

نمذجة ومحاكاة محطات معالجة مياه الصرف الصحي في التجمعات السكانية الصغيرة في المنطقة الساحلية

الدكتور رائد جعفر*

الدكتور حسام صبوح**

ميس عبد القادر***

(تاريخ الإيداع 20 / 10 / 2013. قُبل للنشر في 15 / 12 / 2013)

▽ ملخص ▽

نتيجة زيادة الوعي البيئي والاهتمام الفعلي بحماية البيئة من التلوث، فقد زادت القيود المفروضة على التخلص من مياه الصرف الصحي، ونشأت الحاجة إلى محطات لمعالجة هذه المياه قبل التخلص منها في المسطحات المائية سواء المياه الناتجة من التجمعات السكانية الكبيرة أو الصغيرة. ونظراً لأهمية هذه المنشآت وتكلفتها المادية الهائلة في الإنشاء والتشغيل والصيانة، وبهدف تسهيل عملية التصميم وحساب كلفتها الأولية تم إصدار بعض البرمجيات التي تساعد المهندس في تصميم مختلف أجزاء المحطة، واختيار تجهيزاتها والمقارنة بين عدة بدائل بطرق موضوعية لاختيار الأنسب. كما أن بعض هذه البرامج ديناميكية لها القدرة على محاكاة عمل محطة المعالجة مع الزمن والتنبؤ بكفاءة عملها. من هذه البرمجيات برنامج (STOAT). وهو عبارة عن بيئة عمل متعددة تهدف إلى نمذجة محطات معالجة مياه الصرف المعاشية والصناعية ومحاكاتها ويعتبر من أحدث التقنيات التي تستخدم آخر التطورات في نمذجة عمليات المعالجة، تقنية المحاكاة ومجموعة كبيرة من الأدوات التي تبسط بناء النموذج والمحاكاة وإظهار النتائج على شكل مخططات وجدول، مما يسمح لنا بفحص التفاعلات المعقدة بين الوحدات المختلفة ضمن المحطة بشكل تفاعلي وديناميكي. وهذا مهم من أجل التصميم الفعال وتشغيل محطات معالجة مياه الصرف وإدارتها. ومن هنا تأتي حالة دراستنا في المنطقة الساحلية بسبب وجود عدد من محطات المعالجة الحديثة التابعة للتجمعات السكانية الصغيرة وهي قيد التشغيل، مثل محطة خربة المعزة في محافظة طرطوس، وقد تبين لنا من خلال دراستنا وباستخدام البرنامج، فعالية أداء هذه المحطة ضمن النماذج التي تم اعتمادها (ASAL1, ASMI)، مع إمكانية بناء سيناريوهات مختلفة مثل وصول تدفقات لحمولات تلوث عالية للتنبؤ بأداء هذه المحطة.

الكلمات المفتاحية: محطات معالجة مياه الصرف الصحي، نمذجة، محاكاة، ASAL1, ASMI.

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

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

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

Modelling and Simulation of Wastewater Treatment Plant in Small Agglomeration in The Coastal Zone

Dr. Raed Jafar *
Dr. Husam Sabboh**
Mais Abd Alkader ***

(Received 20 / 10 / 2013. Accepted 15 / 12 / 2013)

▽ ABSTRACT ▽

As a result of increased environmental awareness and interest in the effective protection of the environment from pollution, the restrictions have increased on the disposal of wastewater, and the need to the treatment plants has arisen to treat the wastewater prior to disposal in water bodies, whether water from either large or small communities. As a result of the importance of these facilities and cost of material massive construction, operation and maintenance. In order to facilitate the design process and calculate the initial cost it was issued some software that helps engineer in the design of the various parts of the station, and in order to choose the equipments and comparison between several alternatives in objective ways to choose the most appropriate. Some of these programs are dynamics. It has the ability to simulate the work of the treatment plant along the time and predict its efficiency and performance. STOAT is a software that aims to model and simulate wastewater and industrial wastewater treatment plant, and it is one of the newest technology that uses the latest developments in process modelling, simulation and a wide range of tools that simplifies the model building and simulation and give the results in graphics and tables, allowing us to examine the complex interactions between the various units within the station by interactive and dynamic methods and this is important for the effective design, operation and management of wastewater treatment plants. Hence, we take the coastal area as a case study where there are number of modern wastewater treatment plants of small agglomeration and is being work, as Kherbet al-Maaze wastewater treatment plant in Tartous. Using STOAT, the study shows a good efficiency and performance of Kherbet al-Maaze WWTP using (ASM1,ASAL1) models, and we could build several scenarios like arrival of high pollution load to the station in order to evaluate and predict its performance.

Keywords: Wastewater Treatment Plant (WWTP), Modelling, Simulation, ASM1, ASAL1.

مقدمة:

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

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

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

أدى التطور الذي شهدته معظم دول العالم وزيادة عدد السكان وارتفاع مستوى المعيشة إلى ارتفاع ملحوظ في الطلب على المياه وعلى الرغم من أن بعض الدول لا تعاني من هذه المشكلة بسبب تنوع مصادر المياه التقليدية فيها ووجود هذه المياه بكميات تفي بالطلب، فإن توزيع المياه الصالحة للاستعمال على سطح الكرة الأرضية ليس متساوياً . وقد أدى ذلك إلى اختلال التوازن بين الكميات المتوفرة من المياه والطلب الفعلي عليها ، الأمر الذي أدى إلى التفكير في تنويع مصادر المياه واستغلال أكبر كمية ممكنة منها بشتى الطرق.

37 مليار ليرة سورية خصصت لمشاريع الصرف الصحي خلال الخطة الخمسية العاشرة ، وهذا رقم كبير، و إن دل على شيء ، فإنما يدل على اهتمام الدولة بمسألة بيئية هامة تتعلق بصحة الناس وبتوفير الخدمات الأساسية للجميع لأن مشكلة الصرف الصحي مشكلة مزمنة تعاني منها كافة المدن والبلدان والقرى في مختلف المحافظات ، وإن كانت قد نفذت بعض الحلول الجزئية التي تحتاج إلى استكمال .

هناك مشاكل كبيرة تنتظرنا من حيث تشغيل المحطات، بالإضافة إلى الاستهلاك الهائل للطاقة علاوة على غياب إستراتيجية وطنية واضحة لكيفية المعايير المتبعة لاختيار القرى ذات الأولوية المراد معالجة المياه الملوثة لها، إضافة إلى غياب واضح لمراعاة الاختلاف المناخي و الطبوغرافي و ضعف الخبرة الوطنية في مجال تشغيل محطات المعالجة وصيانتها أثناء تحديد الخيارات المتاحة للمعالجة.

ولتقدير كلفة محطة المعالجة يجب حساب تكاليف بناء المحطة وتجهيزها، بالإضافة إلى حساب كلفة تشغيل المحطة وصيانتها. فالمحطة ذات التكلفة التأسيسية الدنيا مقارنة مع البدائل المتاحة ليست على الأغلب هي الأكثر اقتصادية و إنما يجب النظر إلى كلفة التشغيل و الصيانة لمدة لا تقل عن عشرة سنوات في أثناء تقييم الخيارات اقتصادياً".

كل الأمور السابقة تجعلنا نبحث عن الحلول التي يمكن أن تساعد في حل مشاكل محطات المعالجة من حيث تصميمها وحساب كلفتها والمقارنة بين عدة بدائل لاختيار الأنسب [1].

أهمية البحث وأهدافه:

أهمية البحث:

تعاني المنطقة الساحلية وخاصة محافظة طرطوس من غياب نظام الإدارة المتكاملة لمحطات معالجة مياه الصرف الصحي، إذ توجد فيها محطات المعالجة الصغيرة التابعة للتجمعات السكانية الصغيرة مثل محطة خربة المعزة ومحطة تعينتا، وتعتمد أغلب هذه المحطات نظام المعالجة بالحماة المنشطة بتقنية التهوية المديدة، من هنا تأتي أهمية البحث في نمذجة عمل هذه المحطات ومحاكاته، الموضوع الذي لم تتطرق إليه الأبحاث السابقة في المؤسسات التعليمية أو الخدمية.

وتتمثل أهمية البحث في النقاط التالية:

- 1 - إمكانية استعمال النماذج للتنبؤ باستجابة نظام المعالجة إلى البارامترات المؤثرة في عملية المعالجة.
- 2- إمكانية استعمال النماذج المتعددة للحماة المنشطة لتقييم فاعلية عمل المحطة، والمحاكاة للتنبؤ بأداء جميع المنشآت الداخلة في تركيب المحطة، ولا سيما في حالة حمولات التلوث المرتفعة والمفاجئة.

أهداف البحث:

1. النمذجة الديناميكية لعمل محطة معالجة خربة المعزة والتحقق من فعالية عمل هذه المحطة وكفاءتها.
2. محاكاة عمل المحطة للتنبؤ بقيم البارامترات المختلفة مع مرور الزمن (تركيز المواد الصلبة العالقة، تركيز الأمونيا و COD و BOD في التدفق الخارج من المحطة.....) وعند تغير الظروف مثل مواسم عصر العنب أو حدوث عواصف مطرية أي زيادة حمولات التلوث القادمة إلى المحطة.

منهجية البحث:

تم استخدام نموذجين للمحطة المذكورة (ASM1,ASAL1) مع العلم أنه يوجد نماذج عديدة في مكتبة البرنامج، ولكن هذين النموذجين مختصان بنمذجة محطات المعالجة التي تعمل بالحماة المنشطة لإزالة الكربون وتم استخدام نماذج متوافقة لحوض الترسيب الثانوي مثل (ASAL1,SSED1) و (ASM1,GENERIC).

وكانت مراحل البحث على الشكل التالي:

- 1- جمع عينات مياه الصرف الصحي من مدخل محطة معالجة مياه الصرف الصحي ومن مخرجها.
- 2- إجراء التحاليل للعينات المجمعدة لمياه الصرف الصحي وتتضمن: PH ، BOD_5 ، COD_{tot} ، درجة الحرارة، الأمونيا ، TDS ، TSS ، النترات وفق الطرق المعتمدة في مخبر مديرية البيئة في طرطوس.
- 3- إجراء التحاليل اللازمة لتحديد أجزاء COD و BOD للعينات المجمعدة وفق المنهجية المحددة في الفقرة السابقة، إذ تلزم هذه التحاليل لإدخال قيم هذه البارامترات في النماذج المستخدمة (ASM1,ASAL1) في البرنامج المعتمد (STOAT).
- 4- إدخال قيم البارامترات السابقة بحسب ما هو مطلوب في النموذج المحدد (ASM1 أو ASAL1) في البرنامج.
- 5- القيام بعملية تشغيل للنموذج المستخدم.
- 6- بناء سيناريوهات خلال فترات مختلفة من أيام السنة (وصول مياه صرف صناعي أو وصول حمولات تلوث عالية ومفاجئة).
- 7- القيام بعملية المحاكاة مرافقة لكل سيناريو خلال أزمدة مختلفة (يومين أو ثلاثة أو حتى 28 يوم (عمر الحماة)).
- 8- إخراج نتائج المحاكاة.
- 9- تفسير النتائج ومناقشتها، ومقارنتها مع القيم المراقبة، واقتراح الأفضل، واستخلاص الاستنتاجات والتوصيات.

● محاكاة محطات المعالجة باستخدام البرمجيات:

إن محاكيات WWTP تحوي عادة مكتبة واسعة من نماذج وحدات عمليات المعالجة. على سبيل المثال نماذج مفاعل المزج الكامل ASM1 (Activated Sludge Model No.1) ونموذج المرسب ذو 10 طبقات، ومن الأمثلة عن هذه المحاكيات [8]:

- (SIMulation programms f'ur die Biologische Abwasserreinigung) SIMBA :

تم تطويره في ألمانيا ويعتمد على لغة البرمجة Matlab.

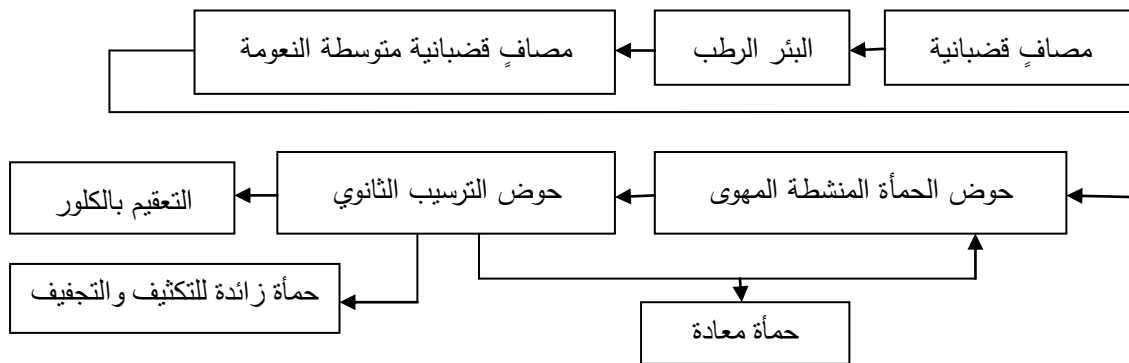
- BIOWIN - تم تطويره في كندا وغير موجود حالياً في أوروبا. وهو سهل الاستخدام ولكن ميزاته أقل من غيره.
- WEST (Wastewater treatment plant Engines for Simulation and Training): تم تطويره في بلجيكا. ميزاته جيدة ولكن ليس فيه وظيفة المحاكاة المستمرة.
- GPS-X - تم تطويره في كندا وله ميزات شاملة، أسلوب ديناميكي مستمر، تحاليل للحساسية تحاليل نمذجة ولغات البرمجة المستخدمة فيه هي Fortran وإحدى مشتقاتها ACSL .
- وهناك أيضاً STOAT ، EFOR ، AQUASIM ، SASSPro.
- إن المحاكى المحدد يسمح للنموذج بسهولة التصور المرغوب لـ WWTP من خلال ربط النماذج المحددة سابقاً.
- مميزات برنامج STOAT المستخدم في البحث تكمن بما يلي [7]:
1. بناء نماذج واقعية لمحطة معالجة مياه الصرف (المراد إنشاؤها أو الموجودة على أرض الواقع) بشكل سريع، وذلك إما باستعمال مخططات مبنية مسبقاً و/أو سحب وإفلات للوحدات المكونة للمحطة.
 2. تسهيل إجراء دراسات المحاكاة.
 3. سهولة الدخول للمكتبة الشاملة لنماذج المحاكاة حيث تحتوي مكتبة البرنامج مجموعة واسعة من النماذج الخاصة بكل نوع من أنواع معالجة مياه الصرف الصحي، سواء المعالجة الأولية أو المعالجة الثانوية وحتى المعالجة الثالثية فعلى سبيل المثال هناك مجموعة نماذج للحماة المنشطة التي تم وضعها من قبل مخابر أبحاث تلوث المياه (Water Pollution Research Laboratories) والتي أصبحت تعرف لاحقاً بـ WRCs وهذه النماذج هي ASAL1, ASAL2, ASAL3, ASAL4, ASAL5 بالإضافة إلى مجموعة نماذج IAWQ (الاتحاد العالمي لجودة المياه).
 4. تطوير تصاميم متينة وتحسين كفاءة التشغيل للوسائل الجديدة والحالية.
 5. حساب مؤشرات الأداء الرئيسية آلياً وتقييم مستويات المعالجة الجارية ضمن المحطة، وبالتالي اتخاذ أفضل القرارات.
 6. محاكاة ترتيبات مختلفة لاختبار قوة تصميم المنشأة.
 7. التعرف إلى أداء المخطط المفترض قبل البدء بالاستثمار، وإنفاق الأموال أو الموارد.

موقع منطقة البحث:

تقع محطة معالجة خربة المعزة في محافظة طرطوس على بعد 200م شرق الأوتوستراد الدولي حمص- طرطوس وقد بدأت بالعمل عام 2009. الشكل (1).

الأجزاء العامة للمحطة:

طريقة المعالجة: تعمل المحطة بنظام الحماة المنشطة (Activated Sludge (AS) بتقنية التهوية المديدة Extended Aeration (EA) وهذا يتيح للمياه أن تمر بالمراحل التالية:



طرائق البحث ومواده:

تناولت الدراسة المخبرية إجراء تحاليل عامة لعينات مياه الصرف الصحي المأخوذة من مدخل المحطة ومن مخرجها حيث تم أخذ ثلاث عينات في ثلاث فترات زمنية مختلفة وأخذ القيمة الوسطية لهذه البارامترات بالإضافة إلى إجراء تحاليل لقياس أجزاء COD وفق المنهجية المحددة كالتالي:

إن التركيب الجزئي لـ COD يحدد على أساس النموذج ASM1 [2].

بشكل عام فإن أجزاء COD تحدد كالتالي:

$$COD_{Total} = S_i + S_s + X_s + X_i$$

إن مدلول التقسيم الجزئي والمنهجية الموحدة المستخدمة لتحديد أجزاء COD مبينة لأجل الطقس الجاف

والطقس الرطب مبينة في الجدول (1). [3].

الجدول (1) يبين تعريفاً بأجزاء الـ COD ومنهجية تحديدها

Fractions of COD	Methodology of determination of COD
S _s - soluble easily degradable	S _s = COD _{mf} - S _i
S _i - inert soluble (غير قابل للهضم)	0.9 · COD _{eff}
X _s - particulate slowly degradable	COD _{BD} - S _s
X _i - inert particulate	X _{COD} - X _s



الشكل رقم (1) - يبين صورة جوية للمنطقة المدروسة

طريق عام حمص
- طرطوس

حيث أن:

(Chemical Oxygen Demand): الاحتياج الكيميائي للأوكسجين COD:

COD_{eff} : COD الخارج من المرسب الثانوي والمفلتر بواسطة غشاء 0.45 ميكرون.

COD_{mf} : COD المنحل لمياه الصرف الخام والمفلتر بغشاء 0.45 ميكرون وذلك بعد التخثير بواسطة كبريتات

الزنك.

يتم حساب X_{COD} كما يلي:

$$X_{COD} = COD_{tot} - COD_{mf}$$

كما يتم حساب COD_{BD} كما يلي:

$$COD_{BD} = \frac{BOD_{TOT}}{(1 - f_{BOD})}$$

حيث:

BOD_{TOT} : الاحتياج البيوكيميائي الكلي للأوكسجين المنحل للمركبات الكربونية العضوية.

$BOD_{TOT} = 1.47 BOD_5$ حيث تحدد BOD_5 بإضافة مانع نترجة.

قيمة عامل التصحيح $f_{BOD} = 0.15$ حسب [4].

إن المشاكل المرتبطة بتحديد أجزاء COD تبرز في غياب تحديد الملوثات المنحلة والمعلقة ، وهنا يشار إلى

الجزء الغروي من الملوثات بالمواد الصلبة المعلقة (وذلك بالتوافق مع المنهجية المستخدمة) [5]، [6].

إن S_S يتم هضمه بشكل كامل تقريباً من قبل الكائنات الدقيقة في الحمأة المنشطة (بكتريا Heterotrophs)

بينما X_I ترتبط بالمواد المعلقة في الحمأة المنشطة، ولذلك تتم إزالتها إما مع الحمأة الفائضة أو مع التدفق الخارج من

حوض الترسيب الثانوي.

للتحقق من صحة القيم التي تم الحصول عليها لـ S_I يتم مقارنة قيمتين لـ COD_{eff} :

COD_{eff} : من التدفق الخارج المفلتر أي المعالج بيولوجياً.

COD_{eff} : من التدفق الداخل الخام بعد تهوية طويلة لمدة 30 يوماً

الاختلاف الأعظمي بين القيمتين المذكورتين أعلاه يجب أن لا يتجاوز 5% ، وبذلك تكون منهجية فلترة COD سريعة ودقيقة بشكل كاف.

تجربة تحديد COD المنحل:

- يتم جمع عينات مياه الصرف الصحي من مياه الصرف الخام قبل دخولها إلى مصائد الرمال (إن وجدت) أي قبل الترسيب الأولي وقبل المعالجة البيولوجية.

- يتم جمع ثلاث عينات ضمن زجاجات من البولي إيثيلين المغسولة والمطهرة بالماء منزوع الشوارد.

- عند الوصول إلى المخبر تترك العينات لتترسب لمدة 30 min ويستخدم القسم العائم من العينات للاختبارات اللاحقة.

خطوات التخثير بواسطة كبريتات الزنك ($ZnSO_4$):

- نضيف 1 ml من محلول $ZnSO_4$ 0.6 M (محلول كبريتات الزنك مولاليته 0.6) إلى كل 100 ml من

العينات الثلاث ضمن 200 beakers ويتم تعديل Ph تقريباً إلى 10.5 ± 0.3 بإضافة 6 M NaOH

- يتم مزج العينات بواسطة محرك مغناطيسي لمدة 1min عند سرعة عالية (تقريباً 200 rpm) ولمدة 5 min عند سرعة بطيئة (30rpm) ويتبع ذلك ترسيب لمدة 1 h .

- يسحب من الجزء الكلي العائم (تقريباً 30 ml) مقدار 5 ml بواسطة ماصة بلاستيكية ويمرر عبر فلتر ترشيح $0.45\mu m$ معقم مسبقاً ومدمج مع غشاء استر سيللوزي.

- يستخدم الجزء الكلي المفلتر لإجراء حسابات COD المنحل.

يبين الجدول (2) نتائج تحاليل BOD و COD بالإضافة إلى بارامترات أخرى لعينات من مدخل المحطة ومخرجها.

الجدول (2) تحاليل عينة مياه الصرف الصحي بتاريخ 2011/9/26

النتيجة		البارامتر
بعد المعالجة	قبل المعالجة	
7.5	7.5	PH
27.4	27.6	T (c°)
511	595	TDS(mg/L)
13.9	230	COD(mg/L)
6	115	BOD(mg/L)
3.4	38.5	NH ₄ (mg/L)
37	16	NO ₃ (mg/L)
13	85	SS(mg/L)

بتاريخ 2012/5/26 تم أخذ عينات للتدفق الداخل وإجراء التحاليل فتبين وصول حمولة تلوث عالية إلى المحطة (قد يكون بسبب وصول مياه صرف صناعي) سببت قيماً عالية لـ COD بالقيم التالية واعتمدنا على البرنامج

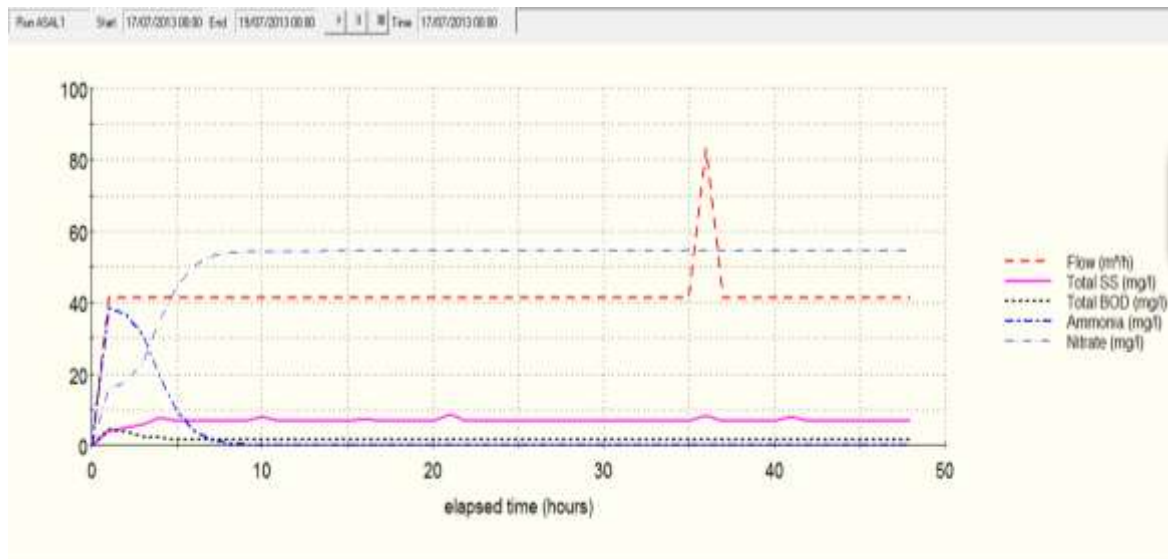
لنرى إمكانية التنبؤ بقيم البارامترات في التدفق الخارج، وذلك لأن الظروف لم تمكنا من إجراء القياسات الخاصة بالتدفق الخارج:

TSS=182 mg/l PH=7.5 ، T=20.4 BOD₅=195 mg/l ، Total COD=489 mg/l
 بالنسبة لطريقة تحديد أجزاء الـBOD [7]:
 Soluble BOD =60% of BOD₅
 Particulate BOD=40% of BOD₅
 بالنسبة لأجزاء المواد الصلبة الكلية حسب [7]:
 Volatile solids = 75% of TSS
 non-volatile solids =25% of TSS

النتائج والمناقشة:

1- بالنسبة للنموذج الأول الخاص بالحماة المنشطة ASAL1 ونموذج حوض الترسيب الموافق SSED1 تكون النتائج على الشكل التالي:

يعتمد النموذج ASAL1 على قيم أجزاء BOD المتوفرة حيث سنقارن بين القيم التجريبية والقيم المقيسة ونركز على قيم BOD وليس COD (كما هي الحال في النموذج ASM1) بالإضافة إلى بارامترات أخرى كما هو موضح في الجدولين 3 و 4 .



الشكل رقم (2) - مخطط يوضح النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حالة النمادج ASAL1-SSED1

الجدول (3) ملخص النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حال اعتماد نماذج (ASAL1-SSED1)

	Flow (m ³ /h)	Total SS (mg/l)	Total BOD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)
Mean	41.23	6.72	1.61	2.90	50.56
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	83.21	8.63	4.55	38.41	54.68
Standard deviation	8.49	1.19	0.60	8.96	11.61
Total mass (kg)		13.913	3.335	5.849	104.388
Peak load (g/s)		0.192	0.052	0.440	1.262

الجدول (4) قيم البارامترات التي تم قياسها في المخبر

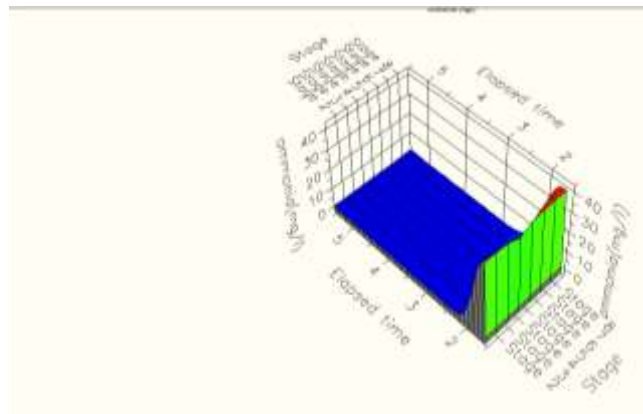
التدفق (m ³ /h)	(mg/l)TSS	(mg/l)BOD ₅	(mg/l)NH ₄	(mg/l)NO ₃	COD (mg/l)
42	13	6	3.4	37	13.9

من خلال المقارنة بين قيم الجدولين 3 و 4 التقارب بين قيم البارامترات التي تم الحصول عليها من البرنامج والقيم المقيسة من مخرج المحطة ما يعني ملاءمة النموذج ASAL1 للمحطة المدروسة.

نلاحظ من خلال المخطط البياني تناقص تركيز الأمونيا مع مرور الزمن ما يعني حصول عملية النتريجة في أثناء المعالجة، وأيضاً تناقص BOD مع الزمن، كما يمكننا أن نلاحظ أنه وبعد حوالي 35 ساعة من بدء عملية المحاكاة يبدأ التدفق بالازدياد ليصل إلى التدفق الأعظمي (ضعف التدفق التصميمي) ثم يعود للانخفاض والاستقرار عند قيمة التدفق التصميمي (42m³/h)، وهذا يدل على وجود مضعنين تكونان في وضع التشغيل في البئر الرطب وربما يعود ذلك لوصول تدفقات زائدة إلى المحطة إما مياه صرف صناعي أو مياه أمطار.

1-1. تغير تركيز الأمونيا في الطبقات الثمانية لحوض الترسيب الثانوي:

إن نموذج حوض الترسيب الثانوي SSED1 يقسم المرسب إلى 8 طبقات بسماكة ثابتة وسنرى كيف سيكون تركيز الأمونيا ضمن هذه الطبقات الثمانية:



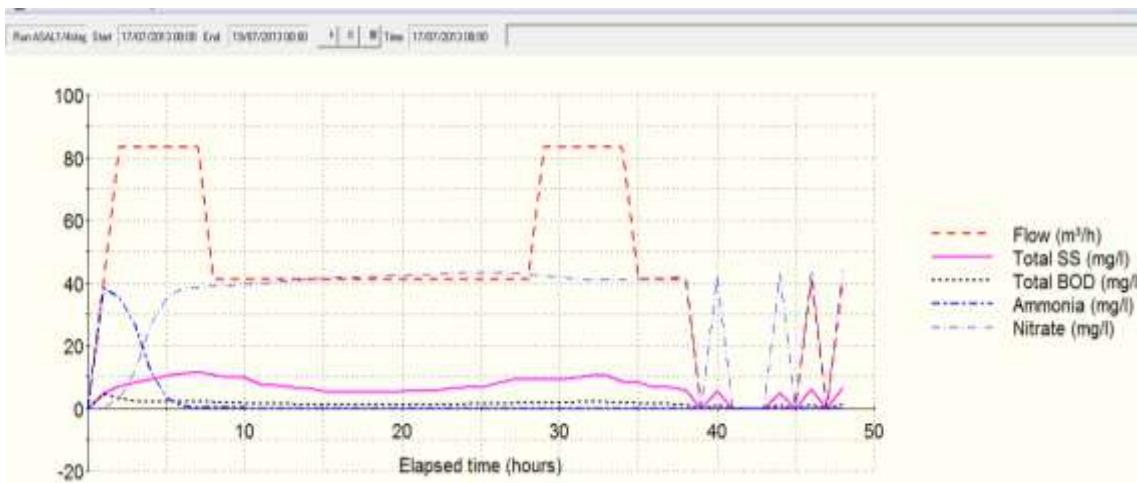
الشكل رقم (3) - تركيز الأمونيا في الطبقات الثمانية للمرسب الثانوي

الجدول (5) تغيير تركيز الأمونيا في الطبقات الثمانية للمرسب الثانوي

Run ASAL1		Start	17/07/2013 00:00	End	19/07/2013 00:00
	Stage	Ammonia (mg/l)			
Mean	1	2.9			
	2	2.4			
	3	1.9			
	4	1.4			
	5	2.3			
	6	3.2			
	7	4.2			
	8	5.1			
Minimum	1	0.0			
	2	0.0			
	3	0.0			
	4	0.0			
	5	0.0			
	6	0.0			
	7	0.0			
	8	0.0			
Maximum	1	38.4			
	2	38.1			
	3	37.2			
	4	34.6			
	5	37.7			
	6	38.4			
	7	38.5			
	8	38.5			

نلاحظ تناقص تركيز الأمونيا خلال عملية المعالجة ابتداء من 38.5 mg/l إلى 3mg/l تقريباً ما يعني حصول عملية النترجة في أثناء عملية المعالجة.

1-2. السيناريو الأول: إذا قمنا بتغيير عدد مراحل التهوية في حوض التهوية من 1 إلى 4 مثلاً (أي تحويل نوع التدفق من completely mixed إلى plug flow) لنرى كيف ستتأثر فعالية المعالجة :



الشكل رقم (4) - مخطط يوضح النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حالة النماذج ASAL1-SSED1 وفق السيناريو الأول (عدد مراحل التهوية في حوض التهوية=4)

الجدول (6) ملخص النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج

في حال اعتماد نماذج (ASAL1-SSED1) وعدد مراحل التهوية في حوض التهوية يساوي 4

	Flow (m ³ /h)	Total SS (mg/l)	Total BOD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)
Mean	43.93	6.47	1.36	2.38	32.98
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	83.21	11.76	4.46	38.34	43.81
Standard deviation	27.42	3.26	0.83	8.32	16.40
Total mass (kg)		17.484	3.709	8.103	79.953
Peak load (g/s)		0.272	0.076	0.824	0.977

الجدول (3) ملخص النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حال اعتماد نماذج (ASAL1-SSED1) وعدد مراحل التهوية في

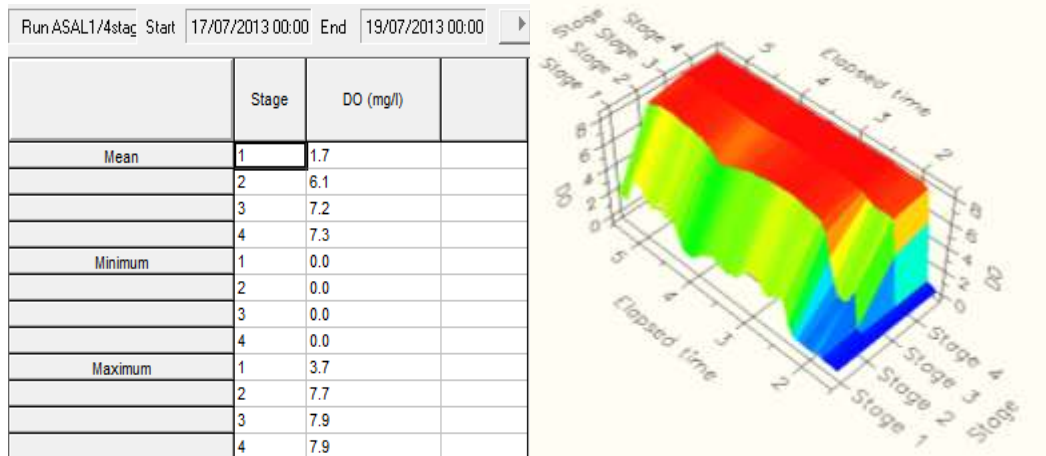
حوض التهوية يساوي 1

	Flow (m ³ /h)	Total SS (mg/l)	Total BOD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)
Mean	41.23	6.72	1.61	2.90	50.56
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	83.21	8.63	4.55	38.41	54.68
Standard deviation	8.49	1.19	0.60	8.96	11.61
Total mass (kg)		13.913	3.335	5.849	104.388
Peak load (g/s)		0.192	0.052	0.440	1.262

إن تغيير نظام التدفق من completely mixed إلى plug flow لا يؤثر كثيراً في فعالية المعالجة ونلاحظ ذلك من الفارق القليل بين النتائج التي حصلنا عليها (الجدولان 6 و 3) حيث يمكن أن نلاحظ الفرق في تركيز النترات في التدفق الخارج، إذ تناقص من 50 إلى 32mg/l، كما يمكن أن نلاحظ التغيير في نمط التدفق حيث يصل إلى القيمة الأعظمية مرتين وبثبت لمدة 6 ساعات تقريباً، ثم يعود ليتناقص مرة أخرى خلال عملية المحاكاة (ما يعني وجود مضختين عاملتين في هذه الفترة ووصول دفقات مفاجئة لمياه الصرف(الصناعي أو مياه أمطار)).

3-1. نموذج الأوكسجين المنحل في حوض التهوية بوجود أربع مراحل للتهوية في حوض التهوية:

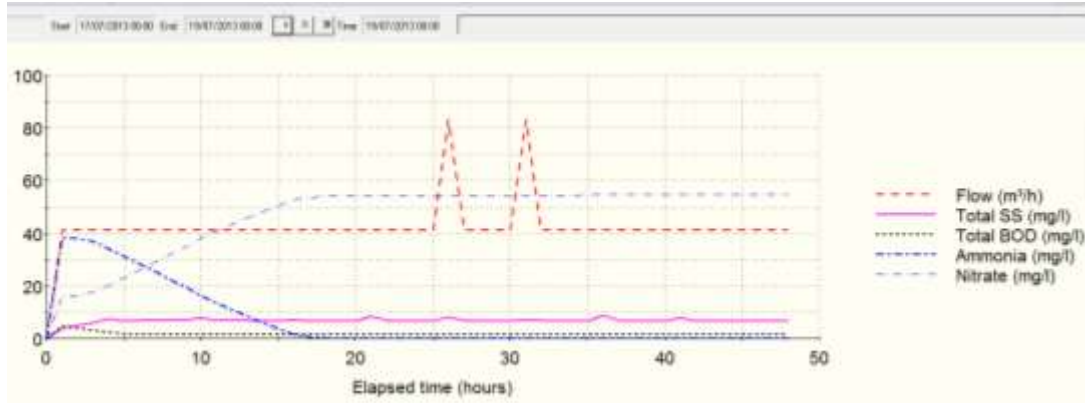
نستطيع من خلال البرنامج أن نراقب تركيز الأوكسجين المنحل في حوض التهوية في أي حالة من الحالات، فمثلاً بوجود 4 مراحل للتهوية في حوض التهوية يكون نموذج الأوكسجين المنحل على الشكل التالي:



نلاحظ تزايد تركيز الأوكسجين المنحل في حوض التهوية مع مرور الزمن بدءاً من المرحلة الأولى للتهوية في المرحلة الرابعة للتهوية.

1-4. السيناريو الثاني: تغيير طريقة التحكم بالأوكسجين المنحل في حوض التهوية :

سنقوم بتغيير طريقة التحكم بالأوكسجين المنحل في حوض التهوية ضمن أحد الخيارات في البرنامج، وذلك من خيار أن تكون طريقة التحكم بالأوكسجين المنحل (calculated automatically) إلى خيار أن نحدد طريقة التحكم بـ DO (specified by user DO=2mg/l) ونرى كيف ستتأثر فعالية المعالجة:



الشكل رقم (6) - مخطط يوضح النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حالة النماذج

ASAL1-SSED1 وفق السيناريو الثاني (تغيير طريقة التحكم بالأوكسجين المنحل (specified by user DO=2mg/l))

الجدول (8) ملخص النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حال اعتماد نماذج (ASAL1-SSED1) وطريقة التحكم بالأوكسجين المنحل (calculated automatically)

	Flow (m ³ /h)	Total SS (mg/l)	Total BOD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)
Mean	42.08	6.75	1.71	6.91	46.55
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	83.21	8.74	4.64	38.47	54.67
Standard deviation	10.40	1.21	0.65	12.24	13.99
Total mass (kg)		14.271	3.600	13.947	98.580
Peak load (g/s)		0.190	0.053	0.440	1.261

الجدول (3) ملخص النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حال اعتماد نماذج (ASAL1-SSED1) وطريقة التحكم بالأوكسجين المنحل (DO=2mg/l)

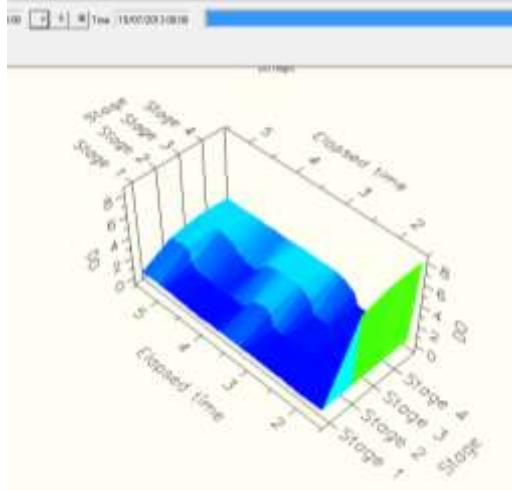
	Flow (m ³ /h)	Total SS (mg/l)	Total BOD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)
Mean	41.23	6.72	1.61	2.90	50.56
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	83.21	8.63	4.55	38.41	54.68
Standard deviation	8.49	1.19	0.60	8.96	11.61
Total mass (kg)		13.913	3.335	5.849	104.388
Peak load (g/s)		0.192	0.052	0.440	1.262

إن تغيير طريقة التحكم بالأوكسجين المنحل في حوض التهوية لا يؤثر على النتيجة النهائية للمعالجة ولكن يمكن أن نلاحظ الفارق فقط على شكل المخطط البياني الخاص بالتدفق، حيث يمكن أن نلاحظ أنه في حالة تحديد

تركيز الأوكسجين المنحل بـ 2mg/l في حوض التهوية يمكن أن يصل التدفق إلى قيمة التدفق الأعظمي مرتين وذلك بفواصل زمني لا يتجاوز 6hours (يمكن ملاحظة ذلك على المخطط البياني (الشكل 6)).

1-5. نموذج الأوكسجين المنحل في حوض التهوية بعدد مراحل للتهوية يساوي 4 وعند تحديد طريقة

التحكم بالأوكسجين المنحل في حوض التهوية ($\text{DO}=2\text{mg/l}$):



الشكل رقم (7) - تركيز الأوكسجين المنحل في حوض التهوية بعدد مراحل للتهوية يساوي 4 وعند تحديد طريقة التحكم بالأوكسجين المنحل في حوض التهوية ($\text{DO}=2\text{mg/l}$)

		Start	17/07/2013 00:00	End	19/07/2013 00:00
		Stage	DO (mg/l)		
Mean	1	0.1			
	2	0.6			
	3	1.2			
	4	1.6			
Minimum	1	-0.1			
	2	0.0			
	3	0.0			
	4	0.0			
Maximum	1	1.5			
	2	7.3			
	3	7.8			
	4	7.9			

الجدول (9) تركيز الأوكسجين المنحل في حوض التهوية

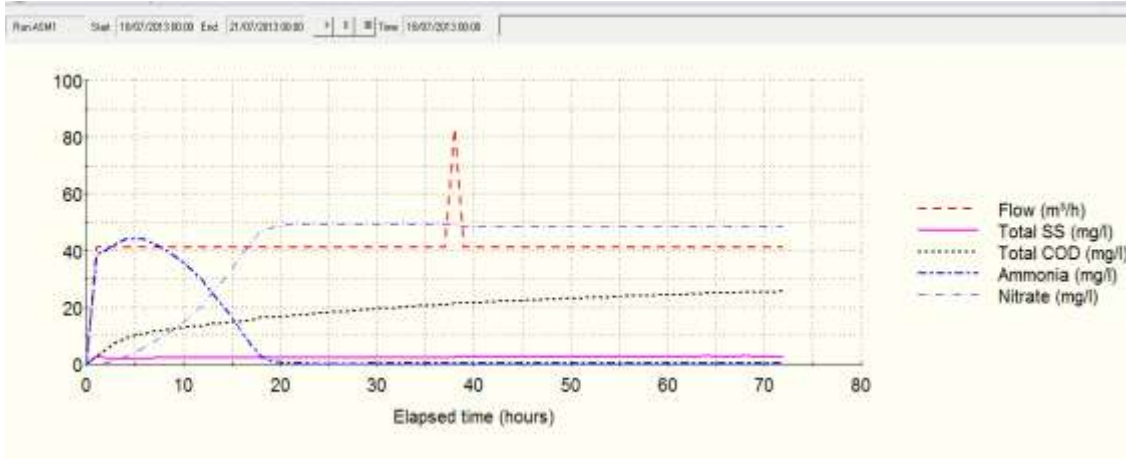
بعدد مراحل للتهوية يساوي 4 وعند تحديد طريقة التحكم بالأوكسجين المنحل في حوض التهوية ($\text{DO}=2\text{mg/l}$)

نلاحظ تناقص تركيز الأوكسجين المنحل في حوض التهوية مع مرور الزمن بدءاً من المرحلة الرابعة للتهوية وصولاً إلى المرحلة الأولى للتهوية.

2. بناء عمليات الحمأة المنشطة وفق ASM1 الخاص بحوض التهوية ونموذج Generic الخاص بحوض

الترسيب الثانوي مع زمن محاكاة 3 أيام:

بما أن النموذج ASM1 هو النموذج الأكثر استعمالاً في نمذجة عمليات الحمأة المنشطة ويعتمد على استخدام بيانات أجزاء COD فسئري مدى ملاءمة هذا النموذج للمحطة المدروسة من خلال المقارنة بين القيم التي تم الحصول عليها من البرنامج والقيم المقيسة، وإمكانية استخدامه لإجراء دراسات المحاكاة اللاحقة:



الشكل رقم (8) - مخطط يوضح النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حالة النماذج- ASM1- GENERIC

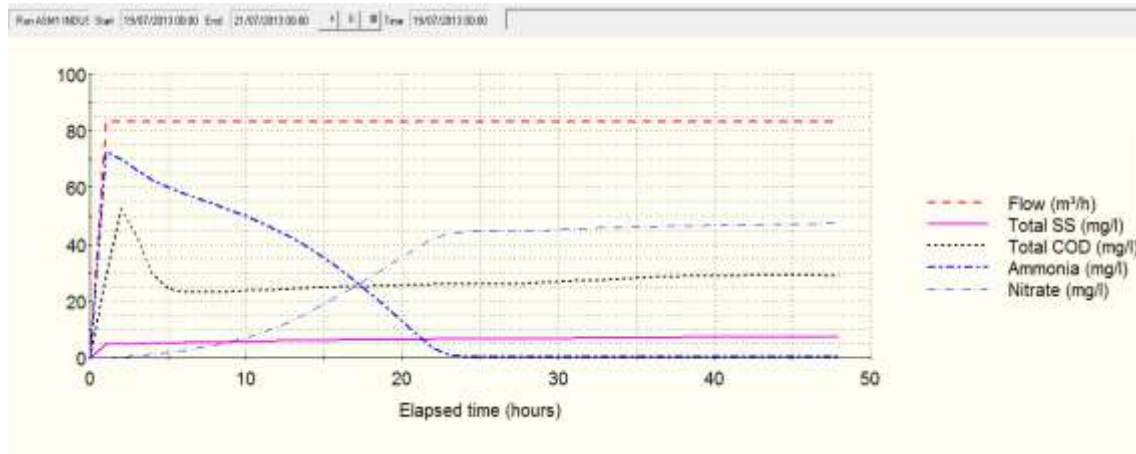
الجدول (10) ملخص النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حال اعتماد نماذج (ASM1-GENERIC)

	Flow (m ³ /h)	Total SS (mg/l)	Biodegradable COD	Total COD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)
Mean	41.22	2.38	8.00	19.20	7.80	40.38
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	83.21	3.03	9.11	25.86	44.42	49.20
Standard deviation	6.93	0.37	1.55	5.76	14.88	16.19
Total mass (kg)		7.274	24.421	58.660	23.476	123.519
Peak load (g/s)		0.062	0.200	0.497	0.509	1.131

الجدول (4) قيم البارامترات التي تم قياسها في المختبر

التدفق (m ³ /h)	(mg/l)TSS	(mg/l)BOD ₅	(mg/l)NH ₄	(mg/l)NO ₃	COD (mg/l)
42	13	6	3.4	37	13.9

نلاحظ التقارب الجيد بين قيم البارامترات التي تم الحصول عليها من البرنامج مع القيم المقيسة ما يعني ملاءمة هذه النماذج للمحطة المدروسة.



الشكل رقم (9) - مخطط يوضح النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حالة النماذج - ASM1- GENERIC وافترض صرف صناعي قادم إلى المحطة من مصنع لعصير العنب

	Flow (m³/h)	Total SS (mg/l)	Biodegradable COD	Total COD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)
Mean	81.51	6.30	14.07	26.85	19.27	30.92
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	83.21	7.45	50.30	52.58	72.82	47.41
Standard deviation	11.89	1.20	7.55	6.15	25.05	18.69
Total mass (kg)		25.698	57.351	109.484	78.584	126.071
Peak load (g/s)		0.172	1.163	1.215	1.683	1.096

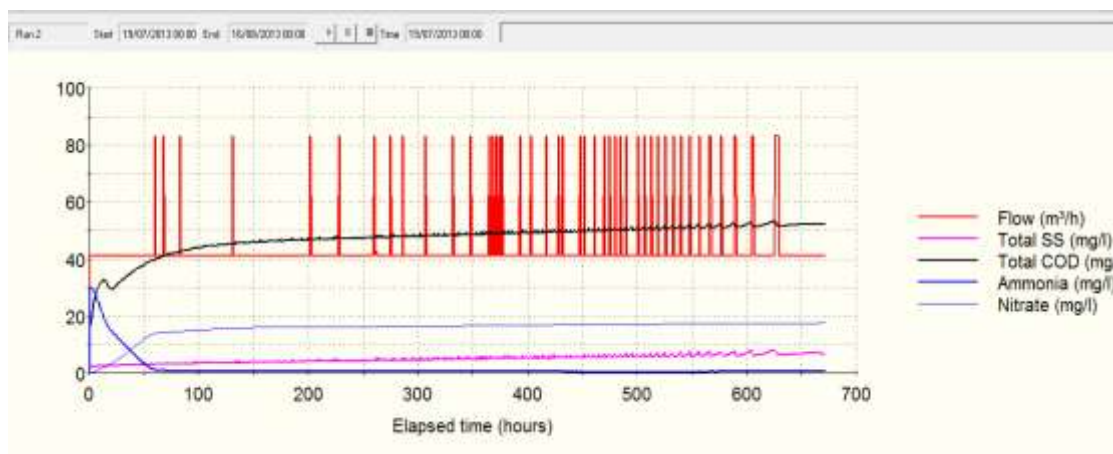
الجدول (11) ملخص النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حال اعتماد نماذج (ASM1-Generic) وافترض صرف صناعي قادم إلى المحطة من مصنع لعصير العنب

نلاحظ من الجدول (11) قيم البارامترات (SS=6mg/l و COD=25 mg/l) وهي قيم منطقية لمثل هذه الصناعة، ما يدل على فعالية أداء هذه المحطة في مثل هذه الظروف الافتراضية.

2-1. بافتراض وجود صرف صناعي قادم إلى المحطة من مصنع لعصير العنب:

سنفترض وجود مصنع لعصير العنب بالقرب من المحطة المدروسة وسيتم صرف المياه الصناعية الخاصة به إلى المحطة المدروسة : سنرى إمكانية استخدام النموذج السابق (ASM1) للتنبؤ بأداء هذه المحطة من خلال قيم البارامترات التي سنحصل عليها حيث استخدمت بيانات هذه الصناعة من المرجع [8]:

2-2. عند وصول حمولة تلوث عالية إلى المحطة المسببة للقيم العالية للـ COD واعتماد نماذج (ASM1-Generic) مع اختيار زمن المحاكاة يساوي عمر الحمأة (28 يوم) [9]:



الشكل رقم (10) - مخطط يوضح النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حالة النماذج- ASMI- GENERIC ووصول حمولة تلوث عالية إلى المحطة

الجدول (12) ملخص النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حال اعتماد نماذج(ASMI-GENERIC) ووصول حمولة تلوث عالية إلى المحطة

	Flow (m ³ /h)	Total SS (mg/l)	Total COD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)
Mean	44.27	4.98	47.19	1.56	15.67
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	83.21	8.03	53.19	29.98	17.58
Standard deviation	11.15	1.35	5.63	4.21	3.31
Total mass (kg)		150.280	1413.121	44.457	469.808
Peak load (g/s)		0.181	1.226	0.343	0.403

نلاحظ القيم العالية لـ COD في التدفق الخارج من المحطة ما يعني إما وجود خلل فني في أداء المحطة، أو وصول ملوثات معينة أثرت في أداء هذه المحطة وسببت هذه القيم العالية للبارامترات في التدفق الخارج. إذا قمنا بإضافة مرحلة ثانية للتهوية والترسيب الثانوي سنرى كيف ستكون فعالية المعالجة:

الجدول (13) ملخص النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حال وصول حمولة تلوث عالية إلى المحطة ووجود مرحلتين للتهوية والترسيب

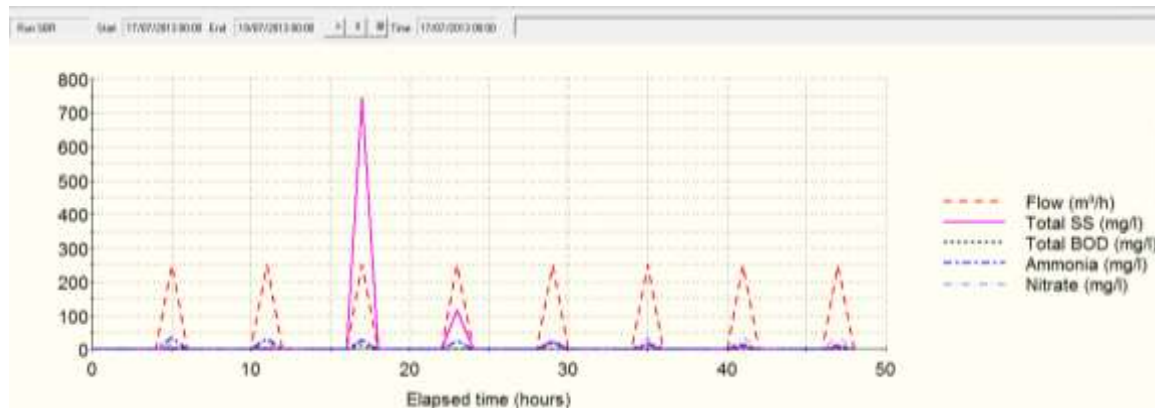
	Flow (m ³ /h)	Total SS (mg/l)	Total COD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)
Mean	42.69	1.71	12.30	18.31	3.04
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	82.74	2.85	23.33	27.54	9.63
Standard deviation	26.68	0.88	6.69	8.84	2.80
Total mass (kg)		4.500	29.281	45.735	6.656
Peak load (g/s)		0.066	0.454	0.633	0.140

نلاحظ أن إضافة مرحلة ثانية للتهوية والترسيب حسنت من فعالية المعالجة، إذ انخفضت قيمة الـ COD من 47mg/l إلى 12mg/l وهو أحد الحلول التي تساعد في حل مثل هذه المشكلة .

3. المقارنة بين استخدام نموذج SBR (Sequence Batch Reactor) ونموذج الحمأة

المنشطة :

إذا قمنا بالمقارنة بين نظام المعالجة بالحمأة المنشطة ونظام SBR بوصفه أحد الخيارات لعملية المعالجة، إذ يعتبر نظام SBR أحد الخيارات الاقتصادية والفعالة في عملية المعالجة وخصوصاً في التجمعات السكانية الصغيرة:



الشكل رقم (11) - مخطط يوضح النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حالة النماذج - ASM1- GENERIC واستخدام نظام SBR

الجدول (14) ملخص النتائج التي تم الحصول عليها في حال استخدام نظام SBR

	Flow (m³/h)	Total SS (mg/l)	Total BOD (mg/l)	Total COD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)
Mean	40.82	18.77	0.37	0.37	3.90	4.80
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	250.00	743.58	13.23	13.23	36.30	38.21
Standard deviation	93.36	107.04	1.91	1.91	9.41	11.28
Total mass (kg)		229.958	4.524	4.524	47.739	58.746
Peak load (g/s)		51.638	0.919	0.919	2.521	2.654

الجدول (11) ملخص النتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج في حال اعتماد نماذج (ASM1-GENERIC) وافترض صرف صناعي قادم إلى المحطة من مصنع لعصير العنب

الجدول (10) ملخص النتائج التي تم الحصول عليها في حال استخدام نظام الحمأة المنشطة

	Flow (m³/h)	Total SS (mg/l)	Biodegradable COD	Total COD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)
Mean	41.22	2.38	8.00	19.20	7.80	40.38
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	83.21	3.03	9.11	25.86	44.42	49.20
Standard deviation	6.93	0.37	1.55	5.76	14.88	16.19
Total mass (kg)		7.274	24.421	58.660	23.476	123.519
Peak load (g/s)		0.062	0.200	0.497	0.509	1.131

نلاحظ انخفاض قيمة BOD وكذلك الأمونيا والمواد الصلبة المعلقة إلى حدود مقبولة جداً بالمقارنة مع القيم التي حصلنا عليها في نظام الحمأة المنشطة (بالرغم من أنها مقبولة جداً في نظام الحمأة المنشطة في حالة دراستنا

ولكن هذا البديل الافتراضي فقط لإظهار منهجية المقارنة بين عدة بدائل لاختيار الأنسب) وكذلك مع القيم المقيسة، ما يعني أن نظام SBR هو أحد البدائل المهمة في عملية المعالجة.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- بالنسبة للنموذج الأول الخاص بالحماة المنشطة ASAL1:
- نلاحظ التقارب الجيد بين قيم البارامترات التي تم الحصول عليها من البرنامج مع القيم التجريبية ما يدل على إمكانية استخدام هذا النموذج لإجراء دراسات المحاكاة اللاحقة للتنبؤ بقيم هذه البارامترات مع مرور الزمن.
- من خلال مشاهدة نتائج المحاكاة ، يمكن ملاحظة أن تركيز الأمونيا قد انخفض من 40mg/l تقريباً إلى 3mg/l ما يعني حصول عملية النترجة، وقد انخفض تركيز BOD إلى 2mg/l تقريباً و SS إلى 7mg/l.
- إن زيادة عدد مراحل التهوية في حوض الحماة المنشطة أعطى تقريباً النتائج نفسها، ما يدل على أن تغيير نوع التدفق من مزج كامل إلى نوع plug flow لا يؤثر في فعالية المعالجة بشكل واضح .
- إن تحديد طريقة التحكم بالأوكسجين المنحل في حوض التهوية (DO=2mg/l) لم تؤثر في فعالية المعالجة بشكل واضح ، والفرق الوحيد بين الحالتين (تحديد طريقة التحكم بـ DO وعدم تحديد طريقة التحكم بـ DO) هو أنه في الأولى يبلغ التدفق مرحلة التدفق الأعظمي مرتين الأولى بعد 25 ساعة والثانية بعد 32 ساعة من بدء زمن المحاكاة، وهذا يعني أن المضختين في البئر الرطب تكونان في وضع التشغيل، أما في الحالة الثانية فيبلغ التدفق مرحلة التدفق الأعظمي مرة واحدة فقط بعد مرور 35 ساعة من بدء زمن المحاكاة أي تقريباً في نهاية مرحلة التهوية.
- بالنسبة للنموذج الثاني ASM1:
- ❖ ظهر التقارب الجيد بين القيم التي تم الحصول عليها من البرنامج مع القيم المقيسة، وقد اعتمد هذا النموذج في إجراء دراسات المحاكاة اللاحقة بسبب توفر المعلومات عن قياسات COD.
- ❖ في حال وصول مياه الصرف الصناعي الناتجة من صناعة عصر العنب فقد أظهر البرنامج استجابة جيدة للبارامترات (COD=25 mg/l و SS=6mg/l) وهي قيم منطقية لمثل هذه الصناعة، ما يدل على التحقق من فعالية أداء هذه المحطة حتى في ظل هذه الظروف الافتراضية.
- ❖ إن إجراءات المحاكاة في حال وصول حمولة التلوث العالية (COD=489 mg/l) بينت أن قيمة COD في التدفق الخارج ستصل إلى 50 mg/l والتفكير بمرحلة ثانية للتهوية والترسيب وبالأبعاد نفسها جعلت قيمة COD في التدفق الخارج تصل إلى 12mg/l وهذا الإجراء يساعد في اختبار أداء هذه المحطة في ظل هذا الترتيب، وربما إمكانية مقارنته مع حلول أخرى لاتخاذ أفضل القرارات.
- إن التفكير باستبدال عمليات الحماة المنشطة بوحدة SBR من شأنه خفض كلفة المعالجة وكمية الحماة الناتجة بالإضافة إلى فعالية إزالة الملوثات، فمثلاً لوحظ انخفاض قيمة BOD وكذلك الأمونيا والمواد الصلبة المعلقة إلى حدود مقبولة جداً، ما يعني توفر المنهجية الملائمة لعملية النمذجة والمحاكاة الديناميكية وتطبيقها مستقبلاً على محطات معالجة أخرى تم إنشاؤها أو ما زالت قيد الإنشاء أو الدراسة.

التوصيات:

- ضرورة توفر عملية المراقبة والتشغيل المبرمجة في أغلب محطات معالجة مياه الصرف الصحي الحالية في سورية لتقدير فعالية هذه المحطات وأدائها وتغيير كفاءتها مع الزمن.
- السعي في تصميم البرامج المحلية الملائمة وصناعتها لتشغيل المحطات الحالية والمستقبلية ومراقبتها وتقدير أدائها.
- السعي إلى توفر هذه البرمجيات في الجامعات لتمكين الباحثين الطلاب والمهتمين من استخدام هذه البرامج وتطبيق دراساتهم على أرض الواقع.
- ضرورة القيام بالدراسة الكاملة والشاملة لجميع نماذج محطات المعالجة الموجودة، أو النماذج قيد الدراسة، للتمكن من التعرف إلى أداء المخطط المفترض قبل البدء بالاستثمار، وإنفاق الأموال أو الموارد.

المراجع:

- [1]. Hulsbeek, J.J.W; Kruit, J; Roeleveld, P.J; Van Loosdrecht, M.C.M." *A practical protocol for dynamic modelling of activated sludge systems.*" Water Sci. Technol. 45 (6), (2002),127–136.
- [2]. Henze M; Gujer, W; Mino, T; Vanloosdrecht,M." *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3.*" IWA Scientific and Technical Reports. No. 9. IWA London, (2000),121.
- [3]. Zawilski , M; Brzezińska A." *Variability of COD and TKN Fractions of Combined Wastewater*". J. of Environ. Stud. Vol. 18, No. 3, (2009), 501-505.
- [4]. Roeleveld, P. J; Vanloosdrecht M.C.M." *Experience with guidelines for wastewater characterization in The Netherlands.*" Wat. Sci. Tech. 45(6), (2002),77.
- [5]. Szetela, R.W." *Dynamic model of activated sludge wastewater treatment plant.*" Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej. 64, Wrocław,(1990), 32.
- [6]. Mamais, D; Jenkins, D; Pitt, P. " *A rapid physical-chemical method for the determination of readily biodegradable soluble COD in municipal wastewater.*" Wat. Sci. Tech. 27,(1993),195.
- [7]. Tutorial of STOAT (4.3).<http://www.wrcplc.co.uk/software/>
- [8]. " *Optimisation d'une installation de traitement par boues activées lors de surcharges de pollution en période de vendanges.*"(2003),1-70.
- [9]. الشركة العامة للصرف الصحي في طرطوس، محطة معالجة خربة المعزة، الأرشيف، 2012.
- [10]. Gernaey, V. K; Van Loosdrecht,M. C.M; Henze,M; Lind, M; Jørgensen, B.S. " *Activated sludge wastewater treatment plant modelling and simulation: state of the art.*" Environmental Modelling & Software ,19 ,(2004) ,763–783.