة وإزالة النترجين ويبين الشكل (6) الانبعاثات الكلية من المصادر المباشرة للمحطات الثلاث بتطبيق المعادلات من (3) حتى (9) وهي على التوالي  $277.07 \text{ kgCO}_2\text{e/d}$ ،  $51.72 \text{ kgCO}_2\text{e/d}$ ،  $36.29 \text{ kgCO}_2\text{e/d}$  للرويمية والحارة ومرج معيربان.

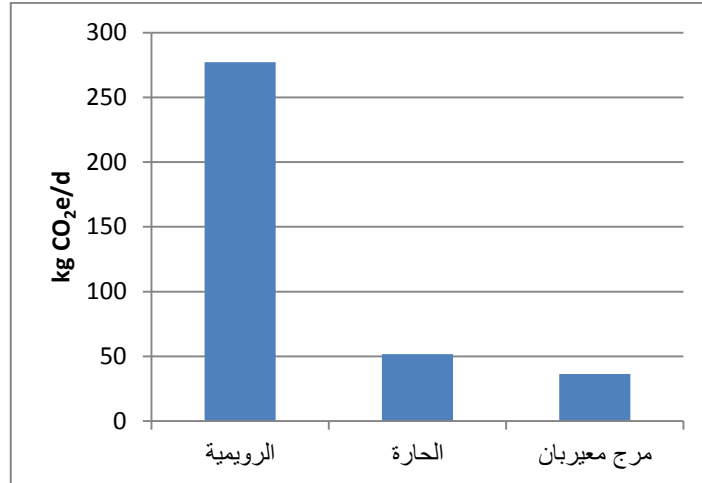




الشكل (4) انبعاثات ثاني اكسيد الكربون من مراحل المعالجة البيولوجية في محطة الرومبية.



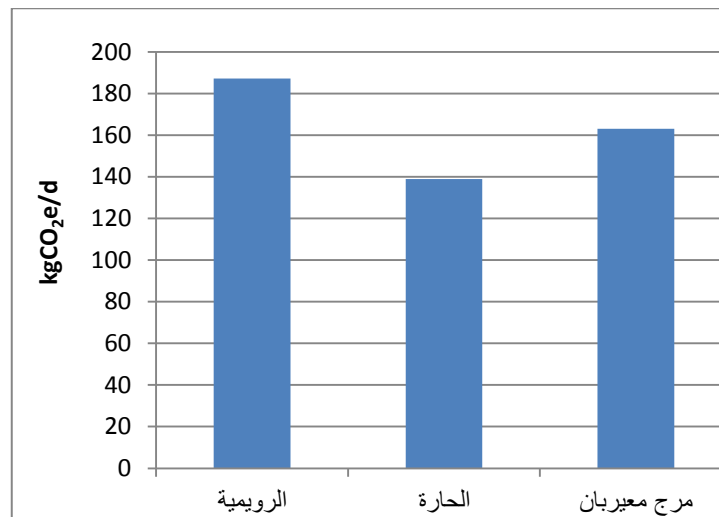
الشكل (5) انبعاثات CO<sub>2</sub>، CH<sub>4</sub>، N<sub>2</sub>O من محطة معالجة الرومبية كقيمة مكافئة لـ CO<sub>2</sub>.



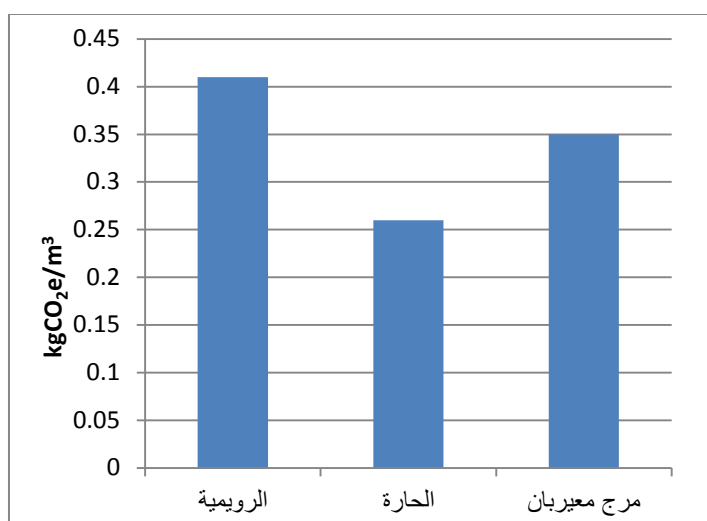
الشكل (6) كمية الانبعاثات اليومية المباشرة من kgCO<sub>2</sub>e/d.

#### كمية الانبعاثات من المصادر غير المباشرة (kgCO<sub>2</sub>e/d)

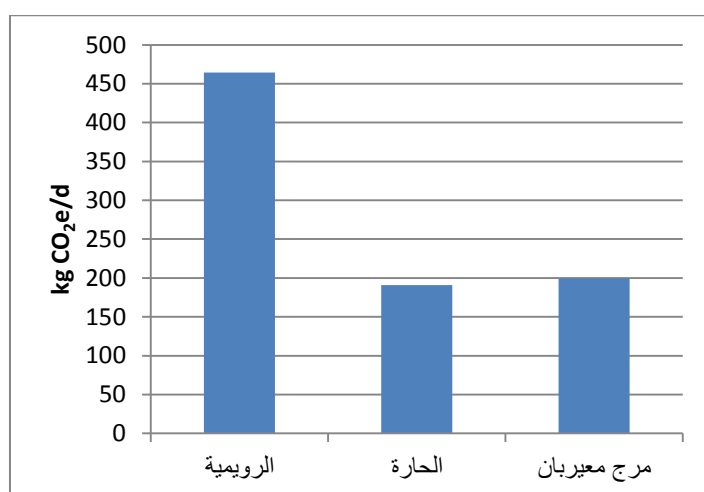
بينت النتائج أن كمية الانبعاثات من المصادر غير المباشرة وهي استهلاك الطاقة الكهربائية في المحطات بلغ 187.24 kgCO<sub>2</sub>e/d و 138.92 kgCO<sub>2</sub>e/d و 163.08 kgCO<sub>2</sub>e/d على التوالي لمحطات الرويمية والحارة ومرج معيربان كما يوضح الشكل (7). وعلى الرغم من تشابه محطي المعالجة في مرج معيربان والحارة فإن الظروف التشغيلية ومواصفات مياه الصرف المعالجة لعبت دوراً في تفاوت كمية الانبعاثات من CO<sub>2</sub>e لكل متر مكعب من المياه المعالجة، وكانت كمية الانبعاثات أعلى في محطة الرويمية لاختلاف طريقة المعالجة المتبعة والتي تتضمن إزالة مركبات النتروجين والفسفور الشكل (8) حيث بلغت كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة لكل متر مكعب من المياه المعالجة 0.41 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>، و 0.26kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>، و 0.35 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> على التوالي لمحطات المعالج في الرويمية والحارة ومرج معيربان.

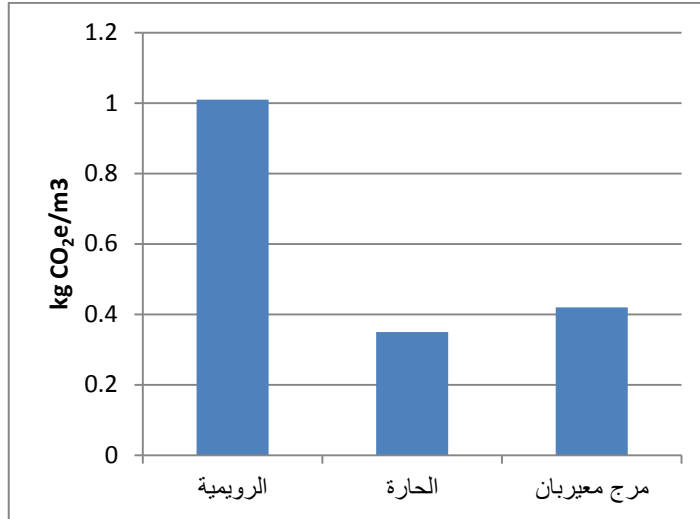


الشكل (7) كمية الانبعاثات اليومية من kgCO<sub>2</sub>e/d من المصادر غير المباشرة.

الشكل (8) كمية الانبعاثات اليومية من CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> من المصادر غير المباشرة

وبالتالي فإن كمية الانبعاثات الكلية كقيمة مكافئة لغاز ثاني أكسيد الكربون من المصادر المباشرة لعمليات المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي، ومن المصادر غير المباشرة الناتجة عن استهلاك الطاقة الكهربائية، للمحطات الثلاث هي 464.31 kgCO<sub>2</sub>e/d، 190.64 kgCO<sub>2</sub>e/d، 199.37 kgCO<sub>2</sub>e/d الرويمية والحارة ومرج معيربان على التوالي الشكل (9)، وقد أظهرت النتائج أن الانبعاثات الكلية المكافئة الناتجة عن معالجة متر مكعب واحد من المياه لمحطة الرويمية بلغت 1.01 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> وتشكل ثلاثة أضعاف الانبعاثات الكلية الناتجة عن محطة معالجة الحارة والتي بلغت 0.35 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> أما بالنسبة لمحطة مرج معيربان فكانت 0.42 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>، مما يوضح ارتباط الانبعاثات بطريقة المعالجة البيولوجية المتبعة وهي في الطريقة اللاهوائية - منقوصة الأكسجين - الهوائية أعلى من طريقة التهوية المديدة بسبب انبعاث كميات إضافية ناتجة عن عمليات النتجة وإزالة النتروجين في الحالة الأولى. كما أن ظروف تشغيل المحطات ونوعية مياه الصرف المعالجة تفسر سبب اختلاف كمية الانبعاثات بين محطتي الحارة ومرج معيربان اللتان تتبعان نفس طريقة المعالجة بالتهوية المديدة كما هو موضح في الشكل (10).

الشكل (9) كمية الانبعاثات اليومية الكلية من kgCO<sub>2</sub>e/d.



الشكل (10) كمية الانبعاث اليومية الكلية من  $\text{kg CO}_2\text{e/m}^3$ .

تبين النتائج السابقة أهمية تقدير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من محطات معالجة مياه الصرف الصحي فهي على الرغم من كميتها المحدودة بالمقارنة مع الانبعاثات الناتجة عن وسائل النقل وعن المنشآت الصناعية، يمكن التحكم بها عن طريق تعديل عمليات المعالجة البيولوجية وإعادة الاستفادة من غاز الميثان كمصدر بديل للطاقة فيها.

### الاستنتاجات والتوصيات

1. تختلف كمية غازات الاحتباس الحراري المنبعثة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي حسب طريقة المعالجة البيولوجية المتبعة، فقد بلغت من المصادر المباشرة للمحطات الثلاث وهي على التوالي 277.07  $\text{kg CO}_2\text{e/d}$ ، 51.72  $\text{kg CO}_2\text{e/d}$ ، و 36.29  $\text{kg CO}_2\text{e/d}$  للرويمية والحارة ومرج معيربان.
  2. تؤثر طريقة المعالجة وظروف التشغيل على كمية انبعاث غازات الاحتباس الحراري من المصادر غير المباشرة وهي استهلاك الطاقة الكهربائية حيث بلغت و 187.24  $\text{kg CO}_2\text{e/d}$ ، و 138.92  $\text{kg CO}_2\text{e/d}$  و 163.08  $\text{kg CO}_2\text{e/d}$  على التوالي لمحطات الرويمية والحارة ومرج معيربان.
  3. تزداد كمية الانبعاث المكافئة من GHG لكل متر مكعب من المياه المعالجة عند إزالة المغذيات منها وكانت  $1.01 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^3$ ،  $0.35 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^3$  و  $0.42 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^3$  على التوالي لمحطات الرويمية والحارة ومرج معيربان.
- على الرغم من أهمية أخذ انبعاثات GHG بالاعتبار عند تصميم وتشغيل محطات معالجة مياه الصرف الصحي مازالت الدراسات محدودة جداً في هذا المجال ويمكن متابعة هذا البحث من خلال:
1. إجراء قياسات مباشرة لانبعاث GHG واختبار تطبيق النماذج الديناميكية لتصميم وتشغيل محطات المعالجة في تقدير كمية الانبعاثات.
  2. تطوير نماذج رياضية لتقدير GHG تحاكي حالات تشغيل محطات المعالجة عند مختلف الظروف، وعند حمولات التلوث العضوية والحمولات الهيدروليكية المختلفة.
  3. دراسة امكانية الاستفادة من غاز الميثان الناتج عن عمليات المعالجة البيولوجية اللاهوائية كمصدر بديل للطاقة في محطات معالجة مياه الصرف الصحي وتأثير ذلك على تخفيض انبعاثات GHG منها.

## المراجع

1. MANNINA, G.; COSENZA, A.; GORI, R.; GARRIDO-BASERBAC, M. *Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants on a Plantwide Scale: Sensitivity and Uncertainty Analysis*. Journal of Environmental Engineering, Vol. 142, Issue 6, 2016, 1-11.
2. HWANG, K. L.; Bang, C. H.; Zoh, K. D., *Characteristics of methane and nitrous oxide emissions from the wastewater treatment plant*. Bioresource Technology. Vol. 214, 2016, pp. 881-884.
3. Keller, J. and Hartley K. *Greenhouse gas production in wastewater treatment: process selection is the major factor*. Water Sci. Technology 47(12), 2003. pp 43-48.
4. MONTEITH, H. D.; SAHELY, H. R.; MACLEAN, H. L.; GAGELY, D.M. *A Rational Procedure for Estimation of Greenhouse-Gas Emissions from Municipal Wastewater Treatment Plants*. Water Environmental Research, Vol. 77, No. 4, 2005, 390-403.
5. YAN, X.; LI, L.; LIU, L. *Characteristics of Greenhouse Gas Emission in Three Full-Scale Wastewater Treatment Processes*. Journal of Environmental Science. Vol. 26, Issue 2, 2014. 256-263.
6. PRENDEZ, M.; LARA-GONZALEZ, S. *Application of Strategies for Sanitation Management in Wastewater Treatment Plants in Order to Control/Reduce Greenhouse Gas Emissions*. Journal of Environmental Management, Vol. 88, Issue 4, 2008. 658-664.
7. ZENG, S.; CHEN, X.; DONG, X.; LIU, Y. *Efficiency Assessment of Urban Wastewater treatment Plant in Chain: Considering Greenhouse Gas Emissions Resources, Conservation and Recycling* U. K., Vol. 120, 2017, 157-165.
8. FLORES-ALSINA, X.; COROMINAS, L.; SNIP, L.; VANROLLEGHEM, P. *Including Greenhouse Gas Emissions During Benchmarking of Wastewater Treatment Plant Control Strategies*. Water Research. Vol. 45, Issue 16, 2011, 4700-4710.
9. MOLINOS-SENANTE, M.; HERNANDEZ-SANCHO, F.; MOCHOLI-ARCE, M.; SALA-GARRIDO, R. *Economic and Environmental Performance of Wastewater Treatment Plants: Potential Reductions in Greenhouse Gases Emissions*. Resource and Energy Economics. Vol. 38, 2014, 125-140.
10. SWEETAPPLE, C.; FU, G.; BUTLER, D. *Identifying Key Sources of Uncertainty in the Modeling of Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment*. Water Research, Vol. 47, Issue 13, 2013, 4652-4665.
11. IPCC, *2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2006.
12. US EPA Greenhouse Gas Emissions Estimation, Washington D. C. USA, 2010.
13. GUO, L. and VANROLLEGHEM, P. A. *Calibration and Validation of an Activated Sludge Model for Greenhouse Gases no.1 (ASMG1): Prediction of Temperature-Depended N<sub>2</sub>O Emission Dynamics*. Bioprocess and Biosystems Engineering Vol. 37, Issue 2, 2014, 151-163.
14. SWEETAPPLE, C.; FU, G.; BUTLER, D. *Multi-Objective Optimization of Wastewater Treatment Plant Control to Reduce Greenhouse Gas Emissions*. Water Research, Vol. 55, 2014, 52-62.
15. NI, B.; YUAN, Z. *Recent Advances in Mathematical Modeling of Nitrous Oxides Emissions from Wastewater Treatment Processes*. Water Research, Vol. 87, 2015, 336-346.

16. DEALMAN, M. R; VAN VOORTHUIZEN, E. M.; VAN DONGEN, U. G.; VOLCKE, E. I.; VAN LOOSDRECHT, M. C. *Seasonal and Diurnal Variability of N<sub>2</sub>O Emission from a Full-Scale Municipal Wastewater Treatment Plant*. Science of the Total Environment. Vol. 563, 2015. 1-11.
17. KAMPSCHREUR, M. J.; TEMMINK, H.; KLEEREBEZEM, R.; JETTEN, M. S. M.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M. Nitrous Oxide Emissions During Wastewater Treatment. Water Research. Vol. 43, 2009. 4093-4103.

18. تقارير الشركة العامة للصرف الصحي في اللاذقية.

19. HENZE, M., COMEAU, Y. Wastewater Characterization. In: Biological wastewater treatment: principles, modeling and design. Edited by M. Henze, M. C. M. van Loosdrecht, G. A. Ekama, D. Brdjanovic. Published by IWA publishing, 2008, London, UK.
20. TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 2004, McGraw-Hill, New York, USA.
21. CHANG, J.; KYUNG, D.; Lee, W. *Estimation of Greenhouse Gas (GHG) Emission from Wastewater Treatment Plants and Effect of Biogas Reuse on GHG mitigation*. Advances in Environmental Research, Vol. 3, No. 2, 2014, 173-183.
22. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2001.