

## التحويل المويجي المستمر في الكشف الآلي عن الأعطال

علي محمد عبد الشاهد - قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية/ كلية الهندسة / جامعة مصراتة  
 زبيدة سليم المنتصر - قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية/ كلية الهندسة / جامعة مصراتة  
 إبراهيم أحمد بادي - قسم الهندسة الميكانيكية/ كلية الهندسة / جامعة مصراتة

### المستخلص

يعد التحويل المويجي من التحولات الحديثة والمهمة التي استخدمها الباحثون في كثير من التطبيقات لما له من مزايا وخواص تعتمد على التحليل للإشارة والتي تؤدي دوراً كبيراً في معالجة الإشارة الرقمية. كما أن خاصيته في كونه يحلل الإشارة إلى مستويات متعددة التفاصيل وفي كلا المجالين الزمني والترددية تعتبر من أهم خصائصه التي استخدمت في مجال معالجة الإشارة الرقمية بشكل عام والتشخيص بشكل خاص. تواجه المحركات شتى أنواع الإجهادات خلال ظروف تشغيلها، لذلك فإن رصد وتشخيص أعطالها قد أصبح من الاحتياجات المهمة وذلك من أجل تجنب الأعطال الكارثية. إن التحويل المويجي يمثل تحليلاً متغيراً من ناحية تقسيم نافذة التردد بالنسبة إلى الزمن، مما يعطيه قوة في التحليل مقارنة مع تحويل فورير، وملائمته للعديد من التطبيقات. في الآونة الأخيرة أصبح الكشف عن الأعطال في العديد من المجالات عملية هامة للمنظومات البسيطة والمعقدة. تم استخدام طريقة التحويل المويجي المستمر لحل المحدودية في تحويلات فورير. ولتوضيح الطريقة المقترحة تم اختبار التحويل المويجي المستمر على ضاغط هواء، أجريت عليه عدد ثمان تجارب (تجربة سليمة وعدد سبع تجارب تحتوي على أعطال مختلفة). تفيد النتائج المتحصل عليها بأن الطريقة المقترحة هي الأنسب في تحليل أعطال منظومة ضاغط الهواء مما يساعد في تحديد مكان العطل قبل حدوث الانهيار التام للمنظومة.

كلمات مفتاحية: التحويل المويجي، تحويلات فورير، الأتمتة الصناعية.

### 1. المقدمة

في الأنظمة الصناعية الحديثة أصبح من الضروري تزويد الآلات والمعدات بأجهزة متطورة تقوم بإيقاف الآلة تلقائياً في حال حدوث مشكلة أو خلل في العملية الإنتاجية. حيث يقوم نظام التشخيص الآلي بإيقاف الآلة عن العمل عند تعرضها لمشكلة، وذلك للحيلولة دون حدوث مشاكل أخرى تكون تكلفتها صيانتها أكبر بعد حدوثها. يمكن تعريف الأتمتة بأنها كل شيء يعمل ذاتياً بدون تدخل بشري،

فيمكن تسمية كشف الأعطال الآلي بالأتمتة الصناعية، ويمكن اعتبارها عملية تهدف إلى جعل المصانع أكثر اعتماداً على الحاسب ونظم المراقبة بدلاً من الإنسان [1]، [2]. يهدف التشخيص الآلي أو الصيانة التنبؤية إلى إجراء القياسات المناسبة للكشف عن بداية تدهور النظام، للقضاء أو السيطرة على هذا التدهور قبل أن يتحول إلى تلف كبير، ففي السابق بالرغم من وجود نظم القياس والمراقبة إلا أنها تعتمد على الوضع اللحظي للآلات والمعدات. أما التشخيص الذكي فإنه يضيف شيئاً من الذكاء البشري على الآلة، بحيث تعمل بصورة ذاتية وبدون تدخل الإنسان أثناء عملية التشخيص، وتتوقف عند توقع حدوث الخلل، ولا تعمل حتى يتم تصحيحه، وذلك بفضل تطوير نظم الذكاء الإصطناعي والأنظمة المدججة التي أحدثت تحولاً نوعياً في عملية الإنتاج [3].

من أهم مكونات الأنظمة الذاتية هي المحركات الكهربائية، حيث تستخدم المحركات لتحويل الطاقة الكهربائية إلى قدرة ميكانيكية لإنجاز عمل معين. تتنوع أحجام وسعات المحركات تنوعاً كبيراً حسب التطبيق فقد يكون محركاً صغيراً يقوم بوظائفه داخل ساعة يد أو محركاً ضخماً يمد قاطرة ثقيلة بالقدرة، ومؤخراً بمساعدة الأنظمة المدججة، أصبح للبرمجيات دوراً كبيراً في تطوير هندسة الأتمتة تطوراً سريعاً، ولا زالت الأتمتة حتى هذه اللحظة لا تتوانى باستخدام ما هو جديد في هذا المجال من أجل الحصول على المنتج النهائي بجودة وكفاءة عالية، فمثلاً، في بعض التطبيقات نحتاج لتشخيص الأعطال بصورة ذاتية لتفادي الخسائر الهائلة بسبب هذه الأعطال [4]. فعلى سبيل المثال، عدم رصد وتشخيص الأعطال أدى إلى خروج إحدى وحدات إنتاج الكهرباء البخارية في الشركة الليبية للحديد والصلب عن الخدمة، وتكبدت الشركة خسائر ضخمة بسبب تسرب الزيت من أحد محامل التربينه.

يوجد الكثير من التقنيات في تشخيص أعطال الآلات الدوارة منها تقنية تحسس إشارة الاهتزازات والتيار والحرارة والصوت. تشخيص الأعطال باستخدام الصوت جزء مهم في العديد من المصانع، حيث يستخدم العامل حاسة السمع من خلال خبرته اليومية في تمييز العديد من الأصوات في الآلات من حيث خصائص الصوت، ومنها علوه ونغمته وحدته، حيث يستخدم هذه الخصائص وغيرها لتصنيف العديد من الأعطال التي يسمعا يومياً في المصنع. في الآونة الأخيرة زاد الاعتماد على الإشارة الصوتية في العديد من التطبيقات الصناعية، لتشمل عدة مجالات منها رصد ومراقبة عمليات اللحام، اختبارات أجزاء الآلات وتشخيص الأعطال وغيرها من التطبيقات [5]. حيث يمكن للإشارة الصوتية أن توفر معلومات يصعب أو يستحيل الحصول عليها بواسطة تقنيات أخرى [6]. تلتقط أجهزة

الإحساس بالإشارة الصوتية بواسطة غشاء معين، يتكون هذا الغشاء من مادة رقيقة تهتز عند ارتطام الصوت بها، وهذه الاهتزازات هي التي تحول الطاقة الصوتية إلى طاقة كهربائية. والتي هي عبارة عن مجموعة من القياسات المسجلة لمتغير واحد أو أكثر مرتبة حسب زمن وقوعها. يُعد موضوع تحليل الصوت أو تحليل السلاسل الزمنية [7] من المواضيع العلمية المهمة التي تتناول الظواهر وتفسيرها عبر حقب محددة، ويمكن تحديد أهداف تحليل إشارة الصوت بالحصول على وصف دقيق للملامح الخاصة للعملية التي تتولد منها الصوت، وبناء نظام لتفسير سلوكها واستخدام النتائج للتنبؤ بسلوكها في المستقبل، فضلاً عن التحكم في العملية التي يتولد منها الصوت بفحص ما يمكن حدوثه عند تغيير بعض معالم النظام، ولتحقيق ذلك يتطلب الأمر دراسة تحليلية وافية لنماذج السلاسل الزمنية بالاعتماد على الأساليب الرياضية. يمكن تحويل الموجات المنتظمة بكافة أشكالها إلى معادلات رياضية واضحة ومفهومة وذلك باستخدام نظرية العالم جوزيف فورير في عام 1822م [8]. من بين العلماء الذين استفادوا من نظرية العالم جوزيف فورير حديثاً كانت عالمة الرياضيات التطبيقية إنغريد دوبيشيس [9] ، والتي ساعدت على تطوير نظرية التحويل المويجي (Wavelet transforms) وعممت تحليل فورييه بحيث فتحت المجال لحلّ مشاكل لم يسبق أن قام أحد بحلّها [9]، [10].

هناك العديد من الدراسات السابقة التي تطرقت لموضوع التشخيص الآلي باستخدام تحويل الموجة وتحويل فورير القصير الأمد وتناولته من زوايا مختلفة، وقد تنوعت هذه الدراسات بين مجالات مختلفة. وسوف نستعرض هنا أهم الدراسات التي تم الاستفادة منها مع الإشارة إلى أبرز ملامحها. أشارت أبحاث المراجعة للأعمال السابقة في [4]، [11] إلى أن تطبيق تحويل الموجات لتشخيص أخطاء الآلات على مدى السنوات الماضية ينمو بمعدل سريع للغاية. حيث استخدم الباحث في [12] تقنية التحويل المويجي المستمر في تشخيص مشكلة البلى والتآكل في أدوات القطع لعملية الخراطة. نوهت النتائج المتحصل عليها إلى أن الطريقة المقترحة فعالة في عملية التنبؤ بعمليات البلى التي تحدث لأدوات القطع. استخدم الباحثون في [13] تقنية تحويل الموجة وخوارزمية الجينات الوراثية لتشخيص أعطال المحركات الحثية. تم الاعتماد على إشارة الاهتزازات وتحويلها إلى مجال الزمن/التردد من أجل الحصول على سمات مميزة للعطل ودراسة إمكانية عملية التصنيف الآلي للعطل. تطرق الباحثون في [14] إلى أهمية أتمتة عملية اكتشاف الأعطال في وقت مبكر، بحيث تعمل بصورة ذاتية أثناء عملية الإنتاج، وتتوقف عند حدوث العطل، ولا تعمل حتى تتم صيانتها. كما أشارت نفس الدراسة إلى استخدام الانبعاثات الصوتية

في عملية التشخيص الآلي للمحركات الدوارة بمختلف أنواعها باستخدام التحويل المويجي من نوع الخزمة. أشادت النتائج المتحصل عليها بفاعلية إشارة الصوت والطريقة المقترحة في تشخيص أعطال المحركات بجميع أنواعها.

في الجزء التالي توضح هذه الدراسة عدم كفاية استخدام تحويل فورير وتحويل فورير قصير الأمد وذلك للحاجة ليس فقط للمركبات الترددية مع الزمن وإنما مع التغيرات في الإشارة عبر الزمن، لذلك تم استخدام نظرية المويجات لحل المحدودية في تحويل فورير. ولتوضيح الطريقة المقترحة تم تطبيق الطريقة المقترحة على ضاغط هواء، أجريت عليه عدد ثمان تجارب: تجربة سليمة وعدد سبع تجارب تحتوي على أعطال مختلفة.

## 2. تحليل الإشارة في المجال الترددي

يقوم تحويل فورير بتحويل الإشارة إلى عدة مستويات اعتماداً على ما تحويه هذه الإشارة من ترددات مختلفة، أو بكلمات أخرى يمكن اعتبار تحويل فورير على أنه تقنية حسابية لتحويل الإشارة من حيز الزمن إلى حيز التردد. حيث يتم استخدام الدوال الجيبية كدوال أساسية في تحليل الإشارات وهي مهمة جداً في الكشف عما تحويه الإشارة من ترددات [9].

$$(1) \quad F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$$

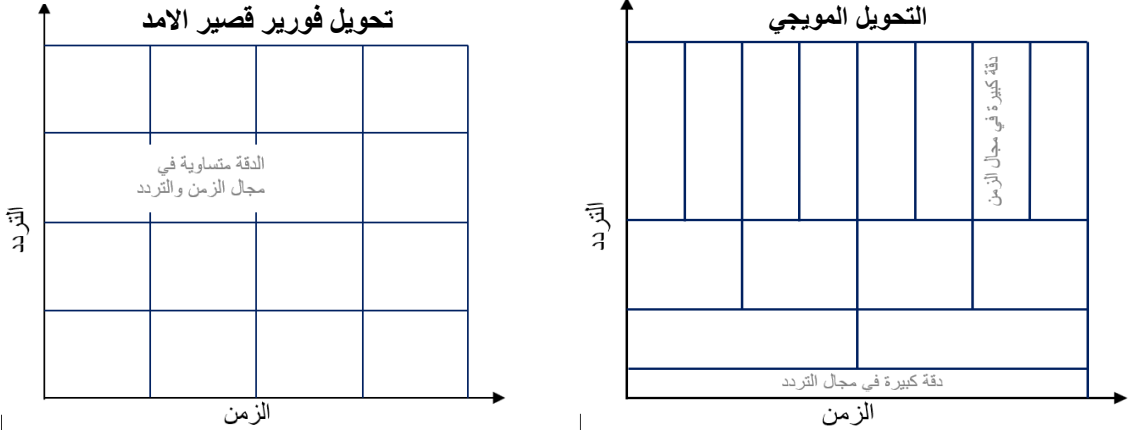
حيث أن  $(f(t))$  هي الإشارة في مجال الزمن و  $(F(\omega))$  هي الإشارة في مجال التردد. ومن الملاحظ أن الإشارة بعد تحليلها بتحويل فورير لا يحدد زمن وقوع الحدث، ولهذا يستخدم تحويل فورير في الحالات المستقرة للإشارة، أما في حالات الإشارة التي تحتوي على مركبات عابرة أو غير المستقرة فإن تحويل فورير يكون غير ملائم لهذا النوع من التحليل. وفي هذا السياق، تم علاج المشكلة عن طريق العالم (Gabar) [15] حيث قام بتجزئة الإشارة إلى نوافذ ومن ثم تحليل الإشارة لكل نافذة على حدة، وبالتالي أتاحت هذه الطريقة إمكانية رسم الإشارة في الزمن والتردد أو ما يعرف بتحويل فورير قصير الأمد (أنظر شكل 1). وبهذه الطريقة أصبح من الممكن معرفة متى وقع التغيير في التردد (العطل) للإشارة. ولكن من عيوب هذه الطريقة هو صعوبة اختيار حجم النافذة المناسبة لما يحدث في الإشارة من أحداث (أعطال أو تشوهات) [15].

لأسباب المذكورة أعلاه كان الحل هو استخدام التحويل المويجي، حيث أنه يأخذ تغيير واسع لحجم النافذة. إن تحليل الموجية يستخدم نافذة واسعة عندما يراد معلومات دقيقة عن الترددات المنخفضة، ونافذة ضيقة عندما يطلب معلومات دقيقة عن الترددات العالية في الإشارة. والجدير بالذكر أن تحليل الموجية لا يستخدم مجال الزمن والتردد ولكن يستخدم مجال الزمن والاتساع، حيث أن الاتساع يتناسب عكسياً مع التردد. ومن أهم المميزات الرئيسية لتحليل الموجية هو الحصول على تحليل موقعي مع تحديد موقع حدوث التغيير (العطل) في الإشارة. تستخدم نظرية التحويل المويجي في العديد من المجالات مثل التشفير، والرادار، والفلك، والسمعيات، والبصريات، وحل المعادلات التفاضلية، وأنظمة التحليل الرقمي، ومعالجة وضغط وإزالة الضجيج من الإشارة والصورة، وكشف الترددات، والهندسة النووية، والتعرف على الأصوات، والتنبؤ المبكر بالزلازل وغيرها [1، 13، 16].

## 1.2 التحويل المويجي

التحويل المويجي (Wavelet Transform) أو تحليل الموجيات (Wavelet Analysis) هو عبارة عن طريقة تحليلية رياضية تستخدم من أجل معالجة الإشارات للعديد من التطبيقات العملية، وإن أساس هذه النظرية مبني على نظرية فوريير، وكما تم توضيحه في الأعلى هي طريقة تستخدم لتمثيل الإشارات الدورية على شكل متسلسلة من الجيب والجيب تمام ويقوم هذا التحويل بنقل الإشارة من مجال الزمن إلى مجال التردد والعكس. ولكن المشكلة الرئيسية في تحويل فوريير أنه يصبح غير فعال للإشارات متغيرة التردد أو غير الثابتة لأنه لا يزودنا بمعلومات عن المحتوى الترددي خلال الزمن، كذلك بسبب ضياع بعض الخواص المهمة لهذه الإشارات مثل الاتجاه والانحراف وغيرها، لهذا السبب تم تطوير ما يعرف بتحويل فوريير القصير الأمد. حيث يقوم هذا التحويل بتمثيل الإشارة باستخدام نافذة معينة على حسب دقتها الزمنية والترددية. ولكن المشكلة الرئيسية في هذا التحويل هو الضياع الحاصل في الزمن والتردد، حيث يتم الحصول على دقة عالية من أجل الإشارات التي تتغير بسرعة عند استخدام نافذة صغيرة، ولكن هذه الدقة لا تكون عالية للإشارات التي تتغير ببطء، وعند استخدام نافذة كبيرة يحصل العكس تماماً، لهذا السبب تم تطوير ما يعرف بنظرية تحويل الموجات. حيث تم باستخدام هذا التحويل حل المشكلات السابقة عن طريق استخدام نافذة متغيرة العرض بدلا من نافذة ثابتة العرض، للحصول على معلومات مختلفة التردد على طول الموجة، بهذه الطريقة يتم الحصول على ما يعرف بالموجات التي يختلف ترددها باختلاف عرض النافذة المستخدمة [9، 10] (أنظر شكل 1). الجدير

بالذكر هنا أن التحويل المويجي ينقسم إلى ثلاثة أنواع هي: التحويل المويجي المستمر، التحويل المويجي المتقطع، وتحويل حزمة الموجية [10].



شكل 1: مقارنة بين طريقة التحويل المويجي وطريقة تحويل فورير قصير الأمد.

## 2.2 التحويل المويجي المستمر

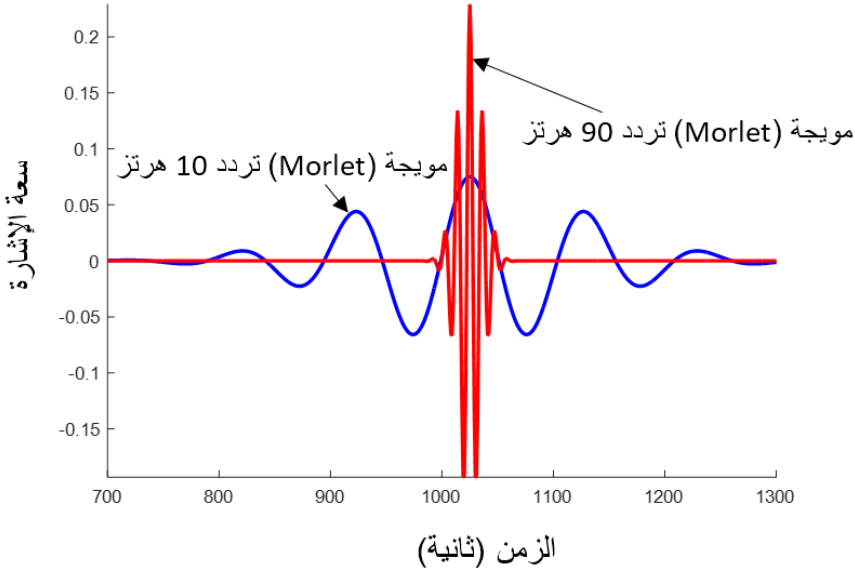
الموجة هي عبارة عن موجة صغيرة متذبذبة وتوصف بالصغيرة لأنها دالة ذات طول محدد في متغيرين هما التعبير (Scale) والترحيف (Translation) كما هو موضح في شكل 2. حيث يقوم التحويل المويجي المستمر بتجزئة الإشارة إلى مالا نهاية من الموجات (الموجة الأم) كدوال للموقع والاتساع وفقاً للمعادلة التالية:

$$(2) \quad C(a, b) = \int_R f(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

حيث أن  $(f(t))$  هي الإشارة في مجال الزمن و  $(C(a, b))$  هي نتيجة التحويل (الزمن والتردد). وكذلك  $(\psi(t))$  تمثل الدالة الأساس للموجة والمعرفة بمتغيرين هما الترحيف والتعبير والتي يمكن التعبير عنها رياضياً كالتالي:

$$(3) \quad \psi(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi f_b}} e^{2i\pi f_c t} e^{-\frac{t^2}{f_b}}$$

شكل 2 يوضح شكل موجة (Morlet) بترددات مختلفة (10 هرتز و 90 هرتز). نلاحظ إمكانية الحصول على موجات مختلفة بواسطة التغيير في تعبير الموجة الأصلية، أو بمعنى آخر توسيع وكبس الإشارة.



شكل 2: يوضح أشكال مختلفة لموجة (Morlet).

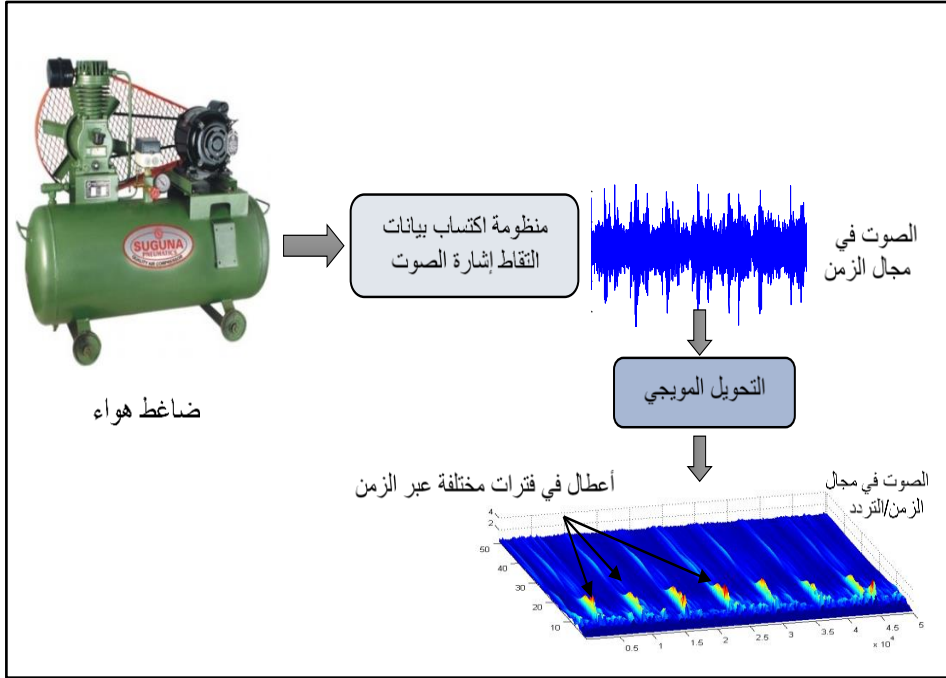
### 3. حالة دراسية

تستوجب عملية المحافظة على العمر الافتراضي للمحركات الصناعية أن تتم عملية التشغيل بطريقة سليمة والصيانة في الوقت المناسب. وقد أتاحت الصيانة التنبؤية إمكانية الكشف عن الأعطال قبل عدة أشهر من بداية العطل وإصلاح الأجزاء واستبدالها بشكل منتظم قبل أن ينهار المحرك، مما يجعل "الصيانة التنبؤية" ممكنة. تم تطبيق الطريقة المقترحة على ضاغط هواء يحمل المواصفات التالية [3]:

مدى ضغط الهواء	0-500 lb/ m <sup>2</sup> , 0-35 Kg/cm <sup>2</sup>
مواصفات المحرك الحثي	415V, 5Am, 5 HP, 50 Hz, 1440rpm
نوع صمام الضغط	Type PR-15, Range 100-213 PSI

تم وضع منظومة تحسس الانبعاثات الصوتية بالقرب من ضاغط الهواء كما هو موضح في شكل 3 [3]. تتكون مجموعة البيانات من عدد 8 حالات كالتالي: الحالة السليمة، وعدد 7 حالات تحتوي على أعطاب مختلفة: تسريب في صمام الدخول (LIV) - تسريب في صمام الخروج (LOV) -

تسريب في صمام عدم الرجوع (NRV) - عطل في حلقة المكبس (PR) - عطل في الحذافة (FW) - عطل في سير نقل الحركة (RB) - أعطال المحامل (BF). تم تحليل هذه الحالات بواسطة التحويل الموجي المستمر واستخدام موجيات (Morlet) والقبعة المكسيكية كدوال الأساس في التحليل.



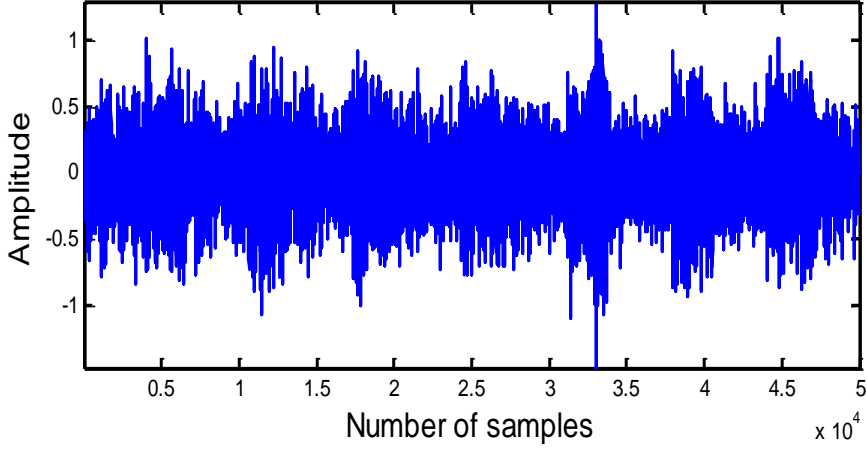
شكل 3: منظومة تحسس الانبعاثات الصوتية والتحويل الموجي.

#### 4. النتائج والمناقشة

##### 1- الحالة السليمة (H)

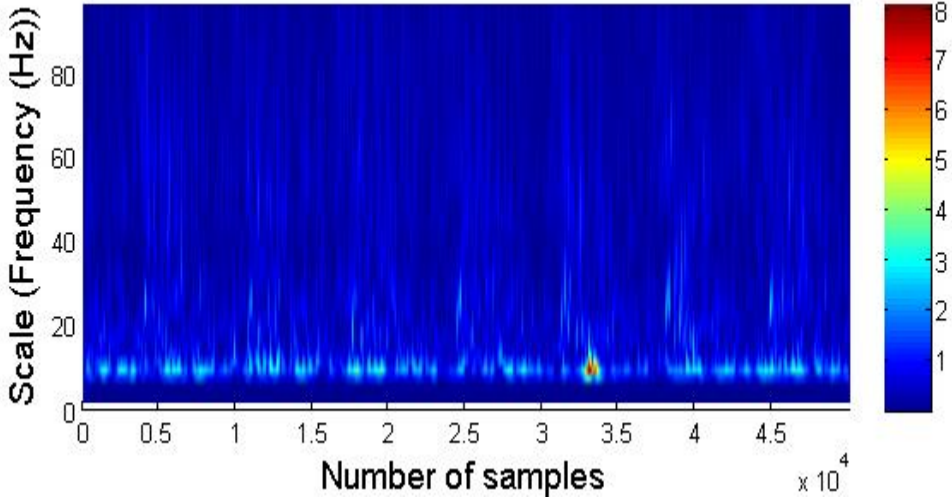
يبين شكل 4 الإشارة المسجلة عن طريق جهات تحسس الانبعاثات الصوتية الصادرة من منظومة ضاغط الهواء في حالة عدم وجود أعطال.



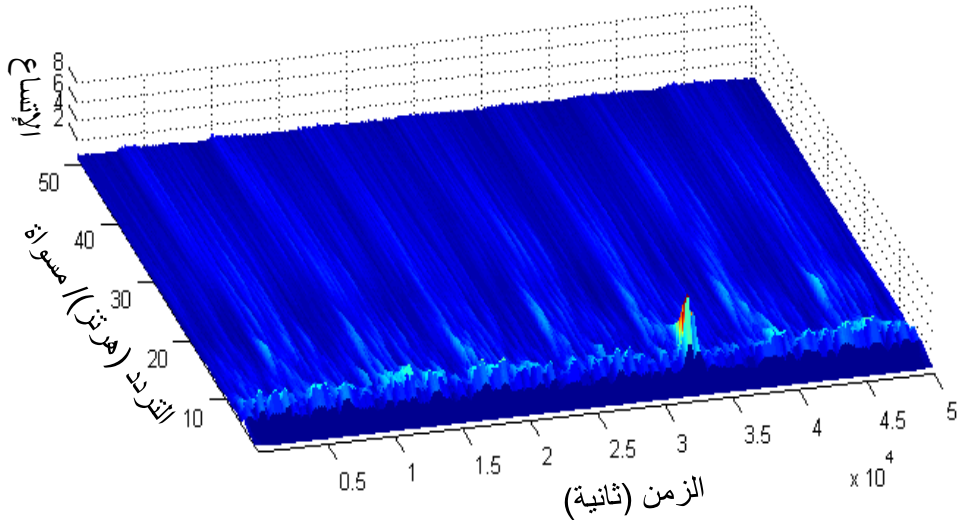


شكل 4: إشارة الانبعاثات الصوتية في الحالة السليمة.

نلاحظ في شكل 5 و شكل 6 النتائج في حيز الزمن والتردد لإشارة الانبعاثات الصوتية في الحالة السليمة لمنظومة ضغط الهواء. يلاحظ عدم وجود ترددات غير اعتيادية (مرتفعة الإتساع) في الإشارة على طول زمن الاختبار، عدا بعض الترددات المنخفضة (بين الأزمنة 3-3.5) والتي من المتوقع أن تكون تشويشاً، لأن تردداتها منخفضة وعدم تكرارها على محور الزمن.



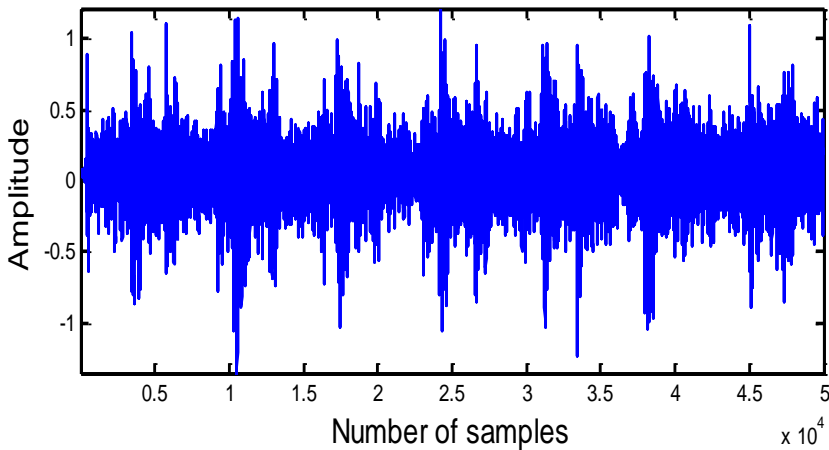
شكل 5: التحويل الموجي للإشارة السليمة في بعدين (الزمن والتردد).



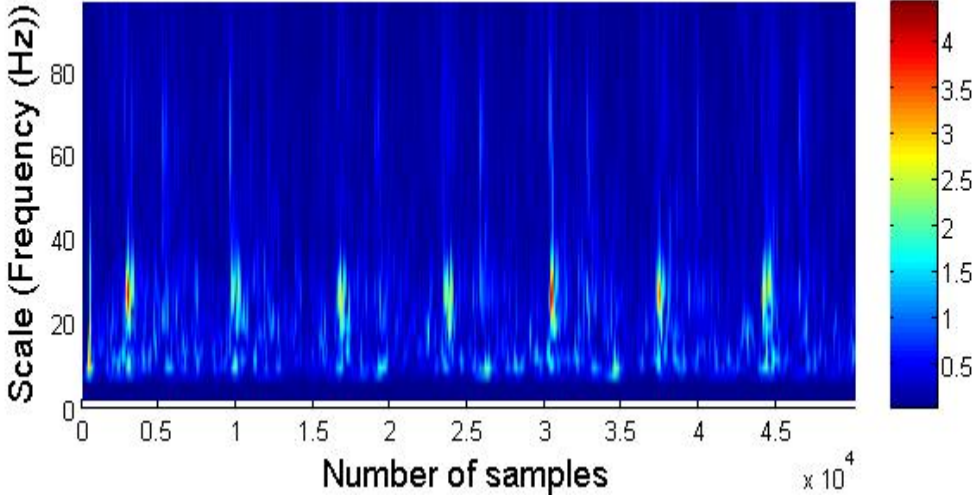
شكل 6: التحويل الموجي للإشارة السليمة، رسم ثلاثي الأبعاد.

## 2. تسريب في صمام الدخول (LIV)

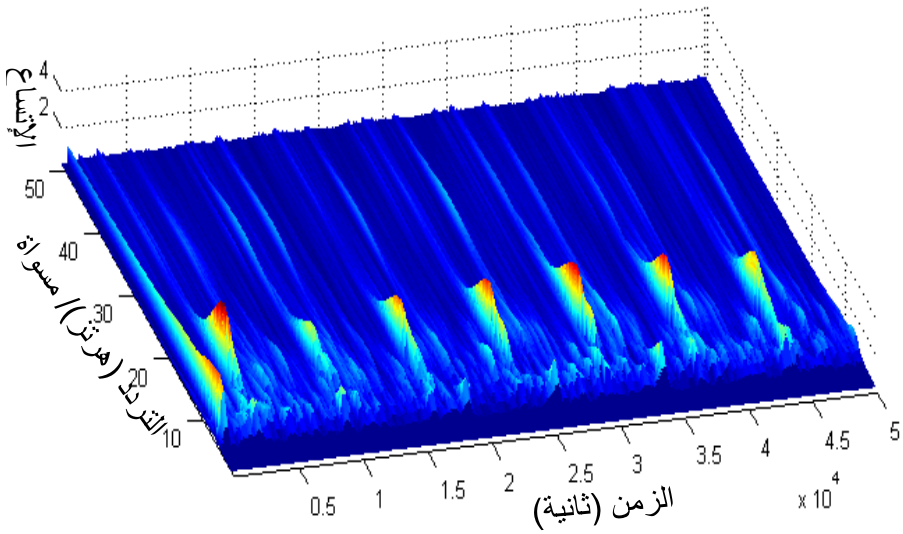
شكل 7 يمثل إشارة الانبعاثات الصوتية عند حدوث تسريب في الصمام الداخلي. شكل 8 و شكل 9 يمثل التحليل الموجي لهذه الإشارة في بعدين وثلاثة أبعاد (الزمن والتردد والامتداد) على التوالي. بالمقارنة مع الإشارة السليمة في شكل 6 يلاحظ وجود اضطرابات متكررة في إشارة الصوت على طول الفترة الزمنية للاختبار مما يشير إلى احتمالية وجود عطب.



شكل 7: إشارة الانبعاثات الصوتية في حالة وجود تسريب في صمام الدخول.



شكل 8: التحويل الموجي للإشارة في حالة وجود تسرب في صمام الدخول في بعدين (الزمن والتردد).

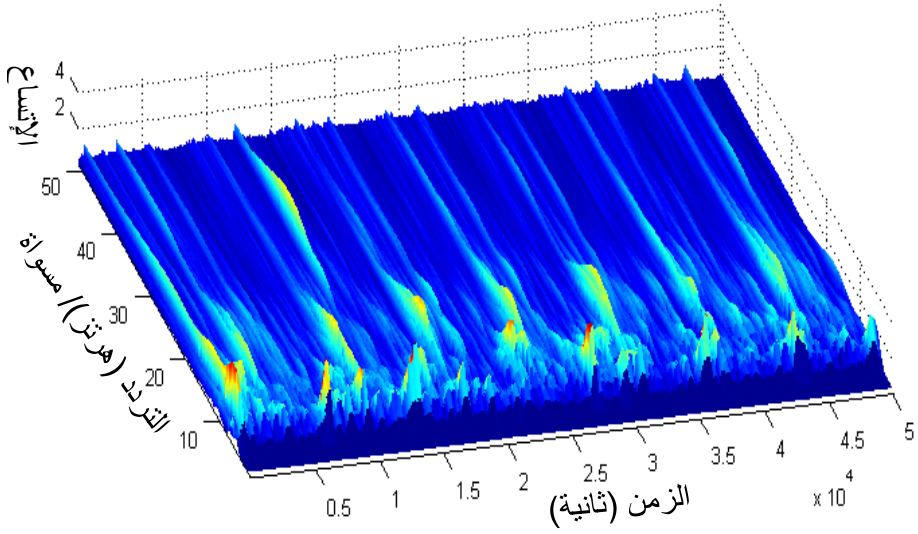


شكل 9: التحويل الموجي للإشارة في حالة وجود تسرب في صمام الدخول، رسم ثلاثي الأبعاد.

## 2. تسريب في صمام الخروج (LOV)

يمثل شكل 10 التحليل الموجي لإشارة الانبعاثات الصوتية في حالة وجود عطب في صمام خروج الهواء في ثلاثة أبعاد (الزمن والتردد والاتساع). وبالمقارنة مع الإشارة السليمة في شكل 6 يلاحظ وجود

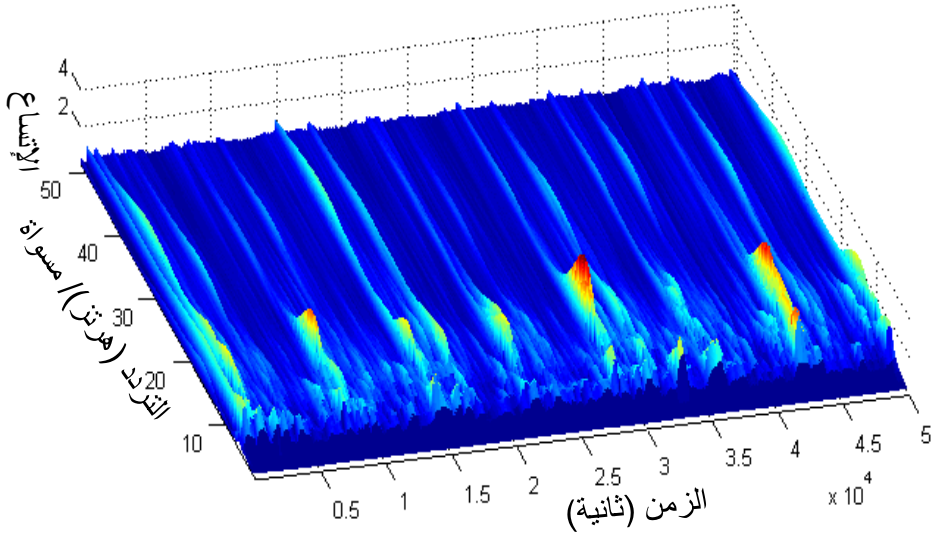
اضطرابات متكررة في إشارة الصوت على طول الفترة الزمنية للاختبار مما يشير إلى احتمالية وجود عطب.



شكل 10: التحويل المويجي للإشارة في حالة وجود تسرب في صمام الخروج، رسم ثلاثي الأبعاد.

### 3. تسرب في صمام عدم الرجوع (NRV)

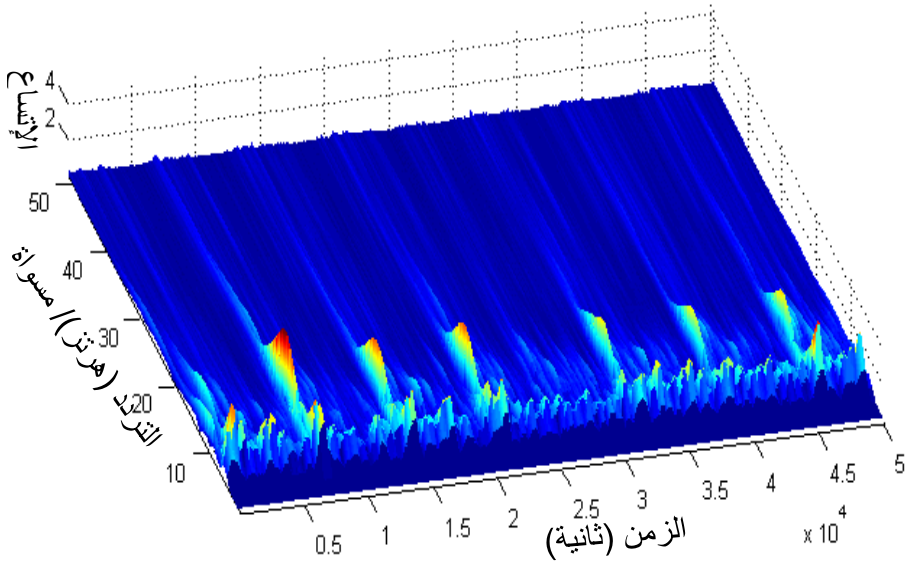
يمثل شكل 11 التحليل المويجي لإشارة الانبعاثات الصوتية في حالة وجود عطب في صمام عدم رجوع الهواء في ثلاثة أبعاد (الزمن والتردد والاتساع). وبالمقارنة مع الإشارة السليمة في شكل 6 يلاحظ وجود اضطرابات متكررة في إشارة الصوت على طول الفترة الزمنية للاختبار مما يشير إلى احتمالية وجود عطب.



شكل 11: التحويل الموجي للإشارة في حالة وجود تسرب في صمام عدم الرجوع، رسم ثلاثي الأبعاد.

#### 4- عطل في حلقة المكبس (PR)

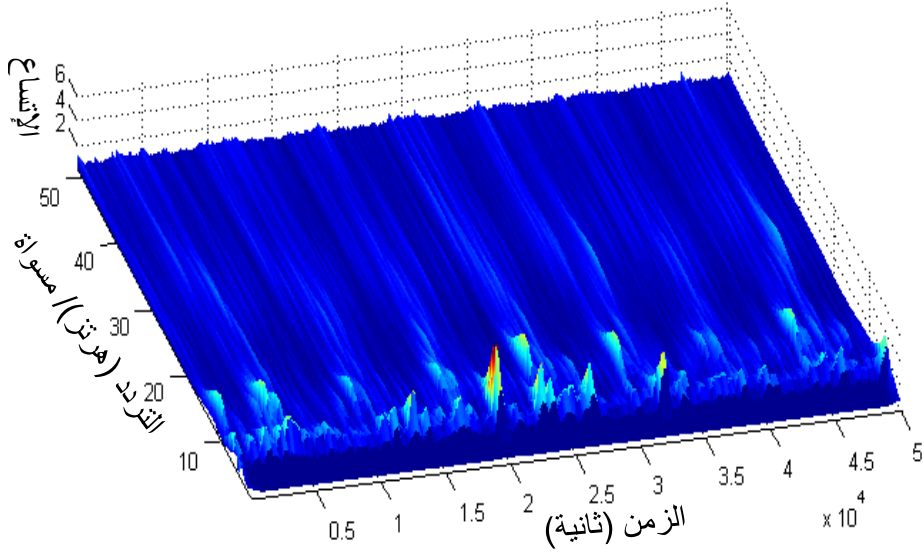
يوضح شكل 12 التحليل الموجي لإشارة الانبعاثات الصوتية في حالة وجود عطب في حلقة المكبس في ثلاثة أبعاد (الزمن والتردد والإتساع). وبالمقارنة مع الإشارة السليمة في شكل 6 يلاحظ وجود اضطرابات متكررة في إشارة الصوت على طول الفترة الزمنية للاختبار مما يشير إلى احتمالية وجود عطب.



شكل 12: التحويل الموجي للإشارة في حالة وجود عطل في حلقة المكبس، رسم ثلاثي الأبعاد.

#### 5- عطل في الحذافة (FW)

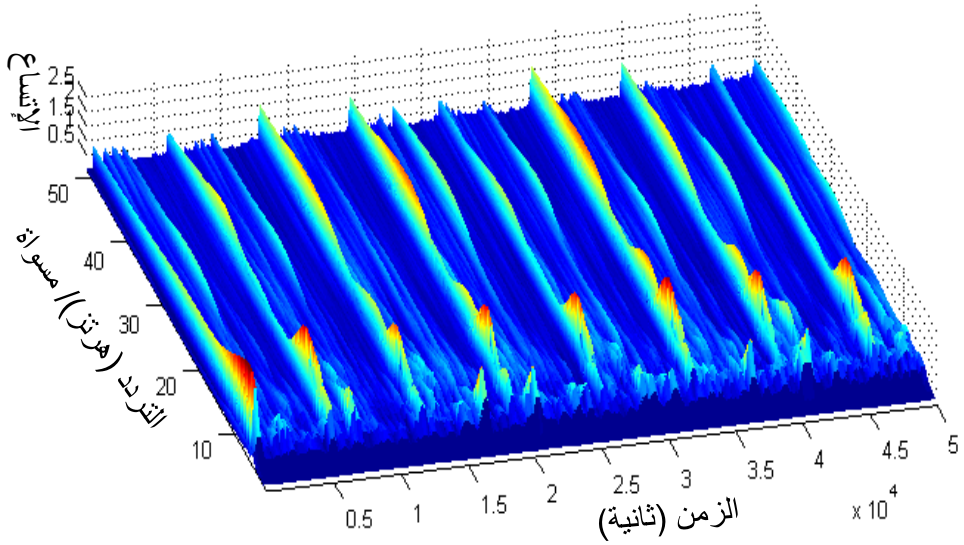
يوضح شكل 13 التحليل الموجي لإشارة الانبعاثات الصوتية في حالة وجود عطل في الحذافة في ثلاثة أبعاد (الزمن والتردد والاتساع). وبالمقارنة مع الإشارة السليمة في شكل 6 يلاحظ وجود بعض الاضطرابات المتكررة في إشارة الصوت على طول الفترة الزمنية للاختبار مما يساعد في اكتشاف العطب.



شكل 13: التحويل المويجي للإشارة في حالة وجود عطل في الحذافة، رسم ثلاثي الأبعاد.

#### 6- عطل في سير نقل الحركة (RB)

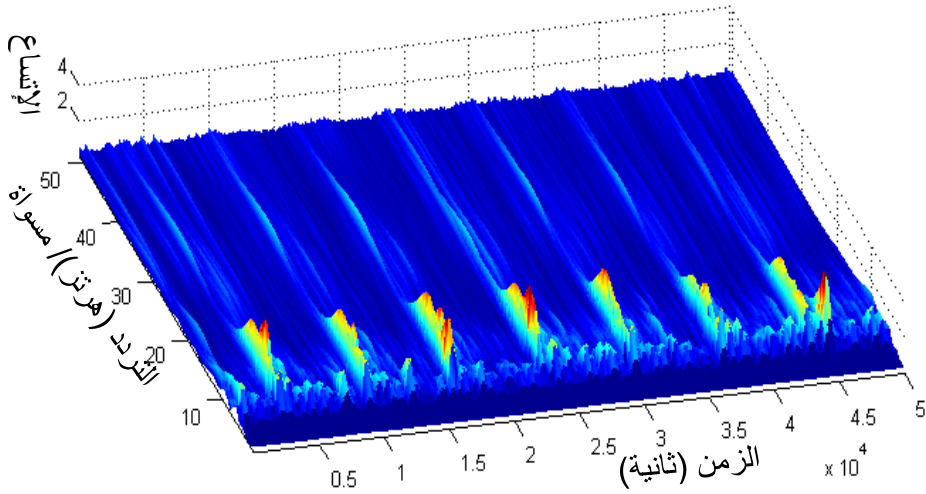
يمثل شكل 14 التحليل المويجي لإشارة الانبعاثات الصوتية في حالة وجود عطل في سير نقل الحركة في ثلاثة أبعاد (الزمن والتردد والاتساع). وبالمقارنة مع الإشارة السليمة في شكل 6 يلاحظ وجود اضطرابات متكررة في إشارة الصوت على طول الفترة الزمنية للاختبار مما يشير إلى احتمالية وجود عطل.



شكل 14: التحويل الموجي للإشارة في حالة وجود عطب في سير نقل الحركة، رسم ثلاثي الأبعاد.

#### 7- أعطال المحامل (BF).

شكل 15 يمثل التحليل الموجي لإشارة الانبعاثات الصوتية في حالة وجود عطب في المحامل في ثلاثة أبعاد (الزمن والتردد والاتساع). وبالمقارنة مع الإشارة السليمة في شكل 6 يلاحظ وجود اضطرابات متكررة في إشارة الصوت على طول الفترة الزمنية للاختبار مما يشير إلى احتمالية وجود عطب.



شكل 15: التحويل الموجي للإشارة في حالة وجود عطب في المحامل، رسم ثلاثي الأبعاد.



النتائج المتحصل عليها باستخدام التحليل المقترح هي الأنسب في تحليل أعطال منظومة ضاغط الهواء وذلك لعدم فقد زمن حدوث العطل أو العطب خلال التحليل مما يساعد في تحديد مكان العطل قبل حدوث الانهيار التام للمنظومة. اهتم هذا البحث بالدور الذي تلعبه التقنيات الحديثة في مجالات الصيانة وخصوصاً في تطبيق الصيانة التنبؤية عن طريق تشخيص الأعطال. يعتمد التشخيص الآلي المقترح على إجراء مراقبة دقيقة لكل أجزاء الآلة والتعرف على أي تذبذب في الإشارة المستلمة من أجهزة التحسس. حيث ينقل هذا الأسلوب في التشخيص الآلي للأعطال من موقف معالجة الأعطال بعد حدوثها إلى موقف التحكم في حدوث التوقفات والأعطال، أي أن كل التوقفات للآلات عن العمل تصبح مخططة وليست فجائية، وبهذا الوضع يصبح التشخيص الآلي للأعطال هو الذي يتحكم في الآلات بدلا من أن تتحكم الآلات فيها.

## 5. الاستنتاجات

التشخيص الآلي هو عملية تهدف إلى جعل المعامل والمصانع أكثر اعتمادا على الحاسب بدلا من الإنسان، ويهدف هذا التشخيص إلى زيادة الموثوقية حيث يستطيع النظام المقترح العمل بسرعة ودقة أكبر من الإنسان. لقد تبين من خلال هذا البحث أن تقنية التحويل المويجي هي الأنسب في تحليل إشارة الانبعاثات الصوتية من أجل اكتشاف الأعطال آلياً في وقت مبكر وقبل وقوع العطل. إن من أهم مميزات التحويل المويجي هو عدم فقد محور الزمن خلال التحليل مما يساعد في تحديد موقع (زمن) بداية العطل التي تحدث نتيجة لخلل في قطعة معينة من الآلة المراد رصد وتشخيص أعطالها. النتائج المتحصل عليها تفيد بأن الطريقة المقترحة هي الأنسب في تحليل وتشخيص ورصد أعطال منظومة ضاغط الهواء مما يساعد في تحديد مكان العطل قبل حدوث انهيار كارثي. وكأعمال مستقبلية يمكن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي مثل الشبكات العصبية وتقنيات تعليم الآلة المختلفة في التصنيف الآلي لهذه الأعطال.

## 6. المراجع

- [1] J. Rafiee, *et al.*, "Application of mother wavelet functions for automatic gear and bearing fault diagnosis," *Expert Systems with Applications*, vol. 37, pp. 4568–4579, 2010.
- [2] F. Golnaraghi and B. Kuo, "Automatic control systems," *Complex Variables*, vol. 2, pp. 1–1, 2010.
- [3] N. K. Verma, *et al.*, "Intelligent condition based monitoring using acoustic signals for air compressors," *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 65, pp. 291–309, 2016.
- [4] Z. Peng and F. Chu, "Application of the wavelet transform in machine condition monitoring and fault diagnostics: a review with bibliography," *Mechanical systems and signal processing*, vol. 18, pp. 199–221, 2004.
- [5] B. Van Hecke, *et al.*, "Low speed bearing fault diagnosis using acoustic emission sensors," *Applied Acoustics*, vol. 105, pp. 35–44, 2016.
- [6] B. Van Hecke, *et al.*, "Bearing fault diagnosis based on a new acoustic emission sensor technique," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, vol. 229, pp. 105–118, 2015.
- [7] X. Li, "A brief review: acoustic emission method for tool wear monitoring during turning," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 42, pp. 157–165, 2002.
- [8] L. Satish, "Short-time Fourier and wavelet transforms for fault detection in power transformers during impulse tests," *IEE*

*Proceedings–Science, Measurement and Technology*, vol. 145, pp. 77-84, 1998.

[9] I. Daubechies, "The wavelet transform, time–frequency localization and signal analysis," *IEEE transactions on information theory*, vol. 36, pp. 961-1005, 1990.

[10] I. Daubechies, *Ten lectures on wavelets* vol. 61: Siam, 1992.

[11] R. Yan, *et al.*, "Wavelets for fault diagnosis of rotary machines: A review with applications," *Signal processing*, vol. 96, pp. 1-15, 2014.

[12] T. Benkedjough, *et al.*, "Tool wear condition monitoring based on continuous wavelet transform and blind source separation," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 1-13, 2018.

[13] P. Konar and P. Chattopadhyay, "Multi–class fault diagnosis of induction motor using Hilbert and Wavelet Transform," *Applied Soft Computing*, vol. 30, pp. 341-352, 2015.

[14] F. Hemmati, *et al.*, "Roller bearing acoustic signature extraction by wavelet packet transform, applications in fault detection and size estimation," *Applied Acoustics*, vol. 104, pp. 101-118, 2016.

[15] L. Cohen, *Time–frequency analysis* vol. 778: Prentice hall, 1995.

[16] B. Boashash, *Time–frequency signal analysis and processing: a comprehensive reference*. Academic Press, 2015.