مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية والكهربائية والمعلوماتية

مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 43 . العدد 22

1442 هـ - 2021 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

أ. د. ناصر سعد الدين	**رئيس هيئة التحرير**
أ. د. درغام سلوم	**رئيس التحرير**

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

د. محمد هلال	**عضو هيئة التحرير**
د. فهد شريباتي	**عضو هيئة التحرير**
د. معن سلامة	**عضو هيئة التحرير**
د. جمال العلي	**عضو هيئة التحرير**
د. عباد كاسوحة	**عضو هيئة التحرير**
د. محمود عامر	**عضو هيئة التحرير**
د. أحمد الحسن	**عضو هيئة التحرير**
د. سونيا عطية	**عضو هيئة التحرير**
د. ريم ديب	**عضو هيئة التحرير**
د. حسن مشرقي	**عضو هيئة التحرير**
د. هيثم حسن	**عضو هيئة التحرير**
د. نزار عبشي	**عضو هيئة التحرير**

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

. موقع الإنترنت : www.albaath-univ.edu.sy

. البريد الالكتروني : magazine@ albaath-univ.edu.sy

ISSN: 1022-467X

قيمة العدد الواحد : 100 ل.س داخل القطر العربي السوري

25 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

قيمة الاشتراك السنوي : 1000 ل.س للعموم

500 ل.س لأعضاء الهيئة التدريسية والطلاب

250 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

توجه الطلبات الخاصة بالاشتراك في المجلة إلى العنوان المبين أعلاه.

يرسل المبلغ المطلوب من خارج القطر بالدولارات الأمريكية بموجب شيكات باسم جامعة البعث.

تضاف نسبة 50% إذا كان الاشتراك أكثر من نسخة.

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
- طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
- **اذا كان الباحث طالب دراسات عليا:**

يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقته على النشر في المجلة.

- **اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:**

يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.

- **اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :**

يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.

- **اذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :**

يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.

- **يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):**

عنوان البحث . . ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1- مقدمة

2- هدف البحث

3- مواد وطرق البحث

4- النتائج ومناقشتها .

5- الاستنتاجات والتوصيات .

6- المراجع.

- **يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب – الاقتصاد– التربية – الحقوق – السياحة – التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):**
- عنوان البحث . . ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1. مقدمة.
2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
3. أهداف البحث و أسئلته.
4. فرضيات البحث و حدوده.
5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
7. منهج البحث و إجراءاته.
8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
9. نتائج البحث.
10. مقترحات البحث إن وجدت.
11. قائمة المصادر والمراجع.

7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:

أ- قياس الورق 17.5×25 B5.

ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 – يمين 2.5- يسار 2.5 سم

ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8

ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20

. كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.

ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.

8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.

9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.

10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (–) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة.

وفيما يلي مثال على ذلك:

–MAVRODEANUS, R1986– **Flame Spectroscopy**. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.

مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases **Clinical Psychiatry News** , Vol. 4. 20 – 60

ج. إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و التقيد

بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. **دفع رسم نشر (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.**
2. **دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .**
3. **دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .**
4. **دفع مبلغ (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.**

المحتوى

اسم البحث	اسم الباحث	الصفحة
تحسين نظام التهوية في محطات معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام نظام التحكم المتعاقب بالأمونيوم	أ.د. محسن داود د. فادي متوج م. رشا عبدالله	46-11
دراسة تحليلية لأدوات إدارة العمليات التجارية	م. رؤى الراعي أليدا اسبر	78- 47
دراسة قابلية لحام خليطة الألمنيوم (*AL 5056*) غير القابلة للمعالجة الحرارية باستخدام اختبار هولد كروفت	م. حسام برهوم	152-79

تحسين نظام التهوية في محطات معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام نظام التحكم المتعاقب بالأمونيوم

أ.د. محسن داود *

د. فادي متوج **

م. رشا عبدالله ***

الملخص

تخضع مياه الصرف الصحي للمعالجة وذلك للتخلص من حمل الملوثات الموجودة فيها وفق عمليات وطرائق مدروسة ومختلفة ، النوع الأكثر شيوعاً للمعالجة هي المعالجة بالحمأة المنشطة .

التهوية أمر بالغ الأهمية لكفاءة عملية معالجة الحمأة المنشطة. حيث تضمن كمية الهواء المناسبة للكائنات الدقيقة القدرة اللازمة لتحليل الملوثات في مياه الصرف الصحي بكفاءة عالية وبالتالي التخلص منها. في محطة معالجة نموذجية ، تمثل التهوية حوالي 60% من إجمالي تكاليف الطاقة للمحطة. ومن ثم ، فإن الفشل في تحسين التهوية لا يضر فقط بأداء المصنع ولكنه يؤدي أيضًا إلى تكبد تكاليف غير ضرورية .

توضح هذه الدراسة كيف يمكن تحقيق وفورات في تكاليف التشغيل وفي زمن المعالجة عن طريق الاستخدام الأكثر ذكاءً للتهوية في عملية الحمأة المنشطة النموذجية ، حيث صممت ثلاثة أنظمة تحكم بنظام التهوية (التحكم بالأوكسجين المنحل – التحكم المتعاقب بالأوكسجين المنحل – التحكم المتعاقب بالأمونيوم) وتمت محاكاتها في حالات الطقس (معتدل – جاف – ماطر) باستخدام برنامج Matlab\Simulink .

تمت مقارنة نتائج المحاكاة بالنسبة لنظام التحكم بالأوكسجين المنحل ، وأظهرت النتائج

كفاءة نظام التحكم المتعاقب بالأمونيوم من حيث تخفيض زمن المعالجة و التوفير في استهلاك الطاقة الكهربائية.

الكلمات المفتاحية : محطات معالجة مياه الصرف الصحي – التحكم بالأوكسجين المنحل – التحكم المتعاقب بالأوكسجين المنحل – التحكم المتعاقب بالأمونيوم .

*** أستاذ في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية _ جامعة تشرين**

**** مدرس في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية _ جامعة تشرين**

***** طالبة ماجستير في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية _ جامعة تشرين**

Improvement of Aeration System in Wastewater Treatment Plants using an Ammounium Cascade Control System

*Dr. Mohsen Daod

**Dr. Fadi Motawej

***Eng. Rasha Abdullah

Abstract

The wastewater is subjected to treatment in order to get rid of the pollutants load in it according to different studied processes and methods. The most common type of treatment is treatment with activated sludge.

Aeration is critical to the efficiency of any activated sludge treatment process. The right amount of air at the right time and to the right organisms ensures proper pollutant degradation. In a typical treatment plant, aeration accounts for about 60% of the total power costs of the plant. Hence, failing to optimise aeration is not only detrimental to plant performance but also incurs unnecessary costs.

This study demonstrates how savings in operating costs and processing time can be achieved through the smarter use of aeration in a typical activated sludge process. Three aeration

system control systems (dissolved oxygen control – dissolved oxygen cascade control – ammonium cascade control) are designed and simulated in cases: Weather (mild – dry – rain) using the Matlab \ Simulink program. The simulation results were compared for the dissolved oxygen control system, and the results showed the efficiency of the ammonium cascade control system in terms of reducing the processing time and saving electrical energy.

Key Words: Wastewater Treatment Plants – DO Control – DO Cascade Control – Ammonium Cascade Control.

1.الدراسات المرجعية:

1. قدم Ho وأخرون عام 2013 دراسة في نيوزيلندا بعنوان " تحسين كفاءة التهوية". حيث تم استخدام بيئة محاكاة desktop Biowin لمقارنة توفير طاقة التهوية بين عدة أنظمة تحكم هي (التحكم اليدوي بالتهوية – تحكم الأوكسجين المنحل– التحكم المتعاقب بالأمونيا). أظهرت النتائج أن التحكم المتعاقب بالأمونيا يحقق توفير بالطاقة بنسبة 20% بينما النظامين الآخرين لم يحققا أي توفير بالطاقة.

2. قدمت Amand وآخرون عام 2014 دراسة في السويد بعنوان "الدروس المستفادة من تقييم تحكم التغذية العكسية بالأمونيوم على نطاق واسع في ثلاث محطات كبيرة لمعالجة مياه الصرف الصحي". حيث تم اختيار وحدة تحكم التغذية العكسية بالأمونيوم كاستراتيجية تحكم، وأظهرت النتائج أهمية تنفيذ تحكم التغذية العكسية بالامونيوم وتوفير في الطاقة بتراوح بين 7–19 %.

3. قدم Uprety وآخرون عام 2015 دراسة في الولايات المتحدة الأمريكية بعنوان " تنفيذ التحكم في التهوية القائم على الأمونيا (ABAC) على نطاق واسع في محطات معالجة مياه الصرف الصحي".حيث أظهرت النتائج توفير في استهلاك الطاقة بنسبة 10% شهرياً، وتخفيض كبير في الكربون الإضافي اللازم لنزع النتروجين وتقليل الحاجة إلى زيادة حجم المفاعل.

4. قدم Malovanyy وآخرون عام 2016 دراسة في أوكرانيا بعنوان " التحليل المقارن لفعالية تنظيم التهوية اعتماداً على الخصائص الكمية لمياه الصرف الصحي". حيث أظهر تحليل البيانات لخزانات التهوية في محطة (Lviv) حاجة هذه المحطة للتحسين، وشمل التحسين استخدام نظام تحكم بالتهوية يعتمد على تركيز أيونات الأمونيوم بدلاً من تركيز الأوكسجين المنحل. أظهرت النتائج أن التحكم المعتمد على الأمونيوم متفوق على استراتيجية التحكم مع تركيز مستقر للأوكسجين المنحل.

5. قدم Sun وآخرون عام 2017 دراسة في الصين بعنوان " تقليل استهلاك طاقة عملية التهوية في MBRs". حيث اعتمدت الدارسة على معايرة نموذج ASM بشكل مناسب مع MBRs، ثم استخدام استراتيجية تحكم التغذية العكسية القائم على الأمونيا من أجل التهوية. أظهرت النتائج أنه يمكن تحقيق انخفاض في معدل التهوية بنسبة 20% من خلال تنفيذ التحكم في التهوية بناءً على تركيز الأمونيا بدلاً من التحكم في العملية بناءً على الأوكسجين المنحل.

6. قدم Rosenthal وآخرون عام 2020 دراسة في كندا بعنوان " تقييم استراتيجيات التحكم في التهوية لأنظمة النترجة الجزئية القائمة على الأغشية الحيوية /أناموكس". حيث تمت مقارنة إزالة النتروجين في أنظمة أناموكس بين ثلاث أنظمة تحكم هي (ضبط ثابت للاوكسجين المنحل– تهوية متقطعة – التحكم في التهوية القائم على الأمونيا (ABAC)). أظهرت النتائج أن التحكم الثابت في الأوكسجين المنحل لا يمكن أن يفي بالحدود المسموح بها للأمونيوم، بينما تظهر التهوية المتقطعة تحسناً ولكنها تتطلب تحسين دورة التهوية، في حين

يظهر (ABAC) أفضل أداء معالجة مع مزايا التشغيل المستمر وتوفير في الطاقة بنسبة 20% مقارنةً بالتهوية المتقطعة.

7. قدم Medinilla وآخرون عام 2020 دراسة في الولايات المتحدة الأمريكية بعنوان " تأثير التحكم في التهوية القائم على الأمونيا (ABAC) على استهلاك الطاقة ". حيث ركزت الدراسة على أهمية استخدام أنظمة التحكم (ABAC) وأهميتها في تخفيض تكاليف استهلاك الطاقة. أظهرت النتائج توفير في استهلاك الطاقة بنسبة 9%، مع المحافظة على جودة المياه الناتجة عن عملية المعالجة.

2. مقدمة:

مياه الصرف الصحي هي المياه التي يتم إنتاجها بوساطة الانسان والصناعات، وتختلط فيها مواد مختلفة منها ما هو صلب أو ذائب ومعلق والغروي سواء كانت هذه المواد عضوية مثل الدهون والشحوم والزيوت أو المواد الغير عضوية مثل الرمل والحصى وأملاح المعادن.

لهذا، فإن مياه الصرف الصحي تتم معالجتها في محطات تنقية مياه الصرف الصحي حتى لا تكون خطراً على الصحة العامة وسبباً في انتشار الأمراض [1] .

تخضع مياه المجاري بشكل عام إلى مراحل المعالجة الرئيسية الآتية:

1. مرحلة المعالجة الابتدائية.
2. مرحلة المعالجة الأولية.

3. مرحلة المعالجة الثانوية (البيولوجية).
4. مرحلة المعالجة الثالثية.
5. معالجة الحمأة.
6. تعقيم المياه.

1.2. المعالجة الابتدائية:

تهدف هذه المعالجة بشكل عام إلى إزالة المواد الصلبة اللاعضوية كبيرة الحجم من مياه المجاري،لحماية التجهيزات الميكانيكية والمضخات المختلفة الموجودة في المراحل اللاحقة من المعالجة.[2]

2.2. المعالجة الأولية:

تهدف هذه المعالجة إلى تخفيض قيم الملوثات الموجودة في مياه المجاري، وبخاصة التخلص من كامل العوالق الصلبة السهلة الترسيب، وبالتالي تخفيض تركيز المواد الصلبة المعلقة والتلوث العضوي.[2]

3.2. المعالجة الثانوية (البيولوجية):

تصمم على أنها عملية بيولوجية تزيل النفايات المنحلة القابلة للتحلل البيولوجي، وهي تتألف من جزأين :

أ- تحلل النفايات المنحلة بتقديمها للبكتريا على شكل غذاء، وبذلك تتحول النفايات العضوية من الشكل المنحل إلى مواد عضوية ميكروبية، وتجري هذه العملية ضمن المفاعل الحيوي .

ب- إزالة المواد الصلبة بالترسيب في أحواض الترسيب الثانوية، بحيث يمكن إعادتها إلى بداية حوض التهوية من أجل إضافة البكتريا إلى مياه الصرف القادمة من منطقة المعالجة الابتدائية، أو تتم إزالتها إلى وحدات معالجة الحمأة.

ولحدوث معالجة ثانوية يلزم عوامل عدة هي:

1. الأحياء الدقيقة المسؤولة عن المعالجة .
2. مصدر لإمداد الأوكسجين اللازم لتنفس البكتريا (نظام التهوية).
3. مياه الصرف الحاوية على المواد العضوية والتي تعتبر غذاء للبكتريا. [2]

4.2. المعالجة الثالثية:

تتم فيها إزالة الفوسفور عن طريق الترسيب . هناك عدة طرق مستخدمة حيث يمكن استخدام مواد كيميائية مختلفة للترسيب واضافتها في مواقع مختلفة في المحطة.[3]

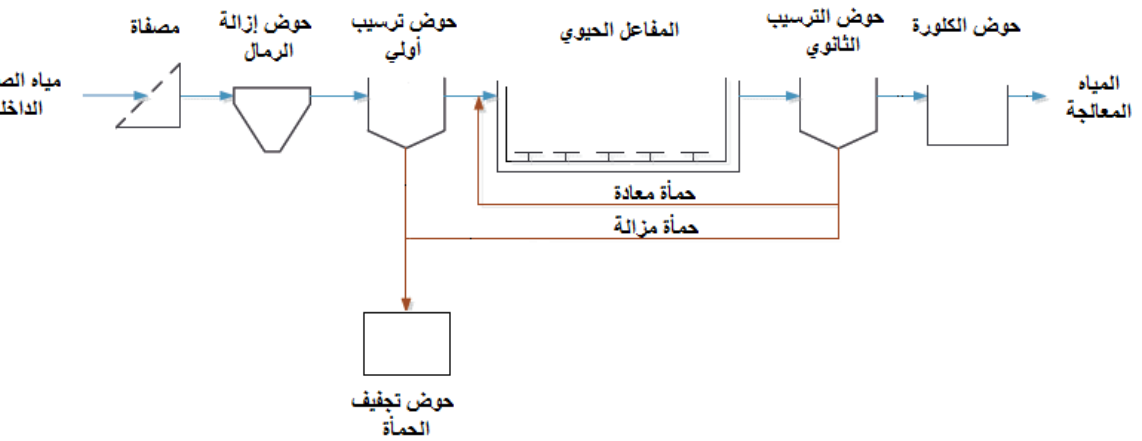
5.2. معالجة الحمأة:

الحمأة الناتجة من معالجة مياه الصرف تحتوي على بكتريا ممرضة، لذلك تتم معالجة الحمأة عن طريق تجفيفها بواسطة إما المكبس الكيسي أو ساحات تجفيف الحمأة.[2]

6.2. تعقيم المياه:

هناك طرق مختلفة لتعقيم المياه الناتجة عن المعالجة (غاز الكلور – الأوزون – الأشعة فوق البنفسجية)، والأكثر شيوعاً هو تعقيم المياه بالكلور ويتم ذلك ضمن حوض الكلورة.[2]

يوضح الشكل (1) مراحل معالجة مياه الصرف الصحي.



الشكل (1): مراحل معالجة مياه الصرف الصحي.[6]

7.2. المعالجة البيولوجية للنتروجين:

النوع الأكثر شيوعاً للمعالجة البيولوجية هو المعالجة بالحمأة المنشطة، وهي عبارة عن خليط من الكائنات الحية العالقة في مياه الصرف الصحي.

لإزالة النتروجين بالكامل يتطلب ذلك عمليتان :

النترجة (nitrification) – إزالة النترات (denitrification) .

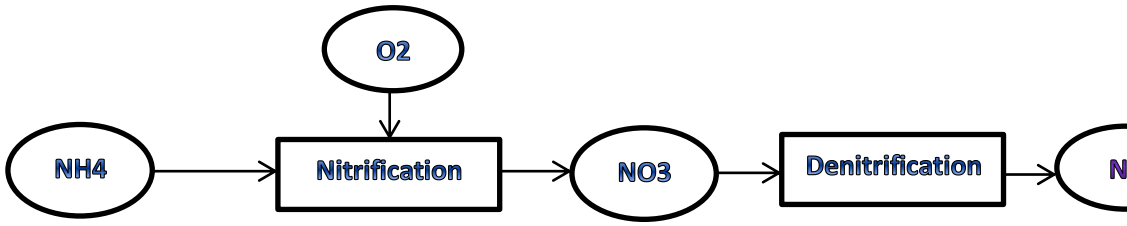
1.7.2. النترجة:

هي عملية يتأكسد فيها الأمونيوم إلى نترات عن طريق مجموعتين مختلفتين من البكتريا [3]. المجموعة الأولى هي بكتريا (Nitrosomonas) حيث تؤكسد الأمونيوم إلى نتريت، والمجموعة الثانية هي بكتريا (Nitrobacter) تحول النتريت إلى نترات.[4]

2.7.2. إزالة النترات:

هي عملية يتم فيها تخفيض النترات لتشكيل غاز النتروجين الذي يترك الماء عبر سطحه إلى الهواء، تتم هذه العملية بواسطة بكتريا (denitrifying).[4]

يوضح الشكل (2) عملية إزالة النتروجين المبسطة.



الشكل (2) : عملية إزالة النتروجين المبسطة.[5]

إن معدلات نمو بكتيريا النترجة تعتمد على تركيز الأوكسجين المنحل،حيث وجد أنه عندما يكون $(DO < 2\ mg/L)$ تصبح عملية النترجة أقل فعالية، وإذا كان $(DO \geq 3\ mg/L)$ فإن خواص الحمأة المترسبة تكون غير جيدة، لذلك وجد أن تركيز الأوكسجين المنحل المناسب لعملية المعالجة هو $(DO = 2\ mg/L)$.[6]

من أجل إزالة الأمونيوم فإن مطلب الأوكسجين لأكسدة الأمونيوم هو (4.57)، وأظهرت الدراسات أنه من أجل $(NH4 \leq 1.5)$ فإن قيمة الأوكسجين الكافية لعملية المعالجة هي $(DO = 0.5\ mg/L)$، ومن أجل $(NH4 > 1.5)$ فإن قيمة الأوكسجين الكافية لعملية المعالجة هي $(DO = 2\ mg/L)$. [8].

3. هدف البحث:

تطبيق نظام التحكم في التهوية القائم على الأمونيوم لتحسين التهوية وتخفيض استهلاك الطاقة وزمن المعالجة.

4. شرح الأنظمة المدروسة:

عادةً ما يكون نظام التهوية في محطة معالجة مياه الصرف هو المستهلك الأكبر للطاقة في المحطة. الضواغظ أو النافخات (Blowers) تتطلب أكبر قدر من الطاقة الكهربائية في المحطة وبالتالي أي تخفيض في التهوية سوف يقلل من تكاليف التشغيل بشكل كبير. لهذا السبب يتم استثمار قدر كبير من الأبحاث في التحكم بنظام التهوية أكثر من تطوير وحدات التحكم الأخرى أو تحسينها [5] .

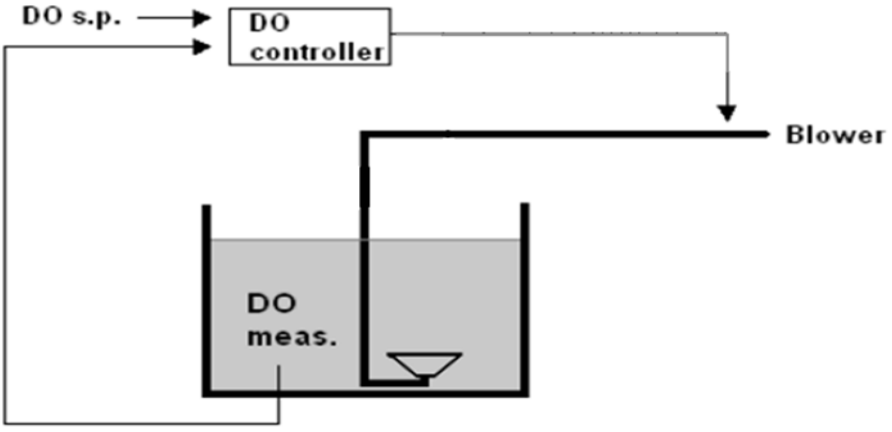
هناك عدة أنظمة للتحكم بنظام التهوية في المحطة وهي:

1. التحكم بالأوكسجين المنحل (DO control).
2. التحكم المتعاقب بالأوكسجين المنحل (*DO cascade control*).
3. التحكم المتعاقب بالأمونيوم (Ammonium cascade control).

1.4. التحكم بالأوكسجين المنحل (DO control):

الاستراتيجية الأساسية لنظام التحكم بالأوكسجين المنحل هي استخدام حساس الأوكسجين المنحل، بحيث تتم مقارنة قيمة تركيز الأوكسجين في المفاعل الحيوي مع قيمة $(setpoint)$ والتي يتم تحديدها من قبل موظفو المحطة. يتم تشغيل التهوية إذا كان تركيز الأوكسجين المنحل في المفاعل الحيوي أصغر من قيمة $(setpoint)$،

وإطفاءه عند يصبح تركيز الأوكسجين المنحل في المفاعل الحيوي أكبر أو يساوي قيمة $(setpoint)$. كما يظهر بالشكل (3).[3]

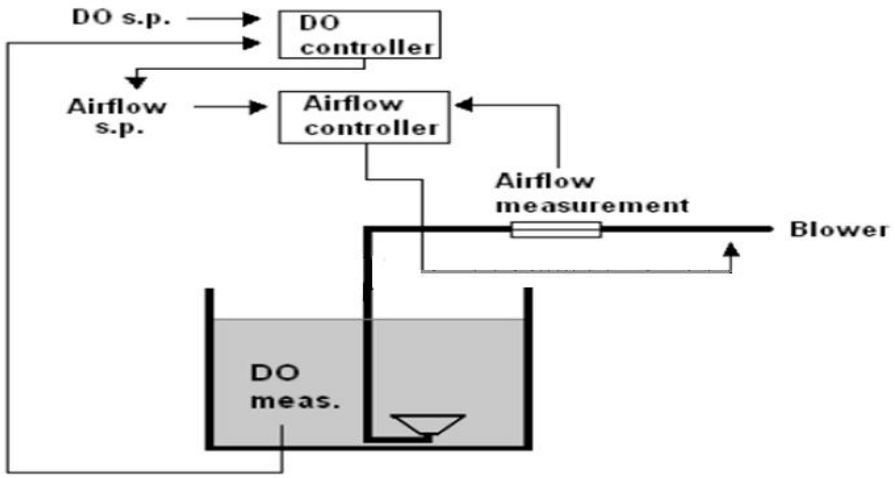


الشكل (3) : تحكم الأوكسجين المنحل.[3]

2.4. التحكم المتعاقب بالأوكسجين المنحل (*DO cascade control*):

هو عبارة عن عدة متحكمات متصلة مع بعضها تسلسلياً، حيث حلقة التحكم الداخلية تتحكم بتدفق الهواء، وحلقة التحكم الخارجية تتحكم بتركيز الأوكسجين المنحل. لتحقيق ذلك، يتطلب قياس الأوكسجين المنحل و تدفق الهواء. حلقة التحكم الخارجية أي حلقة التحكم بالأوكسجين المنحل تأخذ قيم $(setpoint)$ من موظفي المحطة. بالاعتماد على قيمة $(setpoint)$ والقيمة الفعلية للأوكسجين المنحل وبارامترات(K, T_i) يحسب المتحكم إشارة التحكم والتي هي قيمة $(setpoint)$ لتدفق الهواء.

حلقة تدفق الهواء أي الحلقة الداخلية تقارن قيمة $(setpoint)$ مع قيمة تدفق الهواء الحالية وبعدها تعطي إشارة التحكم للمشغل ومنه للمنفاخ. كما يظهر بالشكل (4).[3]



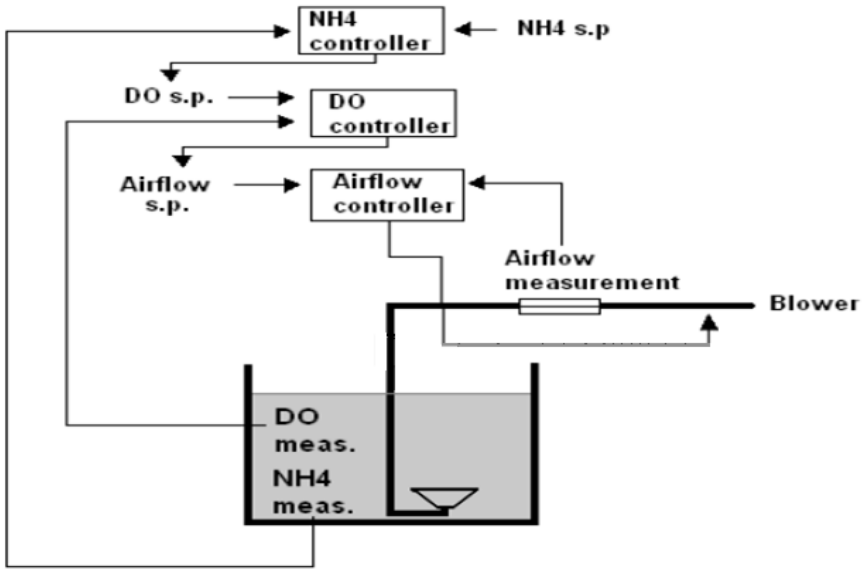
الشكل (4) : التحكم المتعاقب بالأوكسجين المنحل. [3]

3.4. التحكم المتعاقب بالأمونيوم (Ammonium cascade control):

التحكم المتعاقب بالأمونيوم هو خطوة أبعد من التحكم، حيث تضاف حلقة تحكم إضافية حول التحكم المتعاقب بالأوكسجين المنحل. ويتطلب متحكم PI إضافي وأيضاً مقياس أمونيوم.

يتم تحديد قيمة $(setpoint)$ للأمونيوم من قبل موظفي المحطة، والتي سوف يستخدمها متحكم الأمونيوم لحساب قيمة $(setpoint)$ للأوكسجين المنحل والتي سوف تستخدم كما ذكر في الفقرة السابقة .

تحكم الأمونيوم مفيد جداً لسبب أن طاقة النترجة تتغير على مدار السنة (كنتيجة لتغير الحمل، درجة الحرارة ...الخ)، وبالتالي لكي تكون نتائج المعالجة المطلوبة جيدة على مدار السنة، نحتاج لأن تتغير قيمة $(setpoint)$ للأوكسجين المنحل بشكل مستمر. السمة السلبية لتحكم الأمونيوم هي أن حساس الأمونيوم مكلف جداً. [3]



الشكل (5): تحكم المتعاقب بالأمونيوم.[3]

5. النموذج الرياضي:

الفرضيات :

1. اعتماد زمن المكوث (24 ساعة).
2. اعتماد التدفق الداخل على المحطة هو التدفق الوسطي (1039.39 $[m^3/d]$.

1.5. نمذجة المفاعل الحيوي:

النموذج الأكثر شيوعاً المستخدم لوصف عمليات الحمأة المنشطة ضمن محطات معالجة مياه الصرف الصحي هو النموذج ASM1، والذي تم تطويره من قبل جمعية المياه العالمية IWA عام 1983.

يتألف نموذج ASM1 من المعادلات الآتية: [4]

$$R_{S_s} = -\frac{1}{Y_H}\hat{\mu}_H\left(\frac{S_s}{K_S+S_s}\right)\left(\frac{S_O}{K_{O,H}+S_O}\right)X_{B,H} - \frac{1}{Y_H}\hat{\mu}_H\left(\frac{S_s}{K_s+S_s}\right)\left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H}+S_O}\right)\left(\frac{S_{NO}}{K_{NO}+S_{NO}}\right)n_g X_{B,H} + k_h\frac{\frac{X_S}{X_{B,H}}}{K_X+\frac{X_S}{X_{B,H}}}\left(\left(\frac{S_O}{K_{O,H}+S_O}\right) + n_h\left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H}+S_O}\right)\left(\frac{S_{NO}}{K_{NO}+S_{NO}}\right)\right)X_{B,H} \quad (1)$$

$$R_{X_I} = f_P\left(b_H X_{B,H} + b_A X_{B,A}\right) \quad (2)$$

$$R_{X_S} = (1-f_P)\left(b_H X_{B,H} + b_A X_{B,A}\right) - k_h\frac{\frac{X_S}{X_{B,H}}}{K_X+\frac{X_S}{X_{B,H}}}\left(\left(\frac{S_O}{K_{O,H}+S_O}\right) + n_h\left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H}+S_O}\right)\left(\frac{S_{NO}}{K_{NO}+S_{NO}}\right)\right)X_{B,H} \quad (3)$$

$$R_{X_{B,H}} = \hat{\mu}_H\left(\frac{S_S}{K_S+S_S}\right)\left(\frac{S_O}{K_{O,H}+S_O}\right)X_{B,H} + \hat{\mu}_H\left(\frac{S_S}{K_S+S_S}\right)\left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H}+S_O}\right)\left(\frac{S_{NO}}{K_{NO}+S_{NO}}\right)n_g X_{B,H} - b_H X_{B,H} \quad (4)$$

$$R_{X_{B,A}} = \hat{\mu}_A \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH}+S_{NH}}\right)\left(\frac{S_O}{K_{O,A}+S_O}\right)X_{B,A} - b_A X_{B,A} \quad (5)$$

$$R_{S_O} = -\frac{1-Y_H}{Y_H}\hat{\mu}_H \left(\frac{S_S}{K_S+S_S}\right)\left(\frac{S_O}{K_{O,H}+S_O}\right)X_{B,H} - \frac{4.57-Y_A}{Y_A}\hat{\mu}_A \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH}+S_{NH}}\right)\left(\frac{S_O}{K_{O,A}+S_O}\right)X_{B,A} + K_{La}(S_{O,sat}-S_o) \quad (6)$$

$$R_{S_{NO}} = -\frac{1-Y_H}{2.86Y_H}\hat{\mu}_H \left(\frac{S_S}{K_S+S_S}\right)\left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H}+S_O}\right)\left(\frac{S_{NO}}{K_{NO}+S_{NO}}\right)n_g X_{B,H} + \frac{1}{Y_A}\hat{\mu}_A \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH}+S_{NH}}\right)\left(\frac{S_O}{K_{O,A}+S_O}\right)X_{B,A} \quad (7)$$

$$R_{S_{NH}} = -i_{XB}\hat{\mu}_H \left(\frac{S_S}{K_S+S_S}\right)\left(\frac{S_O}{K_{O,H}+S_O}\right)X_{B,H} - i_{XB}\hat{\mu}_H \left(\frac{S_S}{K_S+S_S}\right)\left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H}+S_O}\right)\left(\frac{S_{NO}}{K_{NO}+S_{NO}}\right)n_g X_{B,H} - \left(i_{XB}+\frac{1}{Y_A}\right)\hat{\mu}_A \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH}+S_{NH}}\right)\left(\frac{S_O}{K_{O,A}+S_O}\right)X_{B,A} + k_a S_{ND} X_{B,H} \quad (8)$$

$$R_{S_{ND}} = -k_a S_{ND} X_{B,H} + \frac{X_{ND}}{X_S} k_h \frac{\frac{X_S}{X_{B,H}}}{K_X + \frac{X_S}{X_{B,H}}}\left(\left(\frac{S_O}{K_{O,H}+S_O}\right) + n_h \left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H}+S_O}\right)\left(\frac{S_{NO}}{K_{NO}+S_{NO}}\right)\right)X_{B,H} \quad (9)$$

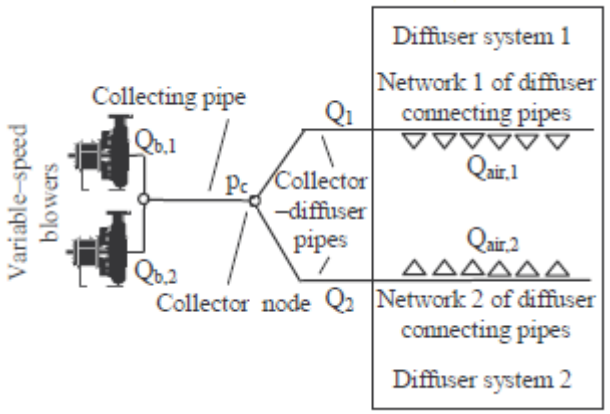
$$R_{X_{ND}} = (i_{XB} - f_P i_{XP})(b_H X_{B,H} + b_A X_{B,A}) - \frac{X_{ND}}{X_S} k_h \frac{\frac{X_S}{X_{B,H}}}{K_X + \frac{X_S}{X_{B,H}}} \left(\left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) + n_h \left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right) X_{B,H} \quad (10)$$

2.5. نمذجة نظام التهوية:

يتألف نظام التهوية من:

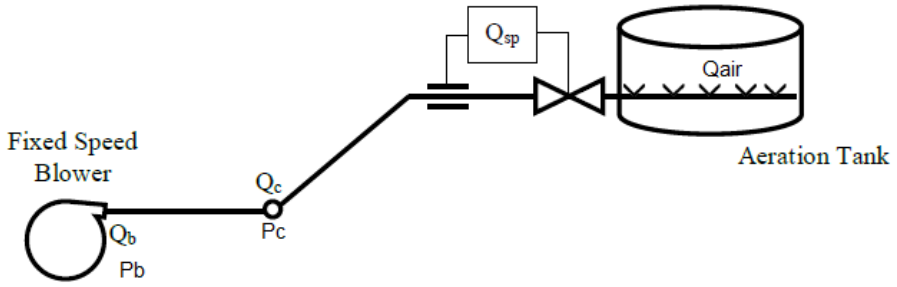
Blowers – أنبوب الهواء – الأنابيب الموزعة للنواشر – نظام النواشر.

تقوم *Blowers* بضخ الهواء عبر أنبوب الهواء، ومنه عبر الأنابيب الموزعة للنواشر إلى نظام النواشر، والذي يتألف من شبكة من الناشرات (*Diffusers*) موزعة على التفرع في أسفل المفاعل الحيوي، تقوم بنشر الهواء إلى مياه الصرف في المفاعل الحيوي. [8]



الشكل (6): نظام التهوية.[7]

حسب (Wendimu Fanta Gemechu) تمت نمذجة نظام التهوية من أجل *Blower* واحدة المفاعل الحيوي.[7]



الشكل (7): رسم تخطيطي لنظام Blower مفردة وحوض التهوية.[7]

$$Q_b = f_b(x_b, \Delta P_b, n_b) \quad (11)$$

حيث :

f_b : تابع لا خطي متوفر من بيانات الشركة.

$x_b = 1$: إذا كانت الـ Blower تعمل (on).

$x_b = 0$: إذا كانت الـ Blower لا تعمل (off).

n_b : سرعة دوران المحرك.

$\Delta P_b = P_b - P_a$:هبوط الضغط عبر الـBlower ويساوي الفرق بين الضغط عندها والضغط الجوي.

$$Q_{air} = \begin{cases} \frac{\Delta P_d - \Delta P_d^{open}}{R_d} & for \quad \Delta P_d \geq \Delta P_d^{open} \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (12)$$

$$R_d . C_d . \frac{dQ_{air}}{dt} + Q_{air} = \frac{T_d}{T_b} . Q_b \quad (13)$$

$$\frac{T_d}{T_b} = \frac{P_d}{P_b} \quad (14)$$

$$R_d = 0.74 \quad \frac{kPa.h}{m^3} \quad , \quad \Delta P_d^{open} = 2\ kPa$$

فيكون تابع النقل لنظام التهوية:

$$\frac{Q_{air}}{Q_b} = \frac{P_d/P_b}{R_d . C_d\ s + 1} \quad (15)$$

بتطبيق قيم بارامترات النموذج ASM1 يصبح تابع النقل بالشكل التالي:

$$G(s) = \frac{2.3}{1059\ S + 1}$$

الجدول (1) : قيم بارامترات نظام التهوية وفق النموذج ASM1

البارامتر	القيمة	الواحدة

KPa	50	P_b
KPa	115	P_d
$KP.m^3$	1432	C_d
$\frac{kPa.h}{m^3}$	0.74	R_d

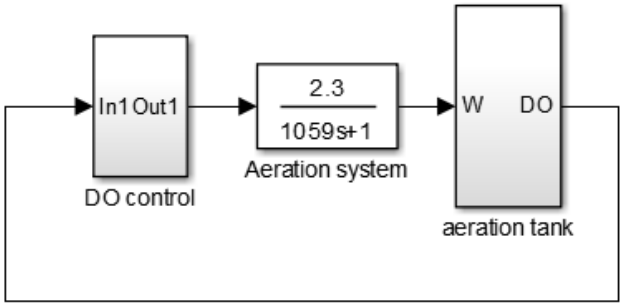
6. نتائج الدراسة التحليلية:

تمت دراسة أنظمة التحكم (التحكم بالأوكسجين المنحل – التحكم المتعاقب بالأوكسجين المنحل – التحكم المتعاقب بالأمونيوم). حيث تم إجراء المحاكاة في بيئة –Matlab) (Simulink، وتم تطبيقها في حالات الطقس (المعتدل – الجاف – الماطر)، ومقارنة النتائج مع نظام التحكم بالأوكسجين المنحل.

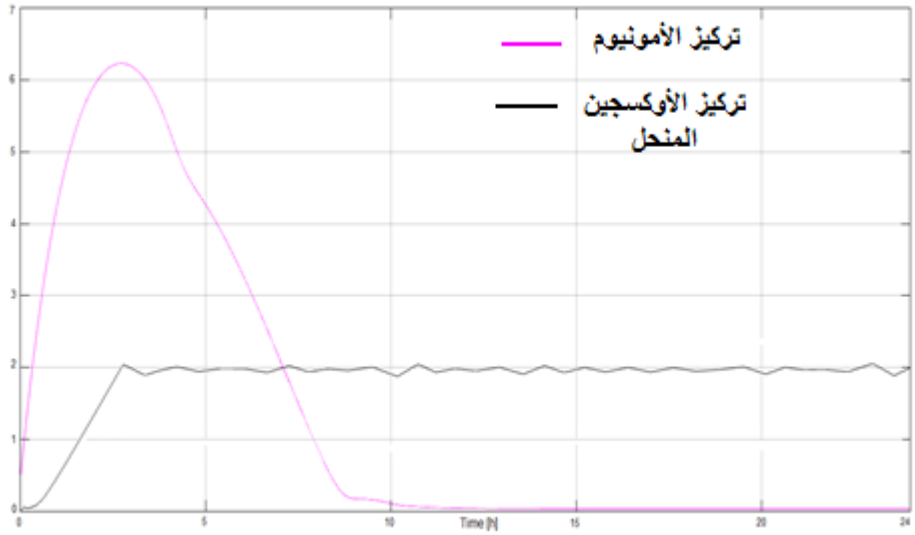
1.6. حالة الطقس معتدل :

1.1.6. محاكاة نظام التحكم بالأوكسجين المنحل (DO control):

بتطبيق نظام التحكم بالأوكسجين المنحل على المحطة حيث تتم قراءة قيمة الأوكسجين المنحل في المفاعل من حساس الأوكسجين ، ويتم تشغيل نظام التهوية عندما تكون قيمة $DO < 2$ ، و إطفاء نظام التهوية عندما تكون $DO \geq 2$. تظهر نتائج المحاكاة بالشكل (9) :



الشكل (8): نظام DO control عند تطبيقه على المحطة في بيئة (Matlab–Simulink).



الشكل (9): تركيز الأوكسجين المنحل– تركيز الأمونيوم عند تطبيق نظام DO control على المحطة (طقس معتدل).

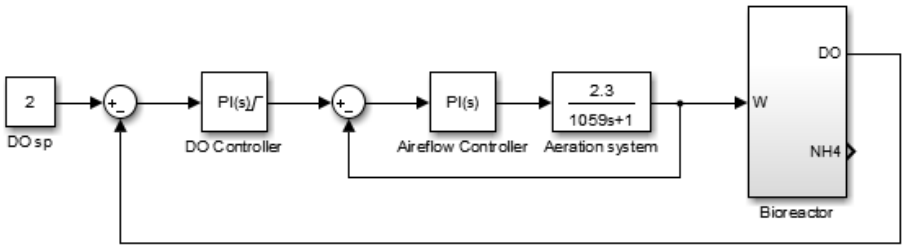
نلاحظ أن تركيز الأوكسجين المنحل يزداد للقيمة (2 $[mg/l]$)، ثم يتراوح عند هذه القيمة بسبب إطفاء نظام التهوية وتشغيله من جديد ليحافظ على قيمة الأوكسجين المنحل (2 $[mg/l]$) بالرغم من انخفاض تركيز الأمونيوم. أما بالنسبة لتركيز الأمونيوم فإنه

ينخفض بسبب التهوية ويأخذ زمن معالجة قريب من (10 [h]) (أي بطئ في عملية المعالجة ، ويوجد هدر في الطاقة بسبب استمرار عمل نظام التهوية، ليحافظ على قيمة تركيز الاوكسجين المنحل (2 [mg/l]) بالرغم من انخفاض تركيز الأمونيوم في مياه الصرف الصحي).

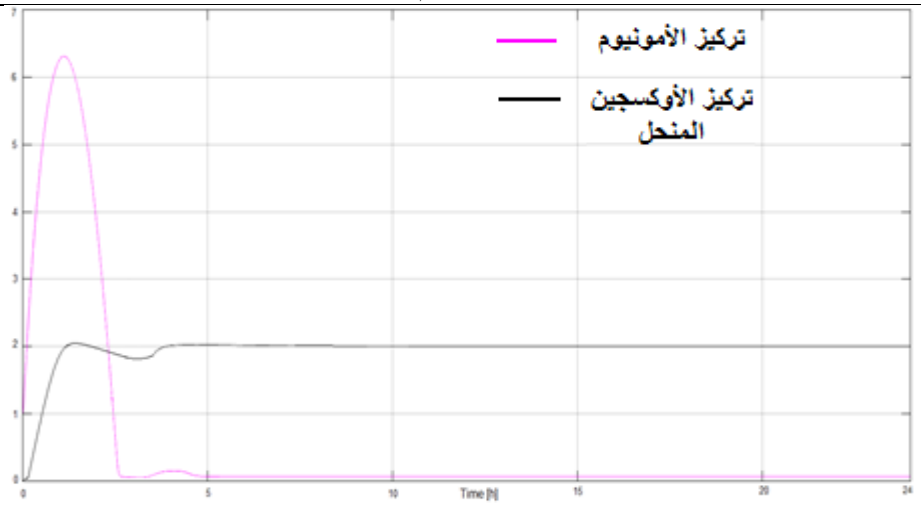
2.1.6. محاكاة نظام التحكم المتعاقب بالأوكسجين المنحل على المحطة:

هو عبارة عن عدة متحكمات متصلة مع بعضها تسلسلياً، حيث حلقة التحكم الداخلية تتحكم بتدفق الهواء وحلقة التحكم الخارجية تتحكم بتركيز الاكسجين المنحل.

حلقة التحكم الخارجية (حلقة التحكم بالأوكسجين المنحل) تأخذ قيمة ($setpoint_{DO} =$ 2 [mg/l])، وبالمقارنة مع قيمة الأوكسجين المنحل الفعلية الآتية من حساس الأوكسجين المنحل، يحسب المتحكم إشارة التحكم والتي هي قيمة ($setpoint$) لحلقة التحكم الداخلية (حلقة التحكم بتدفق الهواء)، يظهر الشكل (11) نتائج المحاكاة.



الشكل (10) : نظام التحكم المتعاقب بالأوكسجين المنحل عند تطبيقه على المحطة في بيئة(Matlab–Simulink).

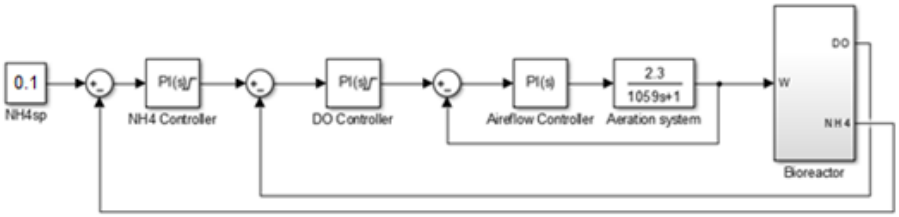


الشكل (12): تركيز الأوكسجين المنحل – تركيز الأمونيوم عند تطبيق نظام التحكم المتعاقب بالأوكسجين المنحل (طقس معتدل).

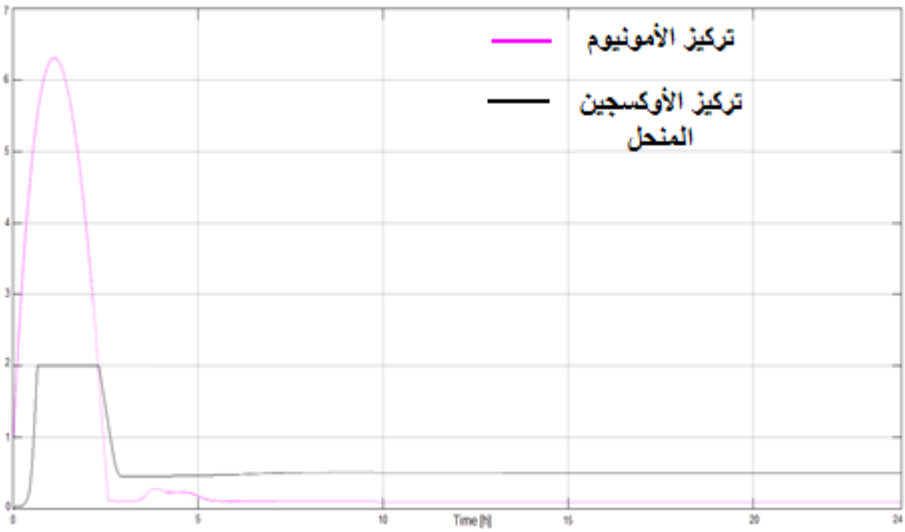
نلاحظ من الشكل تحسين عملية المعالجة وانخفاض زمن المعالجة بنسبة تقارب 50% بالمقارنة مع نظام التحكم بالأوكسجين المنحل، واستقرار قيمة الأوكسجين المنحل عند القيمة ($setpoint_{DO} = 2\ [mg/l]$) بالرغم من إتمام عملية المعالجة (أي تحسين في عملية المعالجة وهدر في الطاقة).

3.1.6. محاكاة نظام التحكم المتعاقب بالأمونيوم على المحطة:

نضيف متحكم PI على نظام التحكم المتعاقب بالأوكسجين المنحل، حيث تكون إشارة الخطأ حاصل طرح قيمة ($setpoint_{NH4}$) مع القيمة الفعلية لتركيز الأمونيوم في المفاعل الحيوي الآتية من حساس الأمونيوم، يظهر الشكل (13) نظام التحكم بالأمونيوم، وتظهر نتائج المحاكاة للنظام عند قيمة ($setpoint_{NH4} = 0.1$) بالشكل (14).



الشكل (13): نظام التحكم المتعاقب بالأمونيوم عند تطبيقه على المحطة في بيئة (Matlab–Simulink).



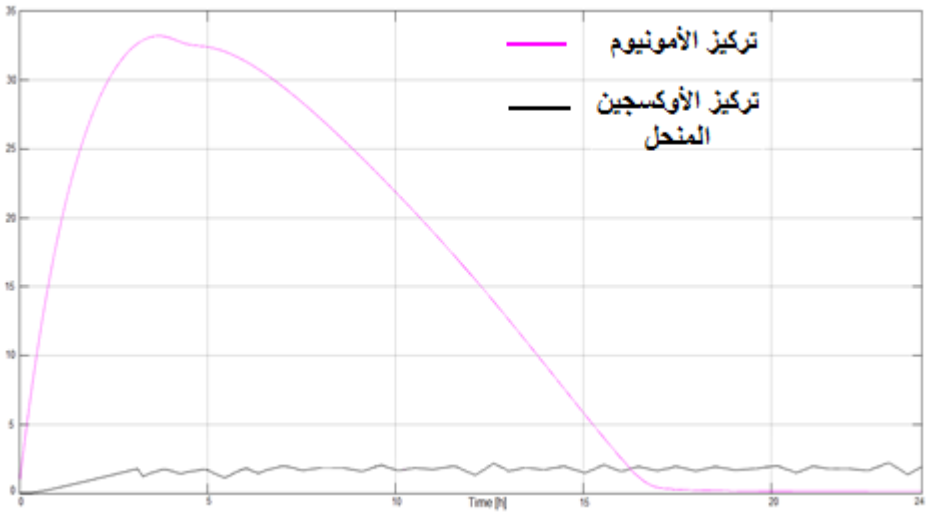
الشكل (14): تركيز الأوكسجين المنحل – تركيز الأمونيوم عند تطبيق نظام التحكم بالأمونيوم (طقس معتدل).

نلاحظ من الشكل انخفاض زمن المعالجة أيضاً بنسبة تقارب 50%، وانخفاض تركيز الأوكسجين المنحل بنسبة 25% (أي تحسين في عملية المعالجة وتوفير في استهلاك الطاقة).

2.6. حالة الطقس جاف:

في هذه الحالة يكون تركيز الأمونيوم عند أعلى قيمة بسبب تبخر مياه الصرف الصحي.

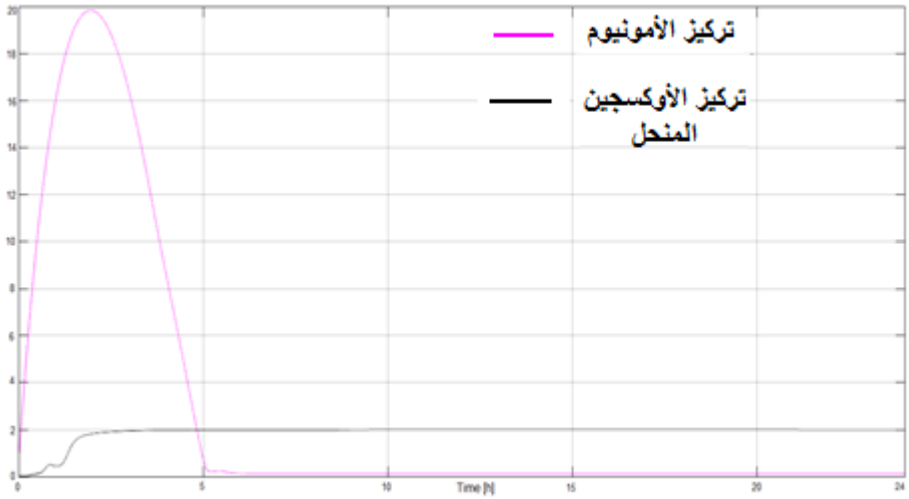
1.2.6. محاكاة نظام التحكم بالأوكسجين المنحل (DO control):



الشكل (15): تركيز الأوكسجين المنحل– تركيز الأمونيوم عند تطبيق نظام DO control على المحطة (طقس جاف).

نلاحظ من الشكل أن تركيز الأوكسجين المنحل يتراوح حول قيمة ($setpoint_{DO} = 2\ [mg/l]$)، وأن زمن المعالجة ازداد ليصل لحوالي ($17\ [h]$) بسبب زيادة تركيز الأمونيوم في مياه الصرف الصحي (أي بطئ في عملية المعالجة وهدر في الطاقة).

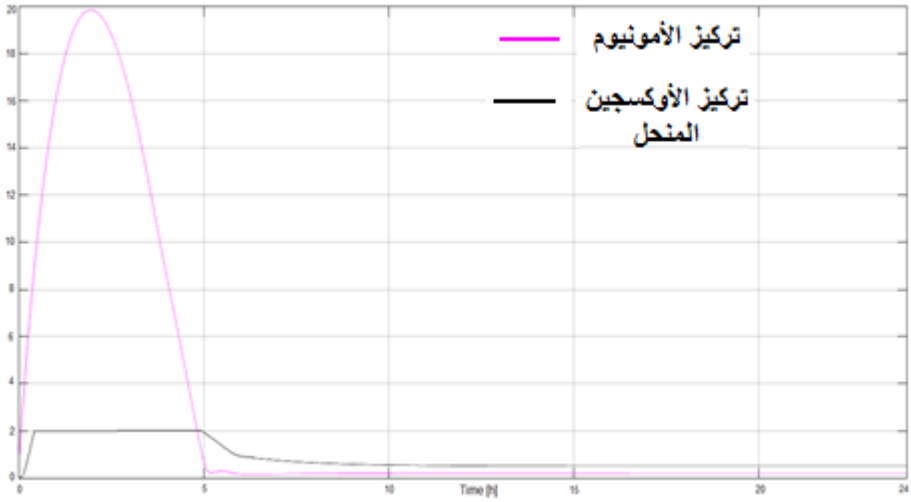
2.2.6. محاكاة نظام التحكم المتعاقب بالأوكسجين المنحل على المحطة:



الشكل (16): تركيز الأوكسجين المنحل – تركيز الأمونيوم عند تطبيق نظام التحكم المتعاقب بالأوكسجين (طقس جاف).

نلاحظ من الشكل أن زمن المعالجة انخفض بنسبة تقارب 29.5% بالمقارنة مع نظام التحكم بالأوكسجين المنحل، وأن تركيز الأوكسجين المنحل يستقر عند القيمة ($setpoint_{DO} = 2\ [mg/l]$) بالرغم من إتمام عملية المعالجة (أي تحسين في عملية المعالجة وهدر في الطاقة).

3.2.6. محاكاة نظام التحكم المتعاقب بالأمونيوم على المحطة :



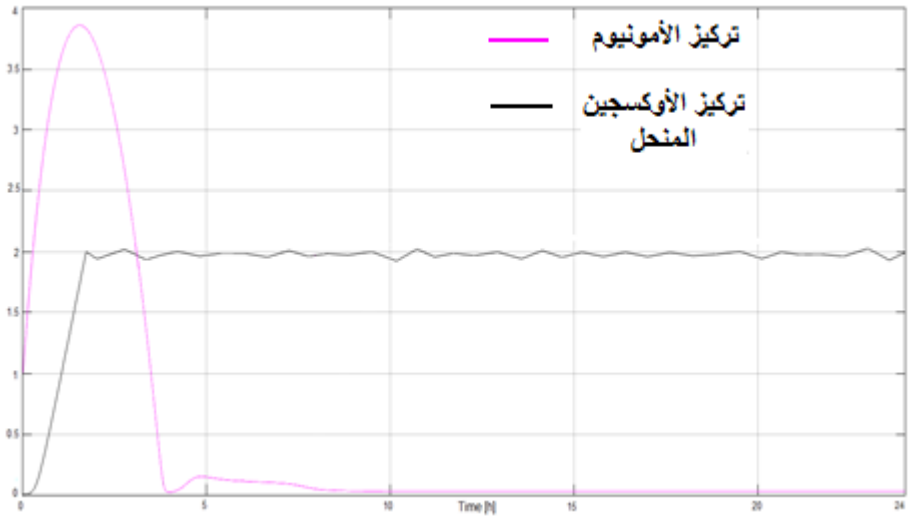
الشكل (17): تركيز الأوكسجين المنحل – تركيز الأمونيوم عند تطبيق نظام التحكم بالأمونيوم (طقس جاف).

نلاحظ من الشكل انخفاض زمن المعالجة بنسبة تقارب 29.5%، وانخفاض في تركيز الأوكسجين المنحل بنسبة 25% (أي تحسين في عملية المعالجة وتوفير في الطاقة).

3.6. حالة الطقس ماطر :

في هذه الحالة يتم تمديد مياه الصرف الصحي بمياه الأمطار فيكون تركيز الأمونيوم بأصغر قيمه له.

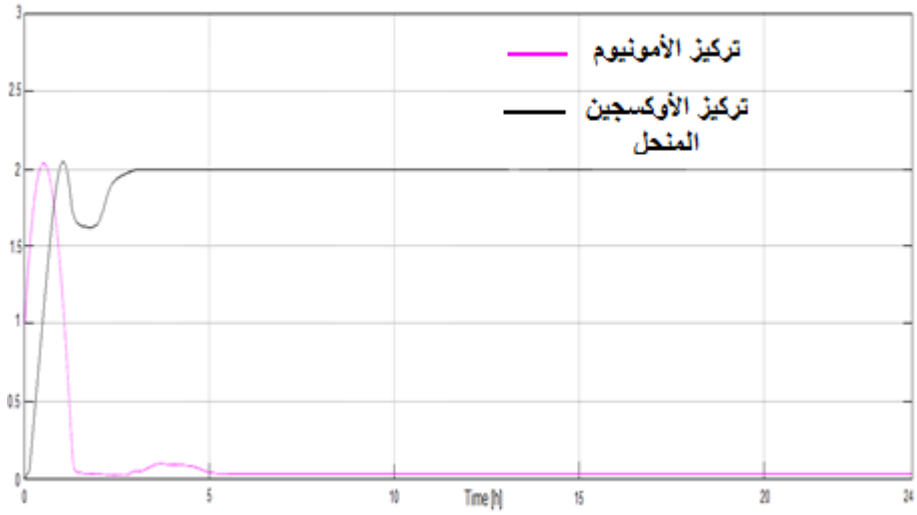
1.3.6. محاكاة نظام التحكم بالأوكسجين المنحل (DO control):



الشكل (18): تركيز الأوكسجين المنحل– تركيز الأمونيوم عند تطبيق نظام DO control على المحطة (طقس ماطر).

نلاحظ من الشكل أن تركيز الأوكسجين المنحل يتراوح حول قيمة ($setpoint_{DO}$ = 2 $[mg/l]$)، وأن زمن المعالجة انخفض إلى القيمة (8 $[h]$) بسبب انخفاض تركيز الأمونيوم في مياه الصرف الصحي بفعل الأمطار.

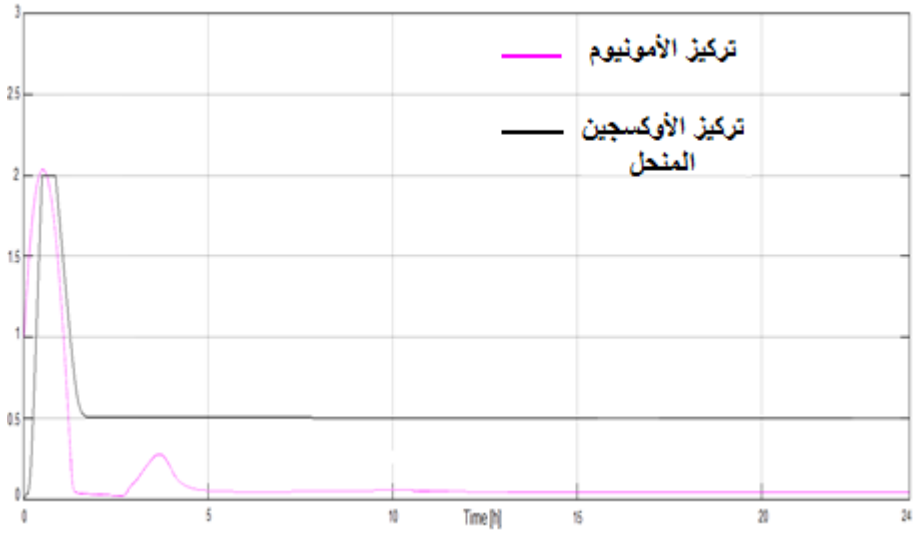
2.3.6. محاكاة نظام التحكم المتعاقب بالأوكسجين المنحل على المحطة:



الشكل (19): تركيز الأوكسجين المنحل – تركيز الأمونيوم عند تطبيق نظام التحكم المتعاقب بالأوكسجين (طقس ماطر).

نلاحظ من الشكل تحسين عملية المعالجة وتخفيض زمن المعالجة بنسبة تقارب 62%، واستقرار تركيز الأوكسجين المنحل عند قيمة ($setpoint_{DO} = 2\ [mg/l]$) بالرغم من إتمام عملية المعالجة (أي تحسين في عملية المعالجة وهدر في الطاقة).

3.3.6. محاكاة نظام التحكم المتعاقب بالأمونيوم على المحطة:



الشكل (20): تركيز الأوكسجين المنحل – تركيز الأمونيوم عند تطبيق نظام التحكم بالأمونيوم (طقس ماطر).

نلاحظ من الشكل تخفيض زمن المعالجة بنسبة تقارب 62.5%، وتخفيض تركيز الأوكسجين المنحل بنسبة 25% (أي تحسين في عملية المعالجة وتوفير في الطاقة).

يظهر الجدول التالي ملخص النتائج بين الأنظمة.

الجدول (2) ملخص النتائج بين الأنظمة الثلاثة

نظام التحكم	زمن المعالجة	تركيز الأوكسجين المنحل	الميزات
DO control	17–8 ساعة	يتراوح حول قيمة $2\ [mg/l]$	– بطئ في عملية المعالجة. – هدر في الطاقة

cascade Do control	5 ساعات	$2\ [mg/l]$	– تخفيض زمن المعالجة بما يقارب (50 – 29.5 – 62.5 %) في حالات الطقس (معتدل – جاف – ماطر) بالترتيب. – هدر بالطاقة .
NH_4 control	5 ساعات	if $NH_4 > 1.5[mg/l]$ then $DO = 2[mg/l]$ if $NH_4 \leq 1.5[mg/l]$ then $DO = 0.5[mg/l]$	- تخفيض زمن المعالجة بما يقارب (50 – 29.5 – 62.5 %) في حالات الطقس (معتدل – جاف – ماطر) بالترتيب. - تخفيض قيمة DO بنسبة 25% وبالتالي تخفيض في استهلاك الطاقة

7. الاستنتاجات :

1. عمل نظام التحكم بالأوكسجين المتعاقب بكفاءة إذ سرع عملية المعالجة بنسبة تقارب (50 – 29.5 –62.5%) في حالات الطقس (معتدل – جاف – ماطر) بالترتيب، ولكنه لم يخفض من استهلاك الطاقة بالمحطة بالمقارنة مع نظام التحكم بالأوكسجين المنحل.

2. عمل نظام التحكم المتعاقب بالأمونيوم بكفاءة عالية حيث سرع عملية المعالجة بنسبة تقارب (50 – 29.5 – 62.5 %) في حالات الطقس (معتدل – جاف – ماطر) بالترتيب، وخفض تركيز الأوكسجين المنحل بنسبة 25%، أي خفض من استهلاك الطاقة الكهربائية في المحطة.

3. بسبب تخفيض نظام التحكم المتعاقب بالأمونيوم لزمن المعالجة، يمكننا معالجة كميات مياه أكبر وبالتالي يمكن استقبال مياه من القرى المجاورة لمعالجتها، أو معالجة مياه منطقة تواجد المحطة عند الزيادة السكانية للقرية وبالتالي تأخير عملية التوسع للمحطة عدة سنوات لاحقة.

8. المقترحات:

1. ملاحظة نظام التحكم المتعاقب بالأمونيوم وإمكانية تطبيقه في محطات المعالجة قيد الدراسة.

2. أخذ نظام التحكم المتعاقب بالأمونيوم بالحسبان عند دراسة حالات التوسع في محطات المعالجة القائمة، كونه يخفض من زمن المعالجة وبالتالي إمكانية استقبال كميات مياه أكبر، أي توفير تكاليف إنشاء أحواض إضافية للمحطة.

المراجع

[1] Langergraber G, Simunek J, 2006- The Multi Component Reactive Transport Module. University of California Riverside, USA, p 72.

[2] Samulesson P, 2005- Control of Nitrogen Removal in Activated sludge Processes. Uppsala University , Sweden, p 168.

[3] Larsson V,2011- Energy savings with a new aeration and control system in a mid-size Swedish wastewater treatment plant. Uppsala University, Department of Information Technology, Sweden, p 78.

[4] Amand L, 2014-Ammonium Feedback Control in Wastewater Treatment Plants. Uppsala University, Sweden, p 258.

[5] Kern P, 2016- Computational Intelligence Techniques for Control and Optimization of Wastewater Treatment Plants. Maynooth University, Ireland, p 179.

[6] Henze M, Brdjanovic D, 2019- Biological Wastewater Treatment Principles, Modelling and Design. IWA Publishing, London, p 615.

[7] Gemechu W, 2010- The Design of Automated Control System for Wastewater Treatment Plant. Universiti Teknologi Petronas, Tronoh, Perak, p 64.

[8] Rieger L, 2012 - Myths About Ammonia Feedforward Aeration Control. Proceedings of the Water Environment Federation, USA, p20.

[9] Robert P, Tomasz U, 2020 -Designing Control Strategies of Aeration System in Biological WWTP. Energies, Switzerland, p170.

[10] Victoria R, Travis S, 2020-Impact of Ammonia-Based Aeration Control (ABAC) on Energy Consumption. Applied Sciences, Switzerland, p178.

دراسة تحليلية لأدوات إدارة العمليات التجارية

طالبة الدكتوراه: م. رؤى الراعي

كلية الهندسة المعلوماتية–جامعة البعث

اشراف الدكتورة: أليدا اسبر

الملخص:

على مدى العقد الماضي ، أصبحت العمليات أحدى الأصول المهمة للحياة اليومية في المؤسسات حيث تقوم الشركات بالعمل على زيادة نضج عملية المؤسسات لزيادة إنتاجية الموظفين وتحسين إدارة المعلومات لزيادة القدرة التنافسية وتقليل التكاليف والتكيف مع السوق الديناميكي والأوضاع القانونية .مما يؤدي إلى زيادة الطلب على تكنولوجيا المعلومات لتلبية توقعات العمل. الإجابة على هذه الاحتياجات هي إدارة عمليات الأعمال .في الوقت الحاضر ، يقوم المزيد والمزيد من المنظمات بنمذجة عملياتها التجارية وتنفيذ أنظمة إدارة عمليات الأعمال من أجل أتمتة مهامها وتحسين معايير التنفيذ الخاصة بها لذلك ، من المهم جداً اختيار نظام إدارة عمليات الأعمال المناسب .نظراً للبيئة الأساسية التي قد يمتلكها العميل والقيود المفروضة عليه ، لا توجد منهجية قياسية يمكن أن تساعد في اختيار الحل الأنسب.

لذلك تسلط هذه المقالة الضوء على بعض أهم المعايير التي وضعها المؤلفون لتتم بعدها مقارنة أدوات أنظمة إدارة العمليات التجارية بناء عليها. حيث تركز المقالة على مقارنة بعض أشهر الأدوات المجانية المفتوحة المصدر .

الكلمات المفتاحية: أنظمة إدارة العمليات التجارية، الأدوات، البرمجيات مفتوحة المصدر، العمليات التجارية.

Analytical Study of Business Process Management Tools

Eng. Rowa AL-Raee Dr. Aleda Esber

Abstract

Over the last decade, processes have become an important asset for daily life in organizations. Business are working to grow process maturity of organizations to increase employee productivity improve information management to increase competitiveness, reduce costs and adapt to dynamic market and legal situations. Causes a growing demand for information technology to meet business expectations. The answer to these needs is Business Process Management. Nowadays, more and more industrial organizations are modeling their business processes and implementing business process management systems for automate tasks and improve their execution parameters. Therefore, it is very important to choose a suitable business process management system Given the underlying environment that a customer might have and their limitations, there is no standard methodology that can help in the selection of the most appropriate solution. This

paper therefore highlights criteria developed by the authors to compare BPMS tools. The article focuses on comparing some of the most popular free open source tools.

Keywords: Business Process Management Systems, Tools, Open Source Software, Business process.

1. هدف البحث:

نسعى ضمن هذا البحث على تسليط الضوء من خلال المقدمة على مفهوم نظام إدارة العمليات التجارية BPMمن خلال توضيح مفهوم العملية التجارية Business Process (BP) التي تشكل النواة الأساسية لأي نظام إدارة عمليات تجارية، ومن خلال عرض المراحل التي تشكل دورة حياة أي نظام إدارة عمليات تجارية، مع الإشارة الى وجود عروض مختلفة لدورة حياة BPMS باختلاف الأدبيات والمنهجيات المتبعة. بعدها تطرقنا الى شرح أهم المعايير المعتمدة وفقا للدراسات المرجعية في تقييم أنظمة BPMS ، حيث اعتمدنا في البحث على ثلاثة وعشرون معيار تتنوع بين معايير مفيدة لمطوري البرمجيات كوجود دعم ل BPMN 2.0 أو كوجود موصلات connectors وبين معايير مفيدة لمطوري العمليات التجارية مثل وجود محرك قواعد الاعمال أو وجود إمكانية لنشر deploy العملية و معايير أخرى تهتم بالمستخدم مثل وجود واجهات رسومية تتيح سهولة الاستخدام...وفي نهاية البحث ، قمنا بمقارنة وفقاً للمعايير التي تم اختيارها في البحث بين بعض أشهر أدوات أنظمة إدارة العمليات التجارية المجانية ذات الإصدار المفتوح ، للمساعدة في التعرف على أهم مزايا BPMS الحالية الموجودة في الإصدار المفتوح لهذه الأدوات ، بحيث يمكن للمؤسسات استخدام هذا التقييم لدعم عمليات اختيار نظام إدارة العمليات التجارية الذي يلبي متطلباتها على أفضل وجه، لأن عملية الاختيار هذه تعتبر مهمة صعبة ومرهقة ومعقدة.

2.مقدمة:

2.1 تعريف نظام إدارة العمليات التجارية BPMS :

هو فن وعلم الإشراف على كيفية أداء العمل في المؤسسة لضمان نتائج متسقة والاستفادة من فرص التحسين،[1] حيث يعتبر مجال من مجالات الإدارة ويمكن تعريفه على أنه

نموذج يتضمن الأساليب والتقنيات والأدوات لدعم تصميم وتنفيذ وإدارة وتحليل العمليات التجارية التشغيلية[2]

تهدف Business Process Managrement BPMإلى التقييم الاستراتيجي للعمليات التي تنفذها الشركة والتحسين المستمر لفعالية وكفاءة العمليات التجارية BPداخل المؤسسات. في هذا السياق، قد يأخذ مصطلح "التحسين" معاني مختلفة اعتماداً على أهداف المنظمة. تشمل الأمثلة النموذجية لأهداف التحسين خفض التكاليف وتقليل أوقات التنفيذ وتقليل معدلات الخطأ. وقد تكون الأهداف تحسين الجودة؛ وكسب في الإنتاجية والقدرة التنافسية فيما يتعلق بالمنظمات الأخرى في نفس مجال العمل.

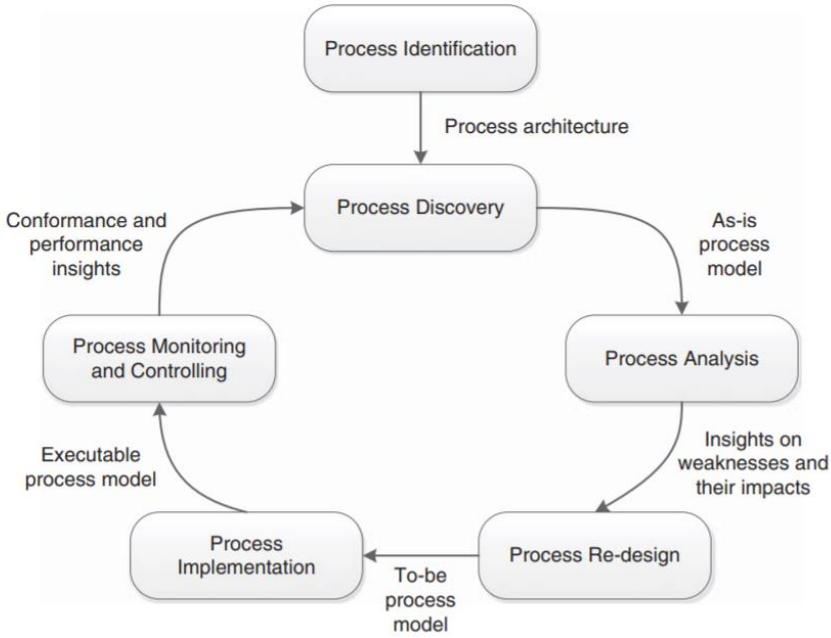
2.2 تعريف العملية التجارية BP:

تعريف Bas Steen المقترح للعملية التجارية: "العملية التجارية هي سلسلة من الأنشطة، يتم تنفيذها بواسطة الكيانات التي تأخذ نوعاً واحداً أو أكثر من المدخلات وتنشئ مخرجات ذات قيمة لكيان واحد أو أكثر [1] .

تساعد نمذجة العمليات التجارية المؤسسات على تحديد العمليات الحالية بيانياً (من، وكيف، ومإذا تفعل، ولمإذا)، لتحديد المجالات التي تنطوي على مشاكل في العمل، وتحديد المخاطر المحتملة وتحسين العملية أثناء اتخاذ القرارات. كما أنه يوفر فهماً أفضل ومتسقاً للعمليات التجارية، ويحسن التواصل بين مجموعات المصالح المختلفة، ويساعد على تحديد واكتشاف وإدارة المعرفة التنظيمية ويوفر إمكانية إعادة استخدام العمليات التي تم التحقق منها ونمذجتها سابقاً [1].

3.دورة حياة نظام إدارة العمليات التجارية: Business Process Management Lifecycle

في الأدبيات لا يوجد عرض موحد لعدد المراحل في دورة حياة BPM لذلك سنصف دورة حياة BPM من وجهة نظر Dumas et al.' s (2013)



Source: Adapted from Dumas *et al.* (2013)

الشكل (1) دورة حياة BPM

كما هو مبين في الشكل (1) تتكون دورة حياة BPM (2013) .Dumas et al من ست مراحل:

المرحلة الأولى التي توفر أساساً للدورة المستمرة، هي تحديد العملية. في هذه المرحلة، يتم تحديد مشكلة العمل ويتم تحديد العمليات ذات الصلة المتعلقة بالعمل وتحديد نطاقها وربطها. ناتج تحديد العملية هو بنية العملية الحالية، والتي توفر نظرة عامة شاملة للعمليات في المنظمة والروابط بينها.

في مرحلة اكتشاف العملية، يتم توثيق الحالة الحالية للعمليات ذات الصلة، عادةً في شكل نماذج أعمال كما هي. في المرحلة التالية، يتم تحديد المشكلات المتعلقة بالعمليات

كما هي وتوثيقها وإذا أمكن قياسها. تولد هذه المرحلة مجموعة من المشكلات والقضايا المنظمة، والتي سيتم تحديد أولوياتها بعد ذلك بناءً على آثارها والجهود اللازمة لحلها. الهدف من مرحلة إعادة تصميم العملية هو تحديد التغييرات المطلوبة في العمليات لحل المشكلات التي تم تحديدها مسبقاً. يتم تحليل العديد من الخيارات المختلفة ومقارنتها باستخدام مقاييس أداء معينة. عادة ما يكون ناتج إعادة تصميم العملية عمليات مستقبلية.

في تنفيذ العملية، يتم إعداد وتنفيذ التغييرات المطلوبة لإجراء تحول مما هو إلى ما هو متوقع. قد يشمل هذا: التغيير التنظيمي وأتمتة العمليات.

يتم إجراء مراقبة العملية والتحكم فيها في المرحلة التالية. يتضمن ذلك جمع وتحليل البيانات ذات الصلة لتحديد مدى جودة أداء العملية فيما يتعلق بمقاييس الأداء والأهداف المرتبطة بها.

4.معايير تقييم أنظمة إدارة العمليات التجارية:

أطلقت العديد من الشركات منتجاتها التي تدعم BPMهذه المنتجات قد تدعم دورة حياة BPMكاملة أو قد تدعم بعض المراحل منها. من الصعب اختيار نظام إدارة العمليات التجارية الصحيح، لأن الكثير من حلول BPM تصف فقط الخصائص الوظيفية العامة لمنتجاتها، على الرغم من احتمال وجود مشكلات عدم توافق مع بيئات معينة. هذا يجعل اختيار منتج أمراً صعباً [3] بالإضافة الى أنه لا توجد معايير محددة للقيام بذلك وبدونها، يكون اختيار النظام أمراً شخصياً، نظراً لأن المؤسسات لا يمكنها تخصيص الكثير من الموارد لتحليل الأنظمة بشكل شامل. من أجل تحليل نظام إدارة العمليات التجارية بشكل أكثر كفاءة، يجب تحديد معايير التقييم. سنتطرق فيما يلي الى بعض أهم المعايير التي تناولتها الأدبيات في هذا المجال:

4.1 دعم BPMN2.0 :

من بين اللغات المختلفة الموجودة لنمذجة العمليات التجارية، هناك خمس لغات هي الأكثر تأثيراً هذه الأيام[4] EPC سلسلة العمليات المدفوعة بالأحداث Event–driven (Process Chain)، المستخدمة ضمن مجموعة أدوات ARIS المعروفة . UML–AD لغة النمذجة الموحدة – مخططات النشاط (–Unified Modelling Language) Diagrams Activity ، التي أنشأتها OMG مجموعة إدارة الكائنات(Object Management Group) مبدئياً لدعم تطوير البرمجيات. وهناك لغة RAD(مخطط نشاط الدور) مع التركيز بشكل خاص على المشاركين في العملية التجارية، وتفاعلاتهم. لغة BPMNنموذج وتدوين العملية التجارية Business Process Model and (Notation)، حالياً الإصدار 2.0 هو الأكثر استخداماً اليوم ويعتبرها البعض قياسية. إذا فالمعيار الأول هو دعم الترميز القياسي BPMN2.0 [5].

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المعيار القياسي BPMN2.0 بشكل كامل فإنها تأخذ نقطتين وإذا كانت تدعمه بشكل جزئي تأخذ نقطة واحدة ولا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار.

4.2 وجود محرك عملية:Built–in process engine :

وجود محرك عملية مسؤول عن تنفيذ العمليات المنمذجة وتشغيلها [5]

طريقة التقييم: إذا كان المحرك موجوداً في الأداة ومسؤولاً بشكل كامل عن تنفيذ العمليات فإنها تأخذ نقطتين وإذا كان مسؤولاً بشكل جزئي فتأخذ نقطة واحدة ولا تأخذ أي نقطة إذا كان هذا المحرك غير موجود.

4.3 محاكاة العملية

من الخيارات المفيدة أو امتداد مخطط BPMN القدرة على محاكاة العملية. المقصود بالمحاكاة هي عملية تقليد سلوك أو عمليات أنظمة أو العمليات التجارية في العالم الحقيقي. تُستخدم هذه الميزة لإجراء تحليل افتراضي للعملية من أجل تحسين الموارد

وتخطيط الموارد البشرية[6] تُستخدم أيضاً لتتبع تدفق العملية، والعثور على الاختناقات وتقييم المخاطر وتقليلها[5] والتحقق مما إذا كان سيتم تنفيذ العمليات التجارية على النحو المتوقع ،على سبيل المثال ، عند نمذجة نسخة جديدة من العملية الحالية ، يمكن محاكاتها قبل إطلاقها في الإنتاج للاختيار بين الإصدارات[1] حيث يعتبر تحليل المحاكاة مفيد للغاية للحصول على أفكار حول كيفية تقليل التكاليف مع تحسين مستويات الخدمة[2].

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المحاكاة من دون أداة إضافية فإنها تأخذ نقطتين وإذا كانت تدعمها بمساعدة أداة إضافية تأخذ نقطة واحدة ولا تأخذ أي نقطة إذا كانت الأداة لا تدعم هذا المعيار.

4.4 التوافق والتشغيل البيني Interoperability and Compatibility

فإن قابلية التشغيل البيني بين اللغات المختلفة جانب مهم من BPMS ؛ تسمح قابلية التشغيل البيني بتبادل (استيراد / تصدير) نماذج العمليات التجارية بين مختلف أنظمة إدارة العمليات وبالتالي ، يعد دعم التشغيل البيني معياراً مهماً في تقييم أنظمة إدارة العمليات[2] . بالنسبة لاستيراد النماذج تكمن أهميته من خلال قيام جزء من الشركات بالفعل بنمذجة (وليس بالضرورة رسمياً) نموذج المنظمة الحالي ("كما هو") ، قبل تطوير و / أو تنفيذ نظام إدارة العمليات. تشكل العملية الحالية المنمذجة الأساس لتحسين العملية ، والتي يتم إضافتها بعد ذلك إلى العملية ("المستقبلية") المرغوبة ، لذلك من المهم معرفة ما إذا كان من الممكن استيراد النماذج التي تم إنشاؤها بالفعل إلى النظام [1] . بالنسبة لتصدير النموذج تأتي أهميته من أجل إعادة استخدام العملية المصممة في النظام أو لمنحها لشخص ما ، يلزم القدرة على تصديرها بتنسيقات مختلفة[1]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم استيراد نماذج العمليات بصيغة XML فإنها تأخذ نقطة و تأخذ نقطة إضافية إذا كانت تدعم استيراد النماذج بصيغ أخرى و بالنسبة

لتصدير العمليات تأخذ الأداة نقطة إذا كانت تدعم تصدير النموذج الى صورة ونقطة إضافية إذا كانت تدعم تصدير نموذج العمليات الى صيغ أخرى إضافية.

4.5 دعم التنفيذ الأمثلSupport for optimized execution

وفقًا لبعض المعايير القابلة للقياس : أي تغيير هيكل العملية أو تدفق الأنشطة لحالات التشغيل للاستجابة للحالات الخاصة [2]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المعيار بشكل كامل فإنها تأخذ نقطتين و إذا كانت تدعمه بشكل جزئي تأخذ نقطة واحدة و لا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار.

4.6 الترجمة الى نماذج قابلة للتنفيذTranslation into executable models

أحد أهم المعايير هو ترجمة العملية التجارية النموذجية إلى نموذج عملية قابل للتنفيذ على سبيل المثال WS–BPELو YAWL هذا يعني أنه يجب أن يدعم النظام لغة تنفيذ عملية تجارية واحدة على الأقل ، والترجمة بين نماذج العمليات التجارية ولغات التنفيذ.[1] .يمكن أن تكون هذه العملية مؤتمتة بالكامل أو تحتاج في بعض الحالات إلى تدخل بشري ويدوي.

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم الترجمة بشكل اتوماتيكي فإنها تأخذ نقطتين و إذا كانت تدعمه بشكل يدوي أو اتوماتيكي ولكن تتطلب تفاعل البشر فإنها تأخذ نقطة واحدة و لا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار.

4.7 دعم إعادة استخدام النماذج: Possibility to Reuse BP models or part of them

تعد إمكانية إعادة استخدام العمليات (أو جزء منها) أيضاً معياراً مهماً آخر لـ BPMS لأن عمليات إعادة الاستخدام تسهل مهمة نمذجة العمليات التجارية بطريقتين: 1) إنها تحسن جودة النماذج وزيادة مرونته من خلال إعادة استخدام الأجزاء المنشأة والمحسنة

2) تقلل من الوقت والجهد المطلوب لنمذجة العملية من خلال تجنب نمذجة نفس العملية التجارية أو جزء منها عدة مرات[2]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المعيار فإنها تأخذ نقطة ولا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار.

4.8 ابلاغ المستخدم بالمهام Support for informing users of their tasks

توجد بعض العمليات التي لا تكتمل دون تفاعل المستخدم لذلك تعتبر هذه الميزة مطلوبة [1] وهي من الميزات التي تدعم المستخدمين لتنظيم و لإكمال مهامهم مثل إخطارات البريد الالكترونيemail notifications و صندوق المهام الوارد task inbox قد يتم تحقيق مثل هذه الميزات بشكل داخلي في نظام BPMS أو بشكل خارجي باستخدام أدوات دعم أو adds-on متوفرة من قبل الباعة الاخرين وقد يشمل هذا الدعم تقنيات push أي BPMS يرسل الإخطارات الى المستخدم حول المهام المعلقة المطلوب تنفيذها و تقنيات pull أي يسمح BPMS بالتحقق مما إذا كان لدى كل مستخدم مهام معلّقة [2]أو قد يتم تصنيف طرق إبلاغ المستخدمين بشكل مشابه بالطريقتين : active informingحيث يتم إبلاغ المستخدم بماذا يتوجب عليه فعله passive informing و يمكن للمستخدم أن يستعرض سجل النشاطات activity log [1]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم إبلاغ المستخدم بشكل كامل فإنها تأخذ نقطتين و إذا كانت تدعمه بشكل جزئي تأخذ نقطة واحدة و لا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار.

4.9 إدارة المستخدم user management

هذا المعيار مرتبط بالمستخدمين الذين يتفاعلون مع العمليات التجارية يعد ضرورياً لتخصيص العمليات من خلال إنشاء الأدوار و المجموعات والأقسام. والتحكم في امتيازات الوصول اليها. يسمح هذ للمستخدمين بتعيين الأدوار التي تتناسب مع اجراءاتهم

ووظائفهم في المؤسسة أو المنظمة حيث تحدد أدوار المستخدمين :الإجراءات التي يمكن تنفيذها وأي أجزاء من حل BPM يمكن او لدى المستخدمين حق الوصول اليها. على سبيل المثال المستخدم الذي يملك دور المدير لديه كل الاذونات بشكل افتراضي أي أنه يستطيع الوصول الى كامل أجزاء حل BPM ويمكن أن ينفذ كل الإجراءات مثل انشاء تعديل حذف العمليات والمستخدمين[3] حيث يتم إسناد الأدوار بشكل يدوي أو أتوماتيكي[2]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المعيار بشكل كامل فإنها تأخذ نقطتين و إذا كانت تدعمه بشكل جزئي تأخذ نقطة واحدة و لا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار.

4.10 استراد الهيكل التنظيمي من الأنظمة الخارجية Support for importing organizational structure from other systems.

يمكن تحقيق عملية إسناد الأدوار(إدارة المستخدم) من خلال السماح بتعريف الهيكل التنظيمي داخل BPMS او من خلال استيراد هيكل الأدوار من نظام موجود مثل LDAP [2]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المعيار فإنها تأخذ نقطة ولا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار

4.11 مراقبة العمليات

أحد العناصر الأساسية لإدارة العمليات التجارية هو القدرة على مراقبتها. يمكن أن تكون المراقبة في الوقت الفعلي مفيدة في اكتشاف اختناقات العملية وتحديد المخاطر الناشئة والتدخل في العملية قبل حدوث الضرر[1] .في تلك الحالات التي تتعامل فيها المراقبة الفنية technical monitoring مع جوانب مثل وقت استجابة النظام وتحميل النظام ومشكلات الخادم ومشكلات الاتصال ، تركز مراقبة الأعمال)business monitoring

(BAMعلى الإشراف على حالات العملية. ترتبط هذه المراقبة بالتحكم في العملية من أجل الحصول على معلومات لحساب المؤشرات[2]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المراقبة الفنية والتقنية فإنها تأخذ نقطة و إذا كانت تدعم مراقبة نشاط الأعمال BAM تأخذ نقطة واحدة إضافية و لا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار

4.12 التحكم بالعمليات:Business process control

كرد فعل على المعلومات المرئية أثناء مراقبة العملية ، قد يرغب المستخدمون في تغيير العمليات التجارية أو إيقافها يتم ذلك عادة في وقت تنفيذ العمليات التجارية عند حدوث ظروف أو أخطاء غير متوقعة[1] لذلك سنقوم بتقييم ميزات التحكم التي تستجيب بها BPMS لأي من المواقف المذكورة أعلاه مثل القدرة على تغيير دور النشاط (أو المورد) مثل تغيير الفاعل أو التخزين من أجل موازنة عبء العمل. بالإضافة الى القدرة على تغيير قواعد العمل لمثيل العملية[2]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم تغيير الموارد والادوار لحالات العملية أثناء التنفيذ فإنها تأخذ نقطة و إذا كانت تدعم تغيير ميزان عبء العمل تأخذ نقطة واحدة إضافية و نقطة ثالثة إذا كانت تدعم تغيير قواعد العمل لحالات العملية .لا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار

4.13 القدرة على التعامل مع الأعطال Ability to deal with failures

مثل الاعطال على مستوى المحرك ، النظام ، النشاط والاتصالات.[2]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المعيار بشكل كامل فإنها تأخذ نقطتين و إذا كانت تدعمه بشكل جزئي تأخذ نقطة واحدة و لا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار.

4.14 دعم نماذج عمليات الاعمال Support Business Process Templates

تقدم حلول BPM أحيانًا نماذج عمليات تجارية متنوعة لمستخدميها؛ إذا تمكن المستخدم من العثور على نموذج يطابق احتياجاته ، فسيؤدي ذلك إلى تقليل التكلفة والجهد المبذولين لبناء نموذج عملية جديد من البداية. يتم تقديم نماذج إجراءات العمل في بعض الأحيان بواسطة بائعي BPM مجاناً، ومع ذلك، قد لا يوفرها البعض أو قد يوفرها فقط لمؤسستهم أو الإصدار التجاري.[3]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المعيار فإنها تأخذ نقطة ولا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار.

4.15 دعم التكامل مع الأنظمة والخدمات الأخرى Support for integration into other systems and services

تكامل العمليات التجارية مع الأنظمة المختلفة مهم أيضاً في تطوير الأنظمة (مثل قواعد البيانات وأنظمة إدارة علاقات العملاء) .التكامل مهم بشكل خاص إذا كانت المنظمة تستخدم أنظمة مختلفة ، لأنه سيسهل عمل موظفي المنظمة. التكامل مع التقنيات والأطر الأخرى ، التي يمكن أن تسهل وتسرّع تطوير النظام ، مهم أيضاً.[1]نقوم بتقييم ما إذا كانت BPMS تدعم تقنيات التكامل في خدمات وموارد المؤسسة الأخرى ، مثل تقنيات((REST Representational State Transferو WSDL(Web service Definition Language))[2]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المعيار فإنها تأخذ نقطة ولا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار.

4.16 دعم هندسة البرنامج المساعد Support Plugin Architecture

لتحقيق المرونة وإمكانية التوسع في ميزات حل BPM ، يجب أن يدعم بنية البرنامج المساعد(المكون الإضافي) .يمكن أن يساعد المكون الإضافي الحل على الاندماج

بسهولة مع أي ميزات جديدة غير مدعومة أو متوفرة في الأداة حتى الآن دون انقطاع الميزات الأساسية للأداة.[3]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المعيار فإنها تأخذ نقطة ولا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار .

4.17 دعم مؤشرات الأداء الرئيسية support KPI

KPI هي اختصار لKey Performance Indicator و هي نوع من مقاييس الأداء، عبارة عن عنصر يظهر عادة في لوحة المعلومات dashboard ، والذي يسمح لصانعي القرار برؤية بيانات حول أداء المستخدمين والعمليات.يتم تقييم نجاح منظمة أو نجاح نشاط أو عملية معينة باستخدام مؤشرات الأداء الرئيسية.[3]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المعيار فإنها تأخذ نقطة ولا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار

4.18 دعم لوحة المعلومات Support Dashboard

يمكن تعريف لوحة المعلومات على أنها مجموعة من التقارير الرئيسية بتنسيق مرئي مصمم لوظائف المستخدم المختلفة. في حلول BPM ، يجب أن توفر لوحة المعلومات مراقبة العملية وتحليلات قوية في الوقت الفعلي وإنشاء تقارير ومخططات لإظهار مقاييس العمل الهامة ومؤشرات الأداء الرئيسية بحيث يمكن تشغيل العمليات وإدارتها بسهولة .يمكن للمسؤول بسهولة استخدام لوحة المعلومات لمعرفة الدور الذي يلعبه كل مستخدم والتحقق من الإنتاجية في المؤسسة._[3]

إذا تعد ضرورية لقياس فعالية العمليات وتحديد كيفية تحسينها في المستقبل. حيث يمكن من خلال هذه اللوحة تحسين التنبؤ بالمشاكل والمخاطر أثناء تنفيذ العمليات.[2]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المعيار فإنها تأخذ نقطة ولا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار

4.19 دعم التكامل مع قاعدة البيانات الخارجية Support Integration with External Database

تعتمد بعض الشركات على قاعدة بيانات محددة لعمل مؤسستها وتحتاج إلى معرفة أي قاعدة بيانات تتطلب حلول BPM أو تدعمها على سبيل المثال ، تدعم بعض حلول BPM: MySQL أو Oracle أو .SQL Serverفي الوقت نفسه ، هناك حلول أخرى قد لا تدعم نفس قواعد البيانات أو ربما واحدة أو اثنتين منها فقط

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المعيار فإنها تأخذ نقطة ولا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار

4.20 تصميم واجهة المستخدم:Designing user interface

من المعروف أن المستخدمين يتفاعلون مع BP وبيانات الأعمال الخاصة بها باستخدام واجهات المستخدم الرسومية.[2] تعرض واجهة المستخدم في حلول BPM معلومات وعناصر العمل في مكان العمل للمستخدمين أثناء وقت التشغيل. يتم عرض النماذج والمخططات والرسوم البيانية والخرائط لتمثيل البيانات. ستؤدي واجهة المستخدم سيئة التصميم إلى تقليل قيمة الأداة القوية. لذلك ، تعد واجهة المستخدم جزءاً أساسياً من حلول BPM. [3] بهذا المعنى ، من المهم تقييم ما إذا كانت BPMS توفر آليات لتعريف وتنفيذ هذه الواجهات بطريقة ودية/سهلة (على سبيل المثال ، استخدام تطبيقات منفصلة أو وحدات مدمجة في BPMS) [2]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المعيار فإنها تأخذ نقطة ولا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار

4.21 دعم التقويم Support for calendar

هناك العديد من ميزات BPMS الأخرى التي يمكن أن تدعم المستخدمين في تنظيم مهامهم وإكمالها. على سبيل المثال التقويم[2]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المعيار بشكل كامل فإنها تأخذ نقطتين و إذا كانت تدعمه بشكل جزئي تأخذ نقطة واحدة و لا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار

4.22 إدارة إصدارات نماذج العمليات Version management of process models.

إحدى أهم الميزات في مرحلة التنفيذ هي إدارة الإصدارات التي يمكن من خلالها تنفيذ إصدارات مختلفة من نفس العملية في وقت واحد وتتبع جميع الإصدارات قيد التشغيل. هذا السيناريو مثير للاهتمام عندما تحتاج المؤسسات إلى تطوير عملياتها دون فقدان معلومات الحالات التي عفا عليها الزمن. هذا الموقف شائع جداً في البيئات الصناعية (على سبيل المثال ، بيئات الطيران أو السيارات) التي تتمتع فيها العمليات بعمر طويل جداً.[2]

طريقة التقييم: إذا كانت الأداة تدعم المعيار فإنها تأخذ نقطة ولا تأخذ أي نقطة إذا كانت لا تدعم هذا المعيار

4.23 قواعد الأعمال Business rules

قاعدة العمل هي قاعدة تحدد أو تقيد بعض جوانب الأعمال وتحل دائماً إما إلى صواب أو خطأ.[5] كما يمكن تعريفها بأنها أي شيء يلتقط السياسات والممارسات التجارية وينفذها. يمكن للقاعدة فرض سياسة الأعمال أو اتخاذ قرار أو استنتاج بيانات جديدة من البيانات الموجودة[7] تهدف قواعد العمل إلى تأكيد هيكل الأعمال أو التحكم في سلوك العمل أو التأثير عليه من خلال تقييد العملية وفقا لأهداف العمل. هناك معايير تقييم

تتعلق بتحديد وتنفيذ قواعد العمل . يمكن تضمين قواعد العمل هذه في تعريف العملية أو تحديدها باستخدام أنظمة إدارة قواعد العمل BRM [2]

طريقة التقييم :إذا كانت هناك طريقة واحدة على الأقل لنمذجة قواعد العمل ، فسيتم إعطاء نقطتين .إذا كان لا يمكن وصف قواعد العمل بشكل كامل ، يتم إعطاء نقطة واحدة.

5.تقييم أدوات BPMS

جميع حلول BPMS تطرح في السوق من كل اصدار نسخة تجارية وأخرى مفتوحة المصدر بالنسبة لمقالتنا سنقوم بالتركيز على الإصدارات المفتوحة المصدر من BPMS و هي Bonita BPM و Camunda و JBPM و Activiti و YAWL و ProcessMaker ذلك لأن البرمجيات مفتوحة المصدر لها تأثير متزايد على صناعة البرمجيات من خلال أن تصبح منافساً مهماً للبرامج التجارية . كما، وجدت العديد من المنظمات (من القطاعات التجارية والحكومية وغير الربحية) فوائد في تطبيق برمجيات مفتوحة المصدر في مؤسساتهم .يضاف الى ذلك أن حلول BPMSs التجارية يمكن أن تصبح باهظة الثمن ل SMEs (الشركات الصغيرة والمتوسطة).[2] بالمقابل تجذب أدوات BPM مفتوحة المصدر مزيداً من الاهتمام في السوق بسبب التوفير المحتمل في التكاليف وشروط الترخيص الأكثر مرونة. يمكن للمستخدمين أيضاً توسيع المنتجات وقابلية التوسع دون تكاليف إضافية. علاوة على ذلك ، من الممكن لطرف ثالث إصلاح الأخطاء بنفسه أو بمساعدة مجتمع المصدر المفتوح ، بدلاً من الصمود في أوقات استجابة البائع البطيئة. بالإضافة إلى ذلك ، أثبتت البرامج مفتوحة المصدر أنها مصدر رائع للابتكار ، ومن خلال الاستخدام الجديد لبرامج المصدر المفتوح يمكن لشركات البرمجيات أن تتوقع خلق ميزة تنافسية [8]

سنقوم فيما يلي بتقييم كل أداة وفقا للمعايير المذكورة في الفقرة السابقة:

Bonita BPM open source:[12][11][10] [9] [7] [5] [3] [2] [1]

تدعم هذه الأداة المعيار القياسي BPMN2.0 بشكل كامل (+2) بالإضافة الى وجود محرك عملية مسؤول عن تنفيذ العمليات (+2) محاكاة العملية مدعومة بشكل كامل (+2) تسمح Bonita للمستخدم باستيراد العمليات المصدرة من "Bonita BPM" "BPMN 2.0", "Microsoft Visio 2010", "ARIS BPM 7.x", "XPDL1.0" باستخدام صيغة XML او صيغ أخرى مثل bpmn.*و vdx.* (+2) يمكن تصدير العملية ليس فقط لصورة وهي الأهم وانما BPMN 2.0, XLM, BOS (+2) لا تدعم التنفيذ الأمثل (0) تدعم ترجمة العملية الى نماذج قابلة للتنفيذ وبشكل اتوماتيكي(+2) كما أنها تدعم إعادة استخدام نماذج العمليات (+1) يمكن اعلام المستخدم بالأحداث أو المهام عبر الايميل كما أن الأداة تدعم تقنيات push/pull لإبلاغ المستخدم بمهامه(+2) تدعم اسناد المستخدم للدور بشكل يدوي (+2)بالنسبة لمراقبة العمليات فإنها تدعم المراقبة الفنية والتقنية و بشكل جزئي تدعم BAM (+1) كما أنها تسمح بالتحكم بالعمليات من خلال السماح بتعديلها في الزمن الحقيقي بإسناد ديناميكي للمهمة لمشغلي actors مهام حالات العملية المنفذة وتدعم تغيير ميزان عبء العمل. لكن ووفقا لتوثيق الأداة فإنها لا تدعم تغيير قواعد العمل الا بالنسخة التجارية من خلال تطبيق live update(+1) تمتلك الأداة القدرة على التعامل مع الفشل (+2) ومن الممكن استخدام نماذج عمليات قابلة للتعديل template (+1) يصف التوثيق كيف يمكن للأنظمة الأخرى التكامل الى بونيتا باستخدام REST.حيث يسمح تكامل REST بالوصول لكل BPM objects مثل المستخدمين/العمليات. حيث تدعم Bonita :.80 connector للسماح بالتكامل مع الأنظمة والخدمات الأخرى(+2) تسمح باستيراد الهياكل التنظيمية من الأنظمة الخارجية للمؤسسة(+1) تدعم استخدام plug-ins لتحسين قدرات BPM (+1) تدعم استخدام مؤشرات الأداء الرئيسية الخاصة بالعملية (+1) تدعم استخدام وتعريف لوحة المعلومات dashboards (+1) تدعم Bonita أنواع مختلفة من قواعد

البيانات العلائقية لتخزين المعلومات مثل: MySQL, PostgreSQL, Microsoft SQL Server, and Oracle RDBMSs (+1) تدعم Bonita تعريف واستخدام واجهات رسومية غنية بشكل اتوماتيكي واجراء التعديلات عند الحاجة يدويا (+1)ان استخدام connectors تسمح بربط عمليات Bonita بتقويم Google (Google calendar)لإدارة الأحداث(+1) كما أنها تدعم إدارة إصدارت المختلفة من العمليات بشكل فعال (+1) يسمح نظام "Bonita BPMأيضاً بتحديد قواعد العمل أثناء تحديد نقاط القرار بأكثر من طريقة (+2)

مجموع النقاط: 34

YAWL_[17] [16] [15] [14] [13]

تدعم هذه الأداة لغة yawl كلغة نمذجة ولا تدعم المعيار القياسي BPMN2.0 (0) ووفقا لكتاب YAWL – Technical Manual Version 4.3 فان محرك تنفيذ سير العمل YAWL مسؤول بشكل أساسي عن شيئين: 1. الجدولة الصحيحة للمهام ، وفقاً لتدفق التحكم المحدد ضمن المواصفات اي تحديد ترتيب تنفيذ المهمة 2. إدارة البيانات المدخلة والمخرجة من كل مهمة وتفاعلها مع المهمة التي تحتوي على الشبكة و / أو البيئة الخارجية. ومع ذلك ، فإن المحرك غير مسؤول عن التنفيذ الفعلي للمهمة . لكل مهمة ذريةatomic task مجدولة من قبل المحرك للتنفيذ ، يتم تفويض مسؤولية تنفيذها بواسطة المحرك إلى ما يسمى بخدمة YAWL المخصصة. (+1) محاكاة العملية مدعومة بشكل كامل (+2) ملفات التوصيف المخزنة كلها بلاحقة Yawl(+1) ويمكن تصدير العملية لصورةPNG (+1) يدعم التنفيذ الأمثل (+1) تدعم ترجمة العملية الى نماذج قابلة للتنفيذ وبشكل اتوماتيكي(+2) كما أنها تدعم إعادة استخدام نماذج العمليات (+1) يمكن اعلام المستخدم بالأحداث أو المهام من خلال دعم الأداة لتقنيات pull فقط (+1) يدعم اسناد المستخدم للدور بشكل يدوي (+2)بالنسبة لمراقبة العمليات فإنها لا تدعم المراقبة الفنية والتقنية بينما تدعم BAM (+1) كما أنها تسمح بالتحكم بالعمليات

من خلال السماح بتغيير الموارد والأدوار للعمليات المنفذة وتدعم تغيير ميزان عبء العمل. لكنها تدعم تغيير قواعد العمل بشكل جزئي فقط (+1) تمتلك الأداة القدرة على التعامل مع الفشل جزئيا (+1) ومن الممكن استخدام نماذج عمليات قابلة للتعديل template حيث يدعم محرر YAWL تعريف نماذج-C) (YAWLوهو نموذج عملية قابلة للتكوين يقدم الفوائد التالية بالمقارنة بنماذج العمليات التقليدية •يزيل التكرار في عائلة العملية ، •يعزز التوحيد وإعادة استخدام الممارسات المثبتة ، • يمكن تهيئتها لتلبية متطلبات محددة ، مثل تلك الخاصة بمؤسسة أو منتج أو علامة تجارية جديدة. (+1) انه يدعم خدمات Web services و REST.للتفاعل مع الأنظمة والخدمات الأخرى (+2) يسمح باستيراد الهياكل التنظيمية من الأنظمة الخارجية للمؤسسة(+1) يدعم استخدام plug-ins مثل Wendy وغيرها لتحسين قدرات BPM حيث يسمح editor للمطورين بانتشاء plugins بحيث يمكن استخدامها داخل المحررeditor كما يمكن توصيل محرك التنفيذ الخاص بـyawl بمكونات إضافية خارجية لتقديم ميزات إضافية مثل السماح بمعالجة البيانات داخل التطبيقات الخارجية ، باستخدام أدوات الاتصال (مثل ارسال رسائل sms او ايميلات لمستخدمي المنصة) (+1) لا يدعم استخدام مؤشرات الأداء الرئيسية الخاصة بالعملية بشكل مباشر وانما يمكن لـ YAWL إنشاء سجلات العمليات بتنسيق .XES ثم يمكن تحليل سجلات العمليات هذه باستخدام أدوات خارجية لتنقيب عن العمليات القياسية مثل ProM (0) لا يدعم استخدام وتعريف و إدارة لوحة المعلومات dashboards (0) تدعم yawl : PostgreSQL و تم اختبار yawl بنجاح مع HypersonicSQL و MySQL و Oracle و Apache Derby (+1) تسمح yawl للمستخدم بإنشاء واجهات للمستخدم بشكل يدوي واتوماتيكي(+1)يمكن استخدام resource calendar management حيث يمكن عرض ادخالات التقويم للموارد واضافتها وتعديلها وازالتها بهدف السماح بتسجيل فترات عدم توفر الموارد البشرية أو غير البشرية و أخذها في الاعتبار (+2) كما أنها تدعم إدارة الإصدارات المختلفة من

العمليات بشكل فعّال (+1) تستخدم YAWL شبكات بتري في عمليات النمذجة فيتم ترميز قواعد العمل بشكل جزئي ضمن عمليات XOR وOR (+1)

المجموع:26

Camunda:[18] [5] [2] [1]

تدعم هذه الأداة المعيار القياسي BPMN2.0 بشكل كامل (+2) بالإضافة الى وجود محرك عملية مسؤول عن تنفيذ العمليات (+2) محاكاة العملية مدعومة بشكل كامل (+2) تسمح Camunda للمستخدم باستيراد نماذج BPMN باستخدام صيغة XML (+1) يمكن تصدير العملية لصورة(PNG,SVG)أو كملف BPMN XML قابل لإعادة الاستخدام (+2) لا يدعم التنفيذ الأمثل (0) تدعم ترجمة العملية الى نماذج قابلة للتنفيذ وبشكل اتوماتيكي(+2) كما أنها تدعم إعادة استخدام نماذج العمليات من خلال call activity التي تسمح بإعادة استخدام تعريف العملية حيث يتم استدعاؤها من عدة تعريفات عملية أخرى (+1) يمكن اعلام المستخدم بالأحداث أو المهام عبر الايميل كما أن الأداة تدعم تقنيات push/pull لإبلاغ المستخدم بمهامه(+2) تدعم اسناد المستخدم للدور بشكل يدوي (+2)بالنسبة لمراقبة العمليات فإنها لا تدعم المراقبة الفنية والتقنية و بشكل جزئي مبسّط تدعم BAM (+1) كما أنها تسمح بالتحكم بالعمليات من خلال السماح بتعديلها في الزمن الحقيقي حيث تدعم تغير المورد أو الدور لنشاط حالة instance العملية المنفذة وتدعم تغيير ميزان عبء العمل بين المستخدمين. بالنسبة لتغيير قواعد العمل فانه غير مدعوم بشكل مباشر ، ولكن يمكن تطويره (+1) تمتلك الأداة القدرة على التعامل مع الفشل من أجل المحرك و الأنشطة (+2) لا تدعم الأداة استخدام نماذج عمليات قابلة للتعديل template (0) انه يدعم خدمات Web services و REST.للتفاعل مع الأنظمة والخدمات الأخرى (+2) بالإضافة إلى ذلك ، فهو يدعم LDAP لإدارة الهياكل التنظيمية (+1) يدعم استخدام plug-ins لتحسين قدرات BPM (+1) لا يدعم استخدام مؤشرات الأداء الرئيسية الخاصة بالعملية (0) يدعم

استخدام وتعريف لوحة المعلومات dashboards (+1) تدعم التكامل مع database خارجية (+1) تدعم Camunda تعريف واستخدام واجهات رسومية من العمليات المصممة بشكل اتوماتيكي ويدوي (+1) إدراة التقويم غير مدعومة بالكامل لكن يمكن تطويرها(+1) كما أنها تدعم إدارة الإصدارات المختلفة من العمليات (+1) يسمح نظام Camunda بتعريف قواعد العمل باستخدام معيار DMN (+2)

المجموع 31

JBPM:[19] [5] [2] [1]

تدعم هذه الأداة المعيار القياسي BPMN2.0 بشكل كامل ولا تدعم لغات نمذجة أخرى (+2) بالإضافة الى وجود محرك عملية مسؤول عن تحقيق وتنفيذ العمليات (+2) محاكاة العملية مدعومة بشكل كامل (+2)تسمح JBPM للمستخدم باستيراد نماذج BPMN باستخدام صيغة XML بالإضافة الى صيغة JSON(+2) يمكن تصدير العملية لصورة(,PNG)أو كملف PDF(+2) لا تدعم التنفيذ الأمثل (0) تدعم ترجمة العملية الى نماذج قابلة للتنفيذ وبشكل اتوماتيكي(+2) كما أنها تدعم إعادة استخدام نماذج العمليات (+1)تدعم بشكل جزئي اعلام المستخدم بالأحداث أو المهام حيث تدعم تقنيات pull ويمكن تحقيق تقنيات push لإبلاغ المستخدم بمهامه(+1) تدعم اسناد المستخدم للدور بشكل يدوي (+2)بالنسبة لمراقبة العمليات فإنها لا تدعم المراقبة الفنية والتقنية و لكنها تدعم مراقبة تفصيلية للعمليات أي تدعم BAM (+1) تدعم تغير الدور لنشاط حالة instance العملية المنفذة وتدعم تغيير ميزان عبء العمل بين المستخدمين. بالنسبة لتغيير قواعد العمل فانه غير مدعوم (+1) تمتلك الأداة القدرة على التعامل مع الفشل من أجل المحرك و الأنشطة (+2) لا تدعم الأداة استخدام نماذج عمليات قابلة للتعديل template (0) تدعم التكامل مع الأنظمة والخدمات الأخرى حيث يمكن للتطبيقات

الاتصال بالمحرك الأساسي من خلال Java API أو كمجموعة من خدمات CDI وأيضاً عن بُعد من خلال REST و JMS API كما تدعم تقنية خدمة الويب Web service(+2)بالإضافة إلى ذلك ، فهي تدعم التكامل مع LDAP لإدارة الهياكل التنظيمية (+1) تدعم استخدام plug-ins لتحسين قدرات BPM (+1) تدعم استخدام مؤشرات الأداء الرئيسية الخاصة بالعملية (+1) تدعم استخدام وتعريف لوحة المعلومات dashboards (+1) تدعم التكامل مع databaseخارجية (+1) تدعم JBPM تعريف واستخدام واجهات رسومية من العمليات المصممة بشكل اتوماتيكي أو يدوي (+1) إدراة التقويم غير مدعومة (0) كما أنها تدعم إدارة الإصدارات المختلفة من العمليات (+1) يسمح نظام JBPM بتعريف قواعد العمل بعدة طرق مختلفة مثل(decision tables, specification of the rules) (+2)

المجموع 31

Processmaker:[22] [21] [20] [3] [2]

تدعم هذه الأداة المعيار القياسي BPMN2.0 (+2) بالإضافة الى وجود محرك عملية مسؤول عن تحقيق وتنفيذ العمليات (+2) محاكاة العملية غير مدعومة (0)تسمح ProcessMaker للمستخدم باستيراد النماذج باستخدام صيغة ProcessMaker(+1) يمكن تصدير العملية بصيغة Processmaker أيضا (+1) لا تدعم التنفيذ الأمثل (0) تدعم ترجمة العملية الى نماذج قابلة للتنفيذ وبشكل اتوماتيكي(+2) كما أنها تدعم إعادة استخدام نماذج العمليات (+1)تدعم اعلام المستخدم بالأحداث أو المهام حيث تدعم تقنيات push/ pull (+2)تدعم اسناد المستخدم للدور و بشكل يدوي (+2)بالنسبة لمراقبة العمليات فإنها لا تدعم المراقبة الفنية والتقنية و تدعم BAM بشكل جزئي(+1) حيث تدعم تغير الدور أو المورد لنشاط حالة instance العملية المنفذة وتدعم تغيير ميزان عبء العمل بين المستخدمين. بالنسبة لتغيير قواعد العمل فانه غير مدعوم (+1) تمتلك الأداة القدرة على الاستجابة لفشل النشاط. بواسطة المشغلات triggers(+2) لا تدعم

الأداة استخدام نماذج عمليات قابلة للتعديل template (0)تدعم ProcessMaker واجهات برمجة تطبيقات REST(REST API) وتقنيات خدمة الويب web services للاتصال بالأنظمة والخدمات الأخرى (+2) بالإضافة إلى ذلك ، يدعم الاتصال بـ LDAP و Active Directory لإدارة الهياكل التنظيمية (+1) تدعم استخدام plug-ins لتحسين قدرات BPM (+1) لا تدعم استخدام مؤشرات الأداء الرئيسية الخاصة بالعملية الا في النسخة التجارية (0) تدعم استخدام وتعريف لوحة المعلومات dashboards (+1)تدعم التكامل مع databaseخارجية (+1) تدعم تعريف واستخدام واجهات رسومية من العمليات المصممة بشكل اتوماتيكي أو يدوي (+1) ادراة التقويم مدعومة (+2)لا تدعم إدارة الإصدارات المختلفة من العمليات (0) بالنسبة لقواعد العمل فهي مدعومة بشكل جزئي حيث يدعم processmaker استخدام تعابير PHP (+1)

المجموع 27

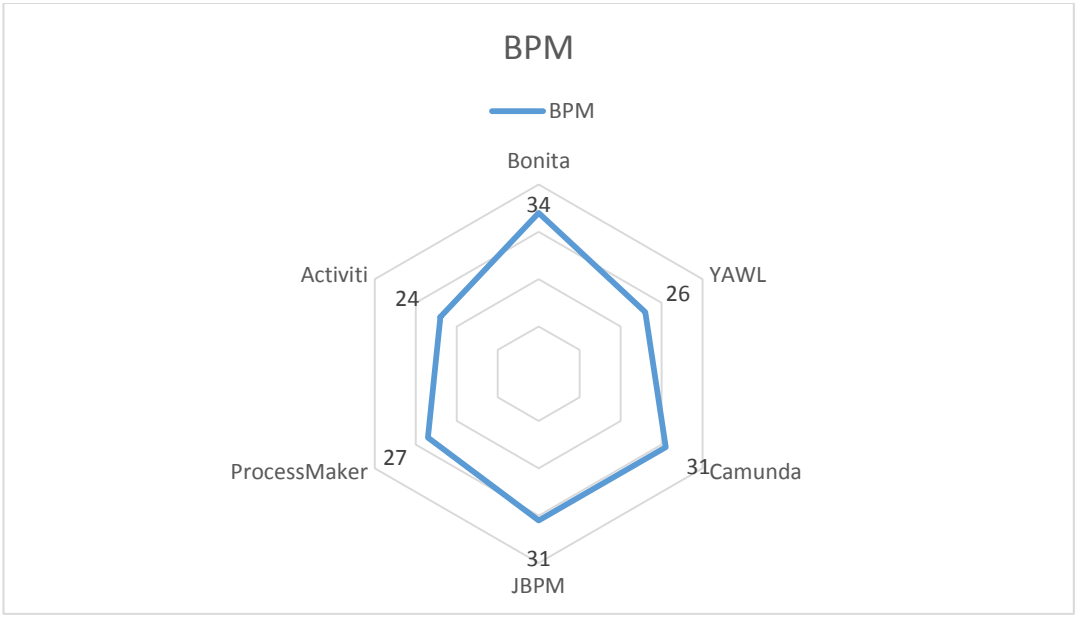
Activiti:[23] [22] [5] [2] [1]

تدعم هذه الأداة المعيار القياسي BPMN2.0 بشكل كامل ولا تدعم لغات نمذجة أخرى (+2) بالإضافة الى وجود محرك عملية مسؤول عن تحقيق وتنفيذ العمليات (+2) محاكاة العملية تحتاج لمكون إضافي plug-in "هو Crystal Ball ، حيث لا توجد إمكانية محاكاة تشغيل حقيقية في Activiti (+1) سمح Activiti للمستخدم باستيراد نماذج BPMN باستخدام صيغة XML (+1) يمكن تصدير العملية لصورة PNGأو كملف PDFبالإضافة الى XML(+2)لا تدعم الأداة التنفيذ الأمثل (0) تدعم ترجمة العملية الى نماذج قابلة للتنفيذ وبشكل اتوماتيكي (+2) لكنها لا تدعم إعادة استخدام نماذج العمليات (0)تدعم بشكل جزئي اعلام المستخدم بالأحداث أو المهام حيث تدعم تقنيات pull بشكل مباشر بينما تحتاج تقنيات push الى مزيد من التطوير (+1) تدعم اسناد المستخدم للدور بشكل يدوي (+2)بالنسبة لمراقبة العمليات فإنها لا تدعم المراقبة الفنية والتقنية و لا تدعم BAM حيث يمكن فقط استعراض معلومات مفصلة عن العمليات المنفذة (0) تدعم تغير

الدور أو المورد لنشاط حالة instance العملية المنفذة وتدعم تغيير ميزان عبء العمل بين المستخدمين. بالنسبة لتغيير قواعد العمل فانه غير مدعوم (+1) تمتلك الأداة القدرة على التعامل مع الفشل جزئيا من اجل النشاط و الاتصال باستعمال احداث الأخطاء error events والمعالجة exception (+1) لا تدعم الأداة استخدام نماذج عمليات قابلة للتعديل template (0) تدعم Web service و REST API من أجل الاتصال مع الأنظمة الأخرى (+2) بالإضافة إلى ذلك ، فهي تدعم التكامل مع LDAP لإدارة الهياكل التنظيمية (+1) تدعم استخدام plug–ins لتحسين قدرات BPM (+1) لا تدعم استخدام مؤشرات الأداء الرئيسية الخاصة بالعملية (0)تدعم استخدام وتعريف لوحة المعلومات dashboards (+1) تدعم التكامل مع databaseخارجية (+1) تدعم Activiti تعريف واستخدام واجهات رسومية من العمليات المصممة بشكل اتوماتيكي ويدوي (+1) إدراة التقويم غير مدعومة (0) كما أنها تدعم إدارة الإصدارات المختلفة من العمليات (+1) تدعم Activiti تعريف قواعد العمل بشكل جزئي(+1)

المجموع 24

المخطط التالي يلخص نتائج المقارنات التي توصلنا اليها:



الشكل (2) نتيجة المقارنات

6.النتائج:

الوضع الاقتصادي العالمي اليوم يتطلب من الشركات بذل المزيد من الجهد للتقليل من التكاليف و زيادة الأرباح الى أقصى حد لتكون أكثر قدرة على المنافسة و ذلك من خلال عمليات الدمج والاستحواذ المستمرة، والدافع المستمر لتحسين الجودة وتحسين العمليات التجارية BP وذلك من خلال استخدام BPM التي تؤمن فهم واستيعاب خبرة المنظمة، معرفة أداء الموظفين أثناء عمليات التنفيذ وأخيراً، عمليات المراقبة والقياس. هناك مجموعة واسعة من BPMS(تجارية ومفتوحة المصدر) لأتمتة إدارة العملية. كل نوع لديه مجموعة واسعة من الأسعار والوظائف. في هذا السياق، قد يكون اختيار حل ملموس مهمة صعبة ومرهقة ومعقدة. يتطلب الاختيار إجراء تحقيق معمق وتحليل لأكثر الحلول المتاحة شيوعاً. خلاف ذلك، قد يؤدي ذلك إلى اختيار منتج غير مناسب لسير العمل والذي لن يدعم BP بكفاءة في المؤسسة.[2]

قدمنا في هذه المقالة عرض لبعض أهم المعايير المستخدمة في تقييم BPMS ثم قمنا بإجراء مقارنة بين بعض أشهر أدوات BPMS ذات الإصدار المفتوح والشائع استخدامها في الشركات مما يساعد في التعرف على أهم مزايا BPMS الحالية الموجودة في الإصدار المفتوح والتي يمكن أن توجه التحقيقات المستقبلية. حيث لاحظنا تفوق Bonita تليها JBPM و Camunda وفي المركز الأخير Activiti. حيث تعتبر Bonitaخيار جيدا للشركات بعد تفوقها في أغلب المعايير المستخدمة للمقارنة بالإضافة الى سهولة استخدامها وتعلمها من قبل المستخدمين بفضل واجهاتها البسيطة وعدم الحاجة الى الخبرة العميقة في البرمجة. من الممكن أن تتغير النتائج التي توصلنا اليها بإضافة معايير أخرى أو بتحسين المعايير التي تعاني من ضعف من قبل مزودي BPM حيث أن المنافسة قائمة وعمليات التطوير والتحسين على أدوات BPM وإطلاق الإصدارات مستمرة على مدار السنة.

7. الافاق المستقبلية:

يمكن للمؤسسات استخدام هذا التقييم لدعم عمليات اختيار نظام إدارة العمليات التجارية الذي يلبي متطلباتها على أفضل وجه. توفر هذه المقالة نقطة انطلاق لإجراء تقييمات مخصصة (على سبيل المثال، إضافة / إزالة معيار مثل الأمان / السحابة cloud / دعم أجهزة الموبايل أو تقييم على أساس المراحل أو تقييم BPMSs أخرى). يمكن استخدام نتائج هذه الدراسة للمقارنة بين الأدوات المقترحة وأدوات أخرى والعمل مستقبلاً على تطوير أداة لأتمتة عملية اختيار BPMالأنسب للمؤسسة.

8.المراجع:

[1] Ardzevičiūtė, D., & Kvedaras, E. (2017). Evaluation of business process management systems.

[2] Meidan, A., García-García, J. A., Escalona, M. J., & Ramos, I. (2017). A survey on business processes management suites.3 Computer Standards & Interfaces, 51, 71-86.

[3] Naytah, A. H., & Alkazemi, B. Y. (2018). Exploring the Characteristics of Business Process Modeling Solutions in the Saudi Market. Journal of Software Engineering and Applications, 11(11), 521-536

[4] Pereira, J. L., & Silva, D. (2016). Business process modeling languages: A comparative framework. In New Advances in Information Systems and Technologies (pp. 619-628). Springer, Cham.

[5] Robert Waszkowski.,& Arkadiusz Rafał Kowalski.(2017). Comparative analysis of Business Process Management frameworks.

[6] Papademetriou, R., & Karras, D. A. (2016, June). An in depth comparative analysis of software tools for modelling and simulating business processes. In 6th International Symposium on Business

Modelling and Software Design: BMSD 2016 (pp. 124-133). SciTePress.

[7] Nafie, F. M. (2016). The comparison of the workflow management systems Bizagi, Arabdox, Bonita and Joget. International Journal of Engineering Science Invention, 5(5), 26-31.

[8] Nie, P., Seppälä, R., & Hafrén, M. (2007). Open source power on BPM-a comparison JBoss jBPM and Intalio BPMS. T-86.5161 and Intalio BPMS. T-86.5161 Special Course in Information Systems Integration

[9] https://documentation.bonitasoft.com/bonita/7.11/

[10] https://documentation.bonitasoft.com/bonita/7.12/

[11] https://documentation.bonitasoft.com/bonita/2021.1/live-update#toc9

[12] https://documentation.bonitasoft.com/bonita/7.11/database-configuration

[13] Adams, M., Hense, A. V., & ter Hofstede, A. H. (2020). YAWL: An open source Business Process Management System from science for science. SoftwareX, 12, 100576

[14] Sarkar, I. N. (Ed.). (2013). Methods in biomedical informatics: a pragmatic approach. Academic Press

[15] YAWL - User Manual.V2.0.(2009)

[16] YAWL – User Manual.V4.1.(2016)

[17] YAWL – Technical Manual V4.3.(2020)

[18] https://docs.camunda.org/

[19] https://docs.jboss.org/jbpm/release/

[20] https://wiki.processmaker.com/

[21] https://processmaker.gitbook.io/processmaker/

[22] Vallejo Gordillo, G. A., & Zambrano Ochoa, V. X. (2015). Implementación de Procesos de Negocio para la Dirección del Parque Nacional Galápagos, Utilizando BPMN 2.0 y Workflow Joget.

[23] https://www.activiti.org/userguide/#_get_the_extra_editor_source_for_a_model

دراسة قابلية لحام خليطة الألمنيوم (AL 5056) غير القابلة للمعالجة الحرارية باستخدام اختبار هولد كروفت

الباحث: م. حسام برهوم

مركز الدراسات والبحوث العلمية

الملخص:

تعرض هذه المقالة نتائج اختبار قابلية لحام خليطة الألمنيوم غير القابلة للمعالجة الحرارية AL5056 ، التي تدخل في كثير من التطبيقات الصناعية والهندسية الهامة. جرى تنفيذ هذا البحث في مخبر اللحام التابع لقسم الميكانيك في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا في دمشق. اعتمد في هذه المقالة على اختبار هولدكروفت HOULDCROFT ، لتقييم حساسية المعدن الأساس، وتأثير نوع معدن الملء المستخدم، وطريقة اللحام على هذه الحساسية. استخدم من أجل ذلك معدني الملء ER4043 و ER5356. تم تنفيذ الإختبار باستخدام طريقتي اللحام (TIG) Tungsten Inner Gas و Cold Metal Transfer (CMT).

أظهرت نتائج إختبار هولدكروفت أن حساسية الخليطة (Al5056) للتشققات على الساخن باستخدام طريقة الـ TIG تكون أفضل (أقل) ما يمكن مع معدن الملء 5356 (A=5.3%). لوحظ تزايد حساسية الخليطة عند اللحام بطريقة الـ CMT مع ازدياد تيار اللحام، وتم الحصول على أفضل النتائج باستخدام معدن الملء ER5356 وطريقة الـ CMT.

كلمات مفتاحية:

Al5056 ، قابلية اللحام ، اختبار Houldcroft ، لحام TIG ، لحام CMT.

Study of the weldability of Non-heat treatable AL5056 by Hould Croft Test

Abstract:

This article presents results of the weldability test of Non-heat treatment aluminum alloy (AL5056) ,which used often in a lot of important manufacturing and engineering applications. The research was conducted at welding laboratory of Higher Institute for applied sciences and technology in Damascus. In this article, Houldcroft (fishbone) test was used to evaluate the susceptibility of the base metal to the hot cracking, and influence of filler wire and welding machine selection on this susceptibility. It was used for that two types of filler metal: ER4043 and ER5356. The test was executed by using two welding machine TIG and CMT. The results showed that the best susceptibility was achieved for TIG machine by using ER5356 filler metal (A=5.3%). For CMT welding ,we note that susceptibility rises as current increase, so the best results were achieved by using CMT machine, and filler metal ER5356.

Keywords: Al5056, weldability, Hot cracks, Houldcroft test, TIG, CMT welding.

1. مقدمة:

تتمتع خلائط الألمنيوم بشكل عام، والخليطة AlMg5(AL5056) بشكل خاص بالكثير من المزايا والخواص الميكانيكية والفيزيائية والتكنولوجية الجيدة، مما يجعلها شائعة الاستخدام في الكثير من التطبيقات الهامة، وخاصة في صناعة الطائرات. تعتبر ظاهرة التشققات على الساخن أثناء اللحام من أهم المشكلات التي يتوجب معالجتها.

تظهر هذه المقالة جانباً من الدراسة والبحث الذي تم التطرق فيهما إلى هذه الظاهرة، وكيفية تجنبها ومعالجتها.

2. المعدن الأساس ومعدن الملء:

إن المعدن الأساس المستخدم في الاختبار هو خليطة الألمنيوم AlMg5 التي تنتمي للمجموعة الخامسة (5xxx) من خلائط الألمنيوم الرئيسية، وهي خليطة غير قابلة للمعالجة الحرارية، تتشكل على شكل ألواح مستطيلة الشكل أبعادها (200 x 100 cm) وسماكة (2 mm) .

يوضح الجدول رقم (1) التركيب الكيميائي لها كما ورد في التحليل الطيفي (AAS) Atomic Absorotion Spectroscopy الذي أجري على عينات منها.

ويبين الجدول (2): الخواص الميكانيكية لهذه الخليطة وفقاً لاختبارات الشد والقساوة التي أجريت على عينات منها وفقاً للمعيارية ASTM-E8 و ASTM-E92 [1,2].

ومن معادن الملء المناسبة للحام هذه الخليطة والتي تم اختيارها تبعاً للمعيارية ASM [3]، هي (ER4043) و (ER5356)، ويبين الجدول (3) التركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية لكل منها تبعاً للشركة التجارية المصنعة ESAB.

الجدول (1): التركيب الكيميائي للخليطة (AL5056) وفقاً للتحليل الطيفي AAS

Chemical elements	Mg	Mn	Si	Cu	Fe	Ti	Cr	Zn	Ni	Al
% by mass	4.6	0.51	0.3	0.09	0.33	Max 0.05	0.06	0.015	0.005	BAL

الجدول (2): الخواص الميكانيكية للخليطة AlMg5(AL5056)

Mechanical properties	Yield Strength $[N/mm^2]$	Tensile Strength $[N/mm^2]$	Elongation %	Hardness HV
	155	304	22	78

الجدول (3) :التركيب الكيميائي وخواص معادن الملء المستخدمة

AlSi5(4043)				
Si 5.0%	Mn <0.05%	Fe <0.60%	Zn <0.10%	Al Rest
Tensile strength-R_m 165 μp_a		Yield dtrength- $R_{p0.2}$ 55 μp_a		Ductility 18%
AlMg5(5356)				
Si <0.25%	Mn <0.20%	Fe <0.40%	Mg 5.0%	Al Rest
Tensile strength-R_m 265A		Yield dtrength- $R_{p0.2}$ 120 μp_a		Ductility 26%

3. التشققات على الساخن:

تعتبر التشققات على الساخن مشكلة أساسية في عملية لحام الألمنيوم، وتنتج عن التأثير المشترك لكل من العوامل الحرارية (مثل الدخل الحراري، ومعدل التبريد)، والعوامل الميكانيكية (درجة التقييد) التي تؤثر على توزع الانفعال المتشكل حول الوصلة، إضافة إلى العوامل الميتالورجية التي تحدد حساسية الخليطة للتشققات. يعتقد بأن الحساسية العالية لهذا النوع من التشققات في خلائط الألمنيوم تعود بشكل جزئي لمعامل الانكماش الكبير فيها عند التصلب، حيث تبلغ نسبة الانكماش الحجمي 6% في حين أنها للحديد حوالي 2%. تصنف التشققات على الساخن إلى الأنواع التالية:

- تشققات انخفاض اللدونة (DDC).
- التشققات السائلة (LC).
- تشققات التصلب (SC) [3].

يمكن أن يتشكل في معدن الدرزة الملحومة (WM) ما يسمى بتشققات التصلب (SC)، في حين يمكن أن يتشكل في المنطقة المتأثرة حرارياً (HAZ) ما يسمى بالتشققات السائلة (LC) [4].

4. اختبارات التشققات على الساخن:

هناك العديد من الاختبارات التي تعنى بدراسة التشققات على الساخن وآلية تشكلها في الوصلات اللحامية وأنواعها والأسباب التي تؤدي إلى نشوءها في الخلائط المعدنية. كما تهتم في تقييم المعدن الأساس (BM) وأيضاً معادن الملء (FM)، من حيث حساسيتها

للتشققات على الساخن . تم شرح هذه الاختبارات بشكل مفصل في العديد من الدراسات، ومن أهمها: اختبار Houldcroft، واختبار Varestraint، واختبار Lehigh، واختبار T-joint [5].

4.1 اختبار هولدكروفت: يعد هذا الإختبار من أهم الاختبارات التي تعنى بتقييم حساسية الخلائط المعدنية التي تتراوح سماكتها بين (2-3mm) للتشققات على الساخن، والتي يتم لحامها بإحدى طرق اللحام GTAW أو GMAW، وهو من أكثر الاختبارات استخداماً، ويشبه كثيراً اختبار Lehigh من ناحية عينة الاختبار التي تتألف من مجموعة من الأخاديد الجانبية المتوازية والعمودية على خط اللحام المنطبق على محور العينة، تتزايد أطوال هذه الأخاديد بشكل تدريجي، بحيث تؤدي إلى انخفاض جساءة العينة، كما هو مبين بالشكل (1). يتم البدء بعملية اللحام على سطح العينة من الجهة ذات الأخاديد القصيرة والجساءة الكبيرة، مع التأكيد على تحقيق وصلات لحامية بتغلغل كامل.

يبدأ تشكل الشق في بداية الوصلة حيث يحصل انخفاض شديد في مقاومة المعدن، ويستمر بالانتشار على طول خط اللحام، ولكن تزايد أطوال الأخاديد الجانبية للعينة يؤدي إلى تناقص جساءة العينة وارتفاع تدريجي في مقاومتها لتشكل التشققات وبالتالي فإن الشق الذي تشكل في بداية الوصلة سيصل إلى نقطة ويتوقف عندها.

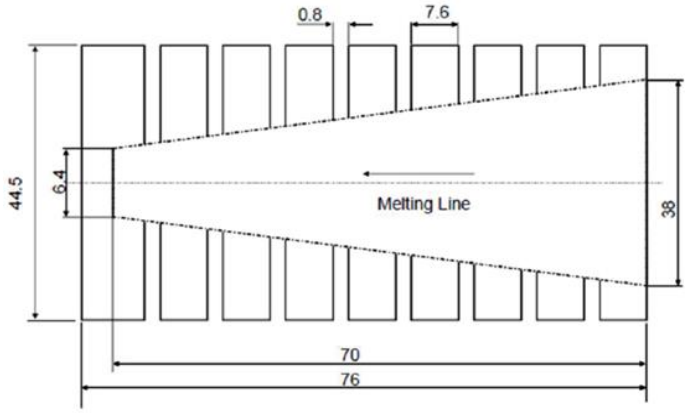
يقاس طول الشق المتشكل (الشكل 2)، ويحسب معدل حساسية الخليطة المعدنية (A%) للتشققات على الساخن وفق المعادلة التالية:

$$(1)\ A = [L_t / L_0] \times 100\ (\%) \qquad [2]$$

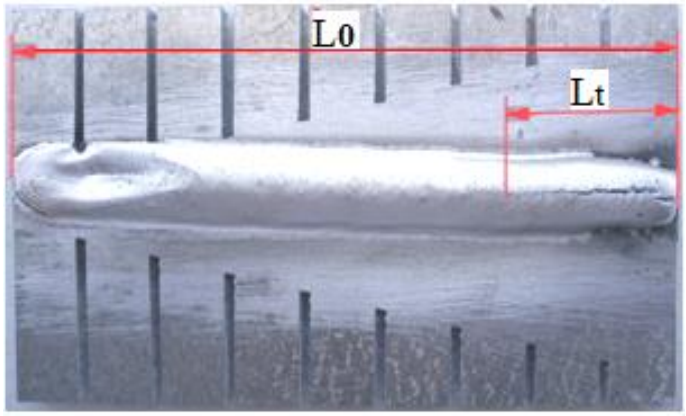
حيث : A : حساسية التشقق.

L_t: طول الشق (mm).

L_o: طول الدرزة (mm).



الشكل (1) : أبعاد عينة الاختبار وأطوال الأخاديد في طريقة هولدكروف



الشكل (2): عينة اختبار Houldcroft محدد عليها طول الشق وطول الدرزة المنفذة

5. التجهيزات والأدوات:

ينفذ هذا الإختبار في مركز تقانات اللحام في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، ومن التجهيزات التي تم استخدامها في هذا الإختبار (الشكل 3):

- آلة اللحام Trans Senargic CMT.
- آلة اللحام ESAB Origo TIG 3000i.
- عربة اللحام WeldyCar NV.
- طاولة اللحام، مثبتات، فرشاة ستانلس خاصة لتنظيف العينة.

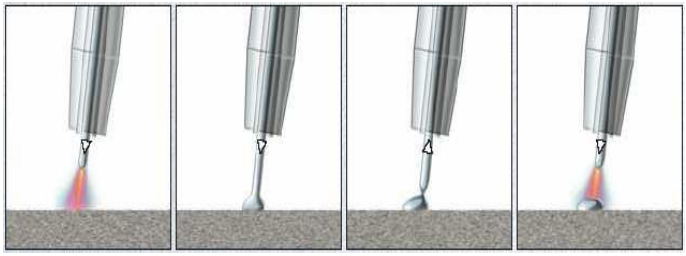
الشكل (3): التجهيزات المستخدمة في اختبار Houldcroft

5.1. آلة اللحام CMT:

تم تطوير العديد من تقنيات اللحام خلال العقود الأخيرة، وكان أهمها تقنيات الـ MIG والـ TIG، التي استخدمت في الكثير من الصناعات، لكن بقيت بعض المشاكل التي تخفض من فعالية اللحام وخاصة في خلائط الألمنيوم، لذلك طورت شركة Fronius تقنية لحام

الـ MIG ، واخترعت في عام 2004 تقنية انتقال المعدن بدخل حراري معتدل (على البارد) CMT.

تعتمد هذه الآلة طريقة جديدة متكاملة لفصل قطرات المعدن المنصهر عن سلك الإلكترود خلال دارة القصر، وتتميز عن غيرها من آلات اللحام بمبدأ عملها حيث يتقدم السلك نحو الملحومة حتى يحدث قصر بالدارة، وعند تلك اللحظة تُعكس حركة السلك ويُسحب السلك للخلف، وعندما تُفتح دارة القصر من جديد، تُعكس حركة السلك مرة أخرى، ويتقدم السلك نحو الملحومة وتبدأ العملية مرة أخرى (الشكل 4).



الشكل (4): المراحل الرئيسية في عملية الـCMT

6. خطوات تنفيذ هذا الإختبار:

تعتمد في كلتا حالتي الاختبار الخطوات التالية :

1 – قص عينات الإختبار وتحضيرها: يجري قصها باستخدام الليزر، ويعتمد تصميم عينة الاختبار وأبعادهاعلى سماكتها وعلى تقنية اللحام المتبعة تبعاً للمراجع [5,3] .

2 – يتم إزالة طبقة الأكسيد المتشكلة على سطح العينات باستخدام فرشاة ستانلس خاصة.

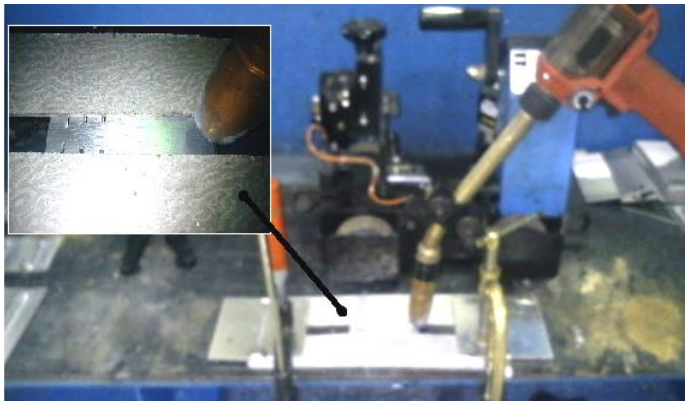
3 – تنظف العينات من الأوساخ والشحوم التي قد تتواجد عليها وذلك بمسحها جيداً بقطعة قماش مبللة بمادة الكحول التجاري.

4– تثبت العينة على طاولة اختبار باستخدام مقامط التثبيت كما بالشكل (5).

5 – اختيار معدن ملء مناسب.

6 – إعداد عربة اللحام وتثبيت التورش عليها وتحديد سرعة اللحام واتجاه حركتها.

7 – إعداد آلة اللحام للاختبار واختيار المتحولات الثابتة والمتغيرة الموصى بها [6].



الشكل (5) : طريقة تثبيت عينة الاختبار

7. إجراء الإختبار:

7.1. إجراء الإختبار على وصلات لحامية منفذة بطريقة اللحام TIG:

جرى إعداد الآلة لتنفيذ اللحام بتيار Ac و بشكل نبضي.

تم اختيار سرعة لحام مناسبة لاختبار هولدكروفت من أجل عينات ذات سماكة 2 mm وذلك تبعاً للقيم المرجعية (30 cm/min) المأخوذة من المراجع [3,6] .

وتم اختيار مجال متحولات اللحام بتنفيذ مجموعة من الوصلات اللحامية على عينات خاصة جانبية مع تغيير كل من شدة تيار اللحام ضمن المجال [A 110–70]، والجهد ضمن المجال [17V–12] وتدفق الغاز ضمن المجال [L/min 19–15] حتى تتحقق وصلة لحامية بتغلغل كامل.

يوضح الجدول (4) متحولات اللحام المناسبة للاختبار

الجدول (4) : المتحولات المستخدمة في الاختبار (طريقة اللحام TIG)

شدة التيار [A]	جهد اللحام [V]	سرعة اللحام [cm/min]	تدفق الغاز [L/min]	سماكة العينة [mm]	قطر الكترود التنغستن [mm]	طول القوس الكهربائي [mm]
90	15	30	17	2.0	1.2	3.0

يبين الشكل (6) إحدى العينات التي خضعت للاختبار بطريقة اللحام TIG ويظهر التشقق بشكل واضح.

الشكل (6): وصلة لحامية خاضعة لاختبار Houldcroft (آلة اللحام الـ TIG)

7.2 إجراء الاختبار على وصلات لحامية منفذة بطريقة اللحام CMT :

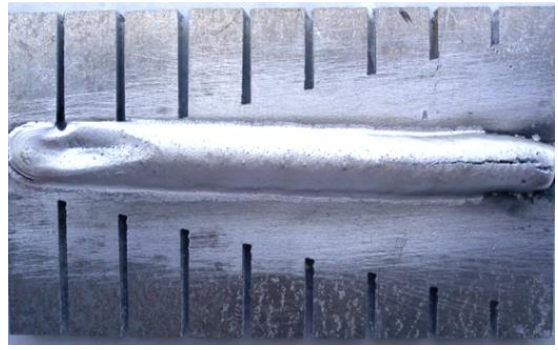
تم إعداد آلة اللحام التي تعمل بتقنية الـ CMT واستخدمت القطبية (+)DC للحصول على تأثير نظيف للقوس الملائم (تيار مستمر و الكترود موجب).

وحددت المتحولات الثابتة وفق المرجعية [3] كما يلي:

- الكترود اللحام بقطر ϕ1.2mm .
- غاز الحماية المستخدم هو غاز الأرغون بتدفق 17 L/min .
- قطر فوهة التورش ϕ16 mm.
- المسافة بين فوهة الغاز وسطح المشغولة 13 mm .
- زاوية المسير 15° – زاوية العمل 90°

تم تحديد سرعة عربة اللحام تبعاً للمراجع [3,6] وقيمتها 55 cm/min، أما متحولات اللحام الأخرى، التي تم اختيارها، والتي تحقق تغلغل كامل فهي موضحة بالجدول (5) .

يبين الشكل (7) وصلة لحامية خضعت للاختبار بطريقة الـ CMT.



الشكل (7): وصلة لحامية خضعت للاختبار بطريقة اللحام CMT

الجدول (5) :متحولات اللحام المستخدمة بالاختبار بطريقة الـ CMT

العينة	التيار [A]	الجهد [V]	سرعة اللحام [cm/min]
D	70	11.0	55
E	85	12.6	55
F	100	13.0	55

8. استعراض نتائج الاختبار وتحليلها:

أُجري الإختبار باستخدام آلة الـ TIG على مجموعة من تسع عينات على ثلاث مراحل:

المرحلة الأولى : دون استخدام معدن ملء (ثلاث تكرارات).

المرحلة الثانية :

باستخدام معدن ملء ينتمي لخليطة الألمنيوم AlSi5(ER4043) (ثلاث تكرارات).

المرحلة الثالثة :

باستخدام معدن ملء ينتمي لخليطة الألمنيوم AlMg5(ER5356) (ثلاث تكرارات).

تم استخدام متحولات اللحام نفسها من أجل كل التجارب ماعدا معدن الملء الذي يتغير.

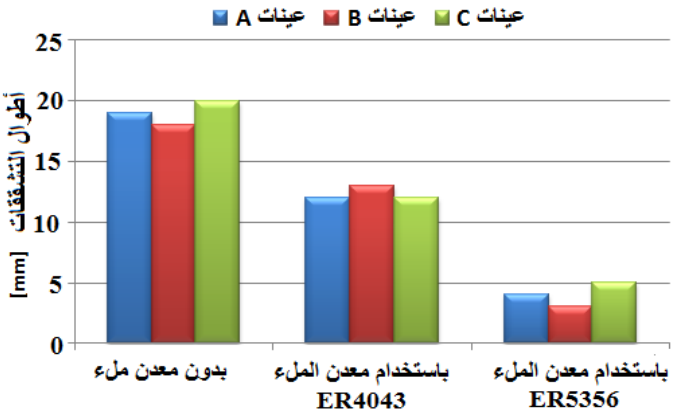
كما أجري الإختبار باستخدام آلة الـ CMT على مجموعتين من العينات كل منها مؤلفة من (9) عينات، خضعت الأولى للاختبار باستخدام معدن الملء (ER4043)، والثانية باستخدام معدن الملء (ER5356)، ثلاث تكرارات عند كل قيمة للتيار.

8.1. نتائج الاختبار باستخدام آلة الـ TIG:

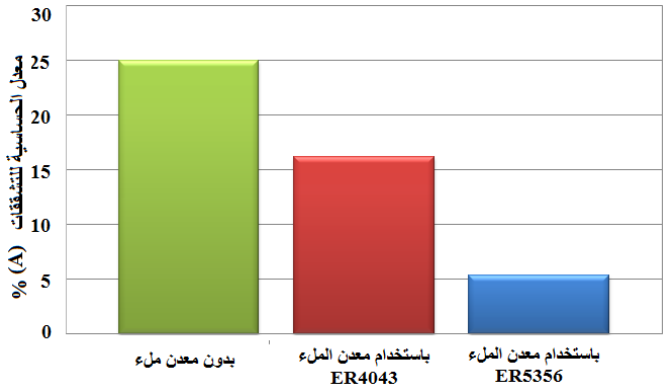
يوضح الجدول (6) نتائج القياس لأطوال التشققات المتشكلة، إضافةً لقيم معدل حساسية الخليطة المدروسة للتشققات التي تم حسابها باستخدام العلاقة (1). وبناءً على هذه النتائج تم إنشاء المخططين الموضحين بالشكلين (8) و (9).

الجدول (6) : نتائج اختبار هولدكروفت المنفذ بطريقة اللحام TIG

العينة	معدن الملء	طول الشق [mm]	متوسط طول الشق [mm]	نسبة الحساسية للتشقق [%]
A1	دون معدن ملء	20	19.0	25.0
B1		18		
C1		19		
A2	AlSi5 (ER4043)	12	12.3	16.2
B2		13		
C2		12		
A3	AlMg5 (ER5356)	5	4.0	5.3
B2		3		
C3		4		



الشكل (8): أطوال الشقوق المتشكلة (باستخدام طريقة الـ TIG) وتأثير معدن الملء عليها



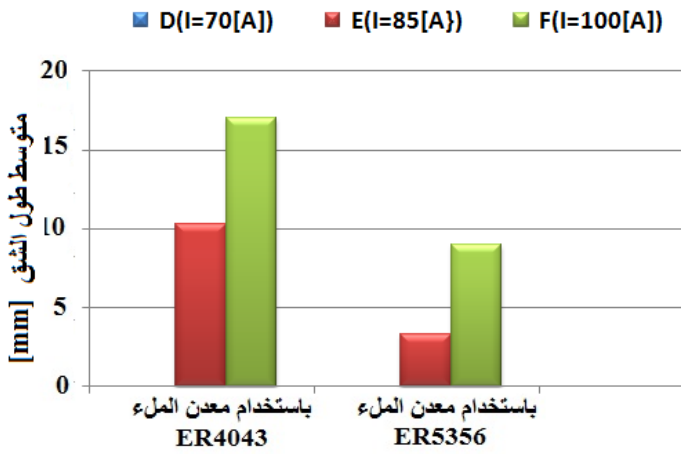
الشكل (9) معدل حساسية الخليطة المدروسة للتشققات على الساخن (باستخدام طريقة الـ TIG) وتأثير معدن الملء عليها

8.2. نتائج الاختبار بطريقة الـ CMT:

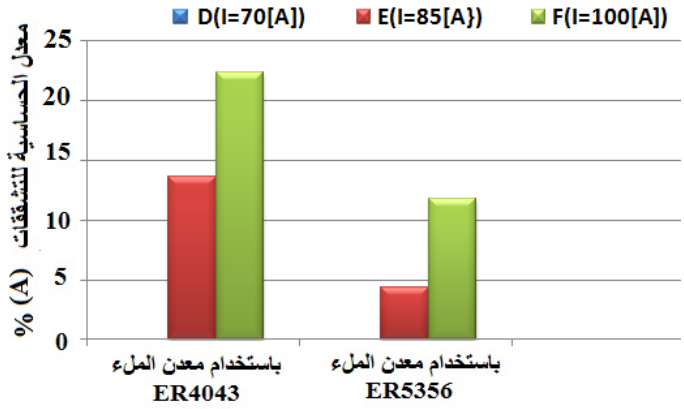
يوضح الجدول (7) نتائج الاختبار باستخدام طريقة اللحام CMT، كما يبين الشكلين (10) و (11) مخططين لأطوال الشقوق المتشكلة ومعدل حساسية الخليطة (Al5056) للتشققات وتأثير معدن الملء على كل منها.

الجدول (7): نتائج اختبار هولدكروفت بطريقة اللحام CMT

العينة	تيار اللحام [A]	طول الشق [mm]	متوسط طول الشق [mm]	معدل الحساسية للتشقق	العينة	تيار اللحام [A]	طول الشق [mm]	متوسط طول الشق [mm]	معدل الحساسية للتشقق
معدن الملء: ER4043					معدن الملء: ER5356				
D11	70	0	0	0	D21	70	0	0	0
D12		0			D22		0		
D13		0			D23		0		
E11	85	9	10.3	13.6	E21	85	3	3.3	4.4
E12		12			E22		4		
E13		10			E23		3		
F11	100	17	17.0	22.4	F21	100	10	9.0	11.8
F12		18			F22		8		
F13		16			F23		9		



الشكل (10): متوسط أطوال الشقوق المتشكلة (بطريقة الـ CMT) وتأثير معدن الملء عليها



الشكل (11):معدل حساسية الخليطة المدروسة للتشققات على الساخن (باستخدام طريقة الـ CMT) وتأثير معدن الملء عليها

9. مناقشة النتائج:

9.1. مناقشة نتائج الاختبار المنفذ بطريقة اللحام TIG:

أظهرت النتائج أن معدل حساسية المعدن الأساس (Al5056) عند تنفيذ الاختبار دون معدن ملء هي (A= 25%)، تقع هذه القيمة ضمن المجال المقبول (A< 35%). أي أن حساسية المعدن الأساس للتشققات على الساخن منخفضة.

تتوافق النتيجة السابقة التي حصلنا عليها مع القيم المرجعية لاختبار هولدكروفت التي بلغت (A=22%) [6].

يلاحظ من جهة أخرى انخفاض معدل الحساسية باستخدام معدن ملء إلى القيمة (A=16.2%) عند استخدام معدن الملء (ER4043) وإلى القيمة (A=5.3%) عند استخدام (ER5356) كمعدن ملء، أي أن اللحام باستخدام معدن ملء يقلل من خطر التشققات على الساخن في الوصلات الملحومة، وكلما كان التركيب الكيميائي لمعدن الملء أقرب للتركيب الكيميائي للخليطة كانت مقاومة المعدن لظهور التشققات أكبر.

9.2 مناقشة نتائج الاختبار المنفذ بطريقة اللحام CMT:

أظهرت النتائج في هذه الحالة عدم تشكل أي تشققات عند قيم صغيرة لشدة التيار (I=70A).

تتزايد حساسية الخليطة مع ارتفاع شدة التيار، فمن أجل تيار (I=85A) كان معدل الحساسية (A=13.6%) من أجل معدن الملء (ER4043)، وأصبح (A=4.4%) عند استخدام معدن الملء (ER5356).

أظهرت النتائج وجود تفاوت في معدل الحساسية المقاسة عند استخدام طريقتي لحام مختلفتين، حيث كانت الوصلات اللحامية التي خضعت للاختبار باستخدام طريقة الـ TIG أكثر حساسية للتشققات من الوصلات التي خضعت للاختبار باستخدام طريقة الـ CMT، وهذا يدل على تأثير طريقة اللحام المستخدمة في حساسية الخليطة للتشققات الساخنة.

كانت أفضل النتائج التجريبية التي حصلنا عليها عند استخدام معدن الملء (ER5356)، وطريقة اللحام CMT، وهذا يتوافق مع ما ورد في العديد من المراجع مثل الـ ASM [3]، التي تبين بأن معدن الملء (ER5356) هو المعدن المناسب في لحام الخليطة (Al5056).

يمكن تفسير ذلك بأن التركيب الكيميائي لمعدن الملء مشابه للتركيب الكيميائي للمعدن الأساس والذي يتميز بنسبة كبيرة لعنصر المغنيزيوم الذي له دور هام في مقاومة المعدن لتشكل التشققات على الساخن إضافة إلى الدخل الحراري المنخفض الذي يتحقق بطريقة الـ CMT والذي يقلل من الانكماش الحراري الحاصل أثناء تصلب حوض اللحام، كما أن له دور هام في بقاء حجم الحبيبات المتشكلة أثناء التصلب صغيراً نسبياً مما ينعكس ايجاباً على مقاومة المعدن لتشكل التشققات الصلبة.

10. الاستنتاجات:

جرى في هذه المقالة توظيف اختبار هولدكروفت في تقييم حساسية خليطة الألمنيوم AlMg5(AL5056) للتشققات على الساخن أثناء اللحام، واستخدم من أجل ذلك آلتي لحام ومعدني ملء، ويمكن من خلال استعراض النتائج التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

1- تبين باستخدام اختبار هولدكروفت، وباتباع طريقة للحام الـ TIG ، أن التشققات المتشكلة كانت أطول ومعدل الحساسية أكبر نسبياً مقارنة بالتشققات التي تشكلت بطريقة الـ CMT.

2- يقع معدل حساسية الخليطة ضمن الحدود المقبولة حيث بلغ هذا المعدل دون استخدام معدن ملء (25%)، و يمكن تخفيضه باستخدام معدن ملء مناسب أثناء اللحام، أي أن هذه الخليطة مقاومة لتشكل التشققات على الساخن عند لحامها.

3- إن أفضل معدن ملء يعطي أفضل (أقل) حساسية (مقاومة أعلى) لظهور التشققات على الساخن هو (ER5356)، حيث بلغ معدل الحساسية:

(A_{TIG} = 5.3%, A_{CMT}= 11.8%).

4- تعد طريقة اللحام CMT أفضل من طريقة اللحام TIG لأنها تقلل من خطر تشكل التشققات على الساخن، ويعزى ذلك لمواصفاتها المتطورة ومبدأ عملها الذي يقلل من الدخل الحراري المقدم أثناء اللحام.

5- في ضوء الاستنتاجات السابقة يوصى بلحام خليطة الألمنيوم Al5056 باستخدام آلات لحام متخصصة بخلائط الألمنيوم، والتي تمثل طريقة الـ

CMT أهمها وأحدثها، وباستخدام معدن الملء ER5356 الأقرب بتركيبه الكيميائي للتركيب الكيميائي للخليطة المدروسة والذي يتميز بالنسبة العالية لعنصر المغنيزيوم (Mg:5%) وذلك تجنباً لخطر التشققات على الساخن.

المراجع:

[1] ASTM , May 2004 - Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials1, E8.An American National Standard, United State, P24.

[2] ASTM , April 2003 - Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials1,E92. An American National Standard, United State, P9.

[3] ASM HandBook,1993- Welding- Brazing and Soldering . ASM International , Vol 6 United State , P 2873.

[4] Kolarik, L. et al. Houldcroft weldability test of aluminum alloy EN AW 6082 T6, Proceeding of IMEF 2011, CULS , Prague, 2011, (in Czech)

[5] AWS B4.0:2007-, Standard Methods for Mechanical Testing of Welds. An American National Satndard, United State, P2459.

[6] Matsuda, F., Nakata, K., Harada, S.: Moving Characteristics of Weld Edges during Solidification in Relation to Solidification Cracking in GTA Weld of Aluminum Alloy Thin Sheet.