

استخدام الشبكات العصبونية الاصطناعية في آلية التنبؤ بالتسرب وتحديد موقعه في خطوط أنابيب المياه الرئيسية. "دراسة حالة محطة ضخ الجكرة"

أ . د . م . مخائيل سليم مخول *

د . م . ضحى خالد جديد **

م . صبا محمد فرحة ***

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥/٤/٦ . قُبل للنشر في ٢٠٢٥/٧/١)

□ ملخّص □

يعد تسرب أنابيب المياه في محطات ضخ مياه الشرب مشكلة عالمية شائعة وهامة فإنها تسبب هدراً للموارد المائية، لذلك تعد عمليات الكشف السريع عن تسربات الأنابيب وتحديد موقعها وإصلاحها، بالغة الأهمية لضمان سلامتها.

تم في هذه الدراسة تصميم نظام التنبؤ بتسرب المياه في خط النقل الرئيسي، حيث كانت الحالة المدروسة هي محطة الضخ الموجودة في ريف طرطوس، ولوحظ وجود تسرب في خط النقل الرئيسي الواصل بين المحطة الأولى (خزان التجميع) والمحطة الثانية (الخزان الرئيسي)، اعتمد تصميم هذا النظام على المقاييس المستخدمة في عملية التنبؤ (كمعدل التدفق في خط النقل وضغط الماء داخل خط النقل واهتزاز الخط)، بالإضافة إلى المقاييس البيئية (درجة الحرارة والرطوبة المحيطة بخط النقل)، وقد تم استخدام التطبيق البرمجي أودو (Odoo) الذي يعطي القدرة على مراقبة ومتابعة كل ما يحدث في محطة الضخ من خلال متصفح الويب عبر الانترنت، حيث تم من خلاله إنشاء وحدة (Odoo) للتنبؤ بتسرب المياه باستخدام الشبكات العصبونية الاصطناعية التي تم تدريبها مسبقاً على المقاييس المستخدمة في عملية التنبؤ.

تم اختبار النظام المصمم، وبالنتيجة تم التوصل إلى دقة جيدة في التنبؤ من خلال تقييم أدائها عبر حساب مقياس الدقة، حيث بلغت دقة التدريب (89%) ودقة الاختبار (90%)، وأظهرت نتائج الرسم البياني لخسارة التدريب والتحقق ولدقة مجموعة التدريب والتحقق بأن التحسينات التي طرأت على النموذج لمجموعة التدريب تبدو متطابقة إلى حد ما مع التحسينات على مجموعة التحقق من الصحة وهذا يعني أن الملائمة بشكل زائد لا تمثل مشكلة كبيرة في النموذج.

الكلمات المفتاحية: نظام إدارة المياه، تسربات المياه في أنابيب النقل، الشبكات العصبونية الاصطناعية.

* أستاذ في قسم الأتمتة الصناعية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس .

** مدرس في قسم الأتمتة الصناعية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس .

*** طالبة دكتوراه في قسم الأتمتة الصناعية، كلية الهندسة التقنية ، جامعة طرطوس.

Using artificial neural networks for prediction of leakage in major water pipelines.

" Jakrah pumping station Case"

professor.Dr. Eng. Michael Saleem Makkoul *

Dr.Eng. Doha Khalid jdeed **

Eng. Seba Mohammed farha ***

(Received 6/4/2025 . Accepted 1/7/2025)

□ ABSTRACT □

Leaking water pipes in drinking water pumping stations are a common and significant global problem, causing a waste of water resources. Therefore, rapid detection, location, and repair of pipe leaks are crucial to ensuring their safety. In this study, a water leak prediction system was designed in the main transmission line. The studied case was the pumping station located in the Tartous countryside. A leak was observed in the main transmission line connecting the first station (collection tank) and the second station (main tank). The design of this system was based on the metrics used in the prediction process (such as flow rate in the transmission line, water pressure inside the transmission line, and line vibration), in addition to the environmental metrics (temperature and humidity surrounding the transmission line). The Odoo software application was used, which provides the ability to monitor and follow everything that happens in the pumping station through a web browser via the Internet. Through it, the Odoo module was created to predict water leakage using artificial neural networks that were previously trained on the metrics used in the prediction process. The designed system was tested, and as a result, good accuracy in prediction was achieved by evaluating its performance by calculating the accuracy measure, where the training accuracy reached (89%) and the test accuracy (90%). The results of the training and verification loss graph and the accuracy of the training and verification set showed that the improvements that occurred in the model for the training set appear The results are fairly consistent with the improvements on the validation set, indicating that overfitting is not a significant problem with the model

Keywords: Water management system, water leaks in transportation pipelines, artificial neural networks

* Professor in the Department of Industrial Automation, Faculty of Technical Engineering, Tartous University.

** Doctor in the Department of Industrial Automation, Faculty of Technical Engineering, Tartous University.

*** PhD student in the Department of Industrial Automation, Faculty of Technical Engineering, Tartous University.

١. مقدمة:

تعد شبكة إمدادات المياه من البنى التحتية الأساسية، وقد أصبح تشغيلها بشكل طبيعي وفعال شرطاً أساسياً للتنمية الحضرية المستدامة [1]. ومع ذلك، فمع زيادة الخدمة، تتكرر حوادث الأنابيب الناجمة عن التآكل و أضرار الجهات الخارجية، وبمجرد تسرب الأنابيب، فإنها لا تسبب هدراً للموارد المائية وخسائر اقتصادية فادحة فحسب، بل تعطل أيضاً الانتاج الصناعي والحياة السكنية، لذلك تعد عمليات الطوارئ بما في ذلك الكشف السريع عن تسربات الأنابيب وتحديد موقعها و إصلاحها، بالغة الأهمية لضمان سلامتها.

طور الباحثون العديد من الطرق للكشف عن التسربات، والتي تنقسم عموماً إلى طرق تعتمد على البرمجيات وطرق تعتمد على الأجهزة [2]. تعتمد الطرق القائمة على البرمجيات بشكل أساسي على الحصول على القياسات ومعالجتها المتقدمة على طول خطوط الأنابيب، والتي تتطلب نمذجة معقدة وتعتمد بشكل أقل على مرافق أجهزة خطوط الأنابيب [3]. وغالباً ما تتضمن هذه الطرق طريقة تحليل الضغط، وطريقة معدل التدفق وطريقة الاهتزازات [4]. هذه الطريقة أكثر فعالية وتوافقاً مع التسربات الكبيرة والمفاجئة ولكنها ليست حساسة للتسربات الصغيرة المبكرة، مثل التوهين الناتج عن انتشار الإشارة الصوتية لمسافات طويلة [5]. تعتمد الطرق القائمة على الأجهزة على أجهزة الحساسات، مثل الحساسات الصوتية والبصرية وحساسات الحث المغناطيسي وأنظمة الرادار المخترقة للأرض [6]، والتي تتكون عموماً من كاشفات للأنابيب الخارجية والداخلية [7]. يمكن إجراء كشف الأنابيب الخارجية خارج خط الأنابيب، والذي يشمل طرق كشف مختلفة مثل كشف التسرب السمعي البصري، وكشف تسربات الموجات الموجهة بالموجات فوق الصوتية [8]. يدفع الكاشف داخل الأنبوب إلى داخل خط الأنابيب عن طريق حمل حساس واحد أو أكثر للكشف والتعرف ويكمل مهام الكشف تلقائياً، تشمل الحساسات عادةً حساسات الكاميرا والصوت والموجات فوق الصوتية وحساسات تدفق التسرب [9]. بالمقارنة مع الكشف الخارجي للأنبوب، يمكن أن يكون الكشف داخل الأنبوب أقرب بكثير إلى التسرب، وبالتالي قادراً على التقاط التسربات الصغيرة ويمكن أن يتمتع بدقة كشف أعلى، وبالتالي فإن إحدى التقنيات التقليدية هي الكشف عن الموجات الصوتية غير الطبيعية باستخدام مضخم صوت مدمج في جهاز تسجيل يمكنه التحرك بحرية في الأنبوب [10]، والذي يعتبر أحد أكثر الطرق فعالية.

في الآونة الأخيرة، أصبح الكشف عن التسرب باستخدام تقنيات التعلم الآلي، مثل الشبكات العصبونية الاصطناعية مجالاً بحثياً رئيساً [11]، وجد باحثون [12] أن الشبكات العصبونية التلافيفية أحادية البعد (CNN) يمكنها استخلاص الخصائص المميزة لإشارات الاهتزاز.

استخدم باحثون [13] حساسات ضغط الكترونية مزودة بشبكة عصبونية اصطناعية للكشف عن التسربات في خط الأنابيب، ومع ذلك فإن المخطط العملي للكشف عن تسربات خط الأنابيب غير كاف، وخاصة طريقة الشبكات العصبونية الاصطناعية القائمة على البيانات التجريبية على نطاق صناعي.

يعتمد هذا البحث على تحليل القياسات المتعلقة بخط النقل الرئيسي المتمثلة (بمعدل التدفق وضغط الماء داخل خط النقل واهتزاز خط النقل) من أجل التنبؤ بالتسرب بواسطة الشبكات العصبونية الاصطناعية التي توفر نهجاً غير تقليدي للعديد من المشكلات الهندسية التي يصعب وصفها أو حلها باستخدام الطرق التقليدية.

٢. أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث من خلال تعزيز إمكانية المراقبة المستمرة لأنابيب نقل المياه، بما يتعلق بالاكشاف المبكر للظروف عالية الخطورة على منع التسربات وتقليل وقت التوقف عن العمل، بالإضافة إلى إمكانية توسيع نطاق هذا النظام بسهولة لمراقبة أنابيب نقل إضافية.

يهدف هذا البحث إلى أن يكون هذا النظام المقترح فعال في التنبؤ عن التسرب في أنابيب النقل وتخفيض الخطأ البشري والإدارة الكاملة لمحطة الضخ.

٣- طرائق البحث ومواده:

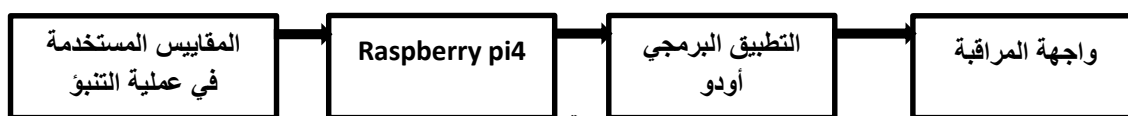
أولاً: توصيف محطة الضخ المدروسة (محطة ضخ الجكرة):

تتألف محطة الضخ من محطتين للضخ والخزان الرئيسي:

١. المحطة الأولى : تتألف من تجمع عدة ينابيع (بئر اراتوازي) يتم ضخ المياه منها إلى المحطة الثانية وتبعد عنها حوالي 2.5km.
٢. المحطة الثانية: تتألف من خزان التجميع الذي يضخ إلى الخزان الرئيسي.
٣. الخزان الرئيسي : يبعد عن المحطة الثانية حوالي 2.5km وبارتفاع حوالي 100m عنها ويغذي الخزان الرئيسي عدة قرى: (بملكة، العوينية، بسماقة، العلاقية، بهرمين).
٤. أما بالنسبة للمضخات تعمل مضخة واحدة وتبقى مضخة واحدة احتياطية ونوعها أفقية ذات طرد مركزي وتتغذى المضخات من الشبكة العامة للكهرباء.
٥. يتم التحكم بالمضخات عن طريق لوحات تحكم تقليدية تحتوي على إقلاع من نوع نجمي مثالي باستخدام كونتكتورات كما تحتوي اللوحات على حمايات حرارية ومانع عكس جهة الدوران عن طريق مايسمي قاطع فاز.

ثانياً: تصميم نظام التحكم والتنبؤ بتسرب المياه في خط النقل الرئيسي:

يبين الشكل (1): المخطط الصندوقي لآلية التنبؤ بتسرب المياه في خط النقل الرئيسي



الشكل (1): المخطط الصندوقي لآلية التنبؤ بتسرب المياه.

١- المقاييس المستخدمة في عملية التنبؤ:

يجب الأخذ بعين الاعتبار العوامل المؤثرة على التسرب مع مرور الزمن كالمقاييس البيئية (درجة الحرارة والرطوبة المحيطة بخط النقل)، و مقاييس خط النقل الرئيسي فلا بد من معرفة (معدل تدفق المياه داخل خط النقل، ضغط الماء داخل الخط، اهتزاز خط النقل الرئيسي).

١- المقاييس البيئية:

• **حساس الحرارة والرطوبة:** يستخدم حساس الحرارة والرطوبة الصناعي (MST01) لقياس درجة الحرارة والرطوبة، مصمم ليناسب جميع السيناريوهات الصناعية للمراقبة البيئية ويتميز بعتبات إنذار قابلة لضبط درجة الحرارة والرطوبة ويتمتع بسعة كبيرة لتخزين البيانات المحلية ويتم تركيبه في المنطقة المحيطة بالخزان وخط النقل.

٢- مقاييس أنابيب النقل:

٣- **حساس معدل التدفق (m^3/s):** يستخدم مقياس التدفق المغناطيسي الرقمي (APURE

AYT) في قياس تدفق الماء داخل الأنابيب فهو يعتمد على قانون فارادي للحث الكهرومغناطيسي فعندما يتدفق الماء عبر الحساس المثبت عمودياً على خط الأنابيب يولد جهد يتناسب مع معدل التدفق في المجال المغناطيسي، ويتميز هذا الحساس بتصميم مقاوم للصدأ ومضاد للتآكل وسهولة توصيله مع وحدات التحكم.

٤- **حساس ضغط الماء داخل خط النقل الرئيسي (bar):** يستخدم حساس ضغط الماء

(PISA) الإيطالي وهو جهاز موثوق ذات صناعة عالية الجودة يتيح تحقيق أداء قوي وفعال في قياس ضغط الماء داخل الأنابيب ويحوّله إلى إشارة كهربائية، حيث يمكن بعد ذلك عرض هذه الإشارة أو تسجيلها أو استخدامها لأغراض التحكم، ويتطلب تركيب هذا الحساس داخل الأنابيب.

٥- **حساس اهتزاز خط النقل (mm/s):** يستخدم حساس الاهتزاز (MMA7361) في أنابيب

نقل المياه، حيث يتم تركيبه في نقاط المنتصف لخطوط الأنابيب لتحديد وجود مشاكل مثل التسربات أو التلف في الأنابيب، حيث يقوم هذا الحساس بتحويل الاهتزازات إلى إشارة كهربائية قابلة للقياس ويتم إرسالها إلى نظام التحكم من أجل تفسيرها لتحديد مصدر الاهتزازات.

٢- شريحة (Raspberry pi4):

وهي شريحة قابلة للبرمجة عن طريق البيئة البرمجية (Paython)، تحتوي على أقطاب للإدخال والإخراج، حيث تقوم هذه الشريحة بقراءة البيانات القادمة من الحساسات ومن ثم إرسالها إلى التطبيق البرمجي (odoo)، تم اختيار شريحة (Raspberry pi4) الأكثر قوة وتتميز بوحدة معالجة مركزية رباعية النواة ، بالإضافة إلى أنها توفر إمكانيات (Wi-Fi و Bluetooth) مدمجة مما يتيح سهولة الاتصال اللاسلكي، ويعد تثبيت البايثون على الشريحة خطوة حاسمة لبدء برمجة بايثون وهناك عدة طرق لتثبيت البايثون على الشريحة ولكل منها مزاياها واعتباراتها الخاصة، فكان الخيار هو استخدام الإصدار المثبت مسبقاً من بايثون والذي يأتي مع نظام التشغيل (Raspbian) ويتلخص عملها في هذا البحث:

• إعداد الحساسات المذكورة سابقاً لشريحة (Raspberry pi4)، من خلال توصيل الحساسات إلى أقطاب الشريحة.

• قراءة القيم القادمة من الحساسات وإرسالها لاسلكياً إلى التطبيق البرمجي (Odoo).

• يتم حفظ البيانات القادمة من الحساسات في قاعدة البيانات (SQL) في التطبيق البرمجي (Odoo).

٣- التطبيق البرمجي (Odoo):

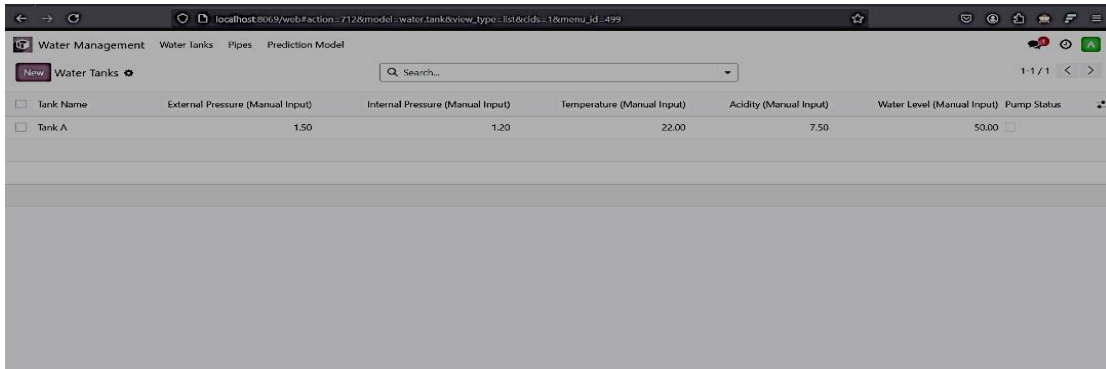
إن الاعتماد على الطرق التقليدية في إدارة محطات ضخ مياه الشرب لم يعد يجدي نفعاً، حيث يحتاج الأمر إلى الكثير من الخطوات لإتمام العمليات فيها، ولكن مع التطور التكنولوجي وانتشار الكثير من برامج إدارة المنشآت وعلى رأسها برنامج أودو أصبح الأمر مختلفاً عما سبق حيث يسهل هذا النظام كافة العمليات التي من شأنها إدارة المنشآت المختلفة وتحقيق أهدافها بكل كفاءة وفاعلية لتحقيق أقصى استفادة ممكنة، يعتمد العمل في هذا البرنامج على واجهة مستخدم سهلة وبسيطة، بالإضافة إلى عمله من خلال متصفح الويب عبر الانترنت، يعمل برنامج أودو بسلاسة كبيرة حيث يعطي أصحاب المنشآت القدرة على متابعة كل ما يحدث ويتم في الشركة مركزياً عن طريق استخدام الانترنت عبر صفحة الويب مما يجعل الأمر سهلاً ويمكن استخدامه من جميع أنواع الحواسيب والهواتف المحمولة التي تدعم الانترنت في أي مكان وأي وقت.

٣-١ إنشاء وحدة (Odoo) للتنبؤ بتسرب المياه باستخدام الشبكة العصبونية الاصطناعية:

يتطلب إنشاء هذه الوحدة عدة خطوات:

الخطوة الأولى: إعداد البيئة: من خلال تثبيت برنامج أودو والتأكد من إعداد بيئة بايثون مع مكتبات الذكاء الاصطناعي مثل (Keras) أو (Tensorflow).

الخطوة الثانية: إنشاء هيكلية الوحدة التي تحتوي على حقول خاصة بقيم الحساسات، بالإضافة إلى إنشاء نموذج العرض (View) لإنشاء واجهة المراقبة، يبين الشكل (2)، وحدة (Odoo) للتنبؤ بالتسرب وقد تم تسميتها (Water Management).



Tank Name	External Pressure (Manual Input)	Internal Pressure (Manual Input)	Temperature (Manual Input)	Acidity (Manual Input)	Water Level (Manual Input)	Pump Status
Tank A	1.50	1.20	22.00	7.50	50.00	<input type="checkbox"/>

الشكل (2): وحدة (Water Management) للتنبؤ بالتسرب.

الخطوة الثالثة: التنبؤ بالشبكة العصبونية الاصطناعية:

يتم تحديد ما إذا كان هناك تسرب في خط النقل الرئيسي من خلال مراقبة بيانات الضغط ومعدل التدفق واهتزاز خط النقل بشكل مستمر، لذلك تم تنفيذ نموذج الشبكات العصبونية الاصطناعية للتنبؤ بالتسربات وتعد الشبكات العصبونية الاصطناعية متعددة الطبقات ذات تغذية أمامية مع انتشار خلفي شبكة عصبونية مستخدمة على نطاق واسع في العديد من مجالات كشف التسرب، حيث يمكن التعامل مع العلاقات غير الخطية المعقدة بين المدخلات والمخرجات في العديد من الأنظمة.

اقترح باحثون [14] إطار عمل قائم على الشبكة العصبونية يمكن للمشغل استخدامه للتحقق من صحة تحديد التسرب.

طور باحثون [15] شبكة عصبونية متعددة الطبقات ذات انتشار خلفي للتنبؤ بانخفاض الضغط ثنائي وثلاثي الطور، لذلك تعد هذه الشبكة مناسبة لكشف التسريبات.

إن خطوات تحليل الشبكات العصبونية الاصطناعية (ANN) موحدة عموماً وتشمل:

١. جمع المعلومات، ٢. تحديد العصبونات للمدخلات، ٣. تحديد الطبقة المخفية وطبقة التنبؤ، ٤. تحديد دالة الخسارة، ٥. تدريب النموذج، ٦. التحقق من صحة النموذج.

في هذا البحث تم تصميم نموذج الشبكة العصبونية الاصطناعية وفقاً للخطوات المذكورة أعلاه، في التطبيق البرمجي أودو في وحدة الذكاء الاصطناعي (AI model).

• تصميم الشبكة العصبونية الاصطناعية:

١- تثبيت مكتبات بايثون المطلوبة مثل (Numpy) للحسابات العددية، (Matplotlib) لعرض البيانات، (Scikit learn) لتحميل ومعالجة بيانات الحساسات.

٢- محاكاة قراءات الحساسات باستخدام توليد بيانات عشوائية في بايثون لمحاكاة مدخلات الحساسات.

٣- تحويل قراءة البيانات إلى مصفوفة (لكي تستطيع مكتبة (panda) معالجة هذه البيانات).

٤- تقسيم المصفوفة إلى مصفوفتين الأولى (مصفوفة X) والتي تحوي على بيانات الحساسات، والمصفوفة الثانية (مصفوفة y) تحتوي على القيم المراد التنبؤ بها (0: عدم تسرب، 1: تسرب).

٥- تقسيم مجموعة البيانات إلى مجموعة تدريب ومجموعة تحقق ومجموعة اختبار.

٦- بناء وتدريب الشبكة العصبونية الاصطناعية: يتم بناؤها من خلال تحديد بنيتها (تم استخدام ثلاث طبقات كاملة الاتصال وهم: طبقة خفية 1: تحوي 32 عصبون ونطبق عليها تابع التفعيل (Relu) وشكل الدخل: خمسة مزايا (بيانات الحساسات)).

طبقة خفية 2: تحوي 32 عصبون ونطبق عليها تابع التفعيل (Relu)، أما طبقة الخرج تحوي عصبون واحد ونطبق عليها تابع التفعيل (Sigmoid)، حيث تعطى قيمة خرج الشبكة بالعلاقة التالية:

$$\text{Sigmoid}(B_1 * X + B_0) = \text{Predicted Probability}$$

حيث: B_1 : الاتصال الذي يربط كل خلية (x) في المدخل بالخلية في الطبقة التالية.

X: طبقة المدخلات، B_0 : معلمة التحيز لكل عصبون.

٧- تهيئة النموذج من خلال تحديد خوارزمية التحسين (Adam) وتابع الخسارة ومعدل التعلم ومقياس الدقة.

٨- البدء في عملية تدريب الشبكة: من خلال تجهيز معاملات الشبكة أي تحديد البيانات التي نريد تدريب الشبكة عليها وهي (X=train, Y=train)، ومن ثم تحديد حجم الدفعة واختيار فترة التدريب وفي النهاية يتم تحديد ماهية بيانات التحقق الخاصة لنتمكن من قياس أداء النموذج في كل نقطة من نقاط بيانات التحقق، (تم تحديد حجم الدفعة ب (32) وتشغيل خوارزمية الانتشار العكسي لعشرة دورات وبمعدل تعلم (0.1)).

٩- تقييم أداء الشبكة من خلال حساب مقياس الدقة على مجموعة بيانات الاختبار، تعطى علاقة الدقة رياضياً بالشكل التالي:

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$$

حيث: TP: قيمة التنبؤ الإيجابي الصحيح، FP: قيمة التنبؤ الإيجابي الخاطئ، TN: قيمة التنبؤ السلبي الصحيح، FN: قيمة التنبؤ السلبي الخاطئ

١٠- التمثيل البياني لكل من دالة الخسارة والدقة لمعرفة إذا كان نموذج الشبكة العصبونية الاصطناعية قد تمت ملائمته بشكل زائد أم لا.

الخطوة الرابعة: حفظ نموذج الشبكة العصبونية الاصطناعية (التي تم تصميمها وتدريبها) ضمن وحدة (Odo).

٤- محاكاة النظام المصمم للتنبؤ بتسرب المياه في خط النقل الرئيسي:

تشمل هذه المحاكاة دمج تنبؤات الشبكة العصبونية الاصطناعية المدربة مسبقاً، بالإضافة إلى إنشاء بيانات الحساسات، وآليات التنبؤ في تسرب المياه في خط النقل الرئيسي. سيتم استعراض عملية إجراء هذه المحاكاة خطوة بخطوة، باستخدام التعليمات البرمجية والأدوات، لتعطي فكرة عملية عن كيفية عمل النظام المصمم.

١-٤ إعداد ومحاكاة الحساسات:

بما أن هذا الإعداد النموذجي لبيانات الحساسات مدمج في تطبيق (Odo) ويتطلب أجهزة مادية، ولعدم توفرها جميعاً، تمت محاكاة قراءات الحساسات باستخدام توليد بيانات عشوائية في بايثون لمحاكاة مدخلات الحساسات.

٢-٤ التحليلات المتقدمة للبيانات:

تتضمن هذه التحليلات ما يلي:

- المتوسطات المتحركة: لتتبع بيانات الحساسات، مما يجعل الاتجاهات أكثر وضوحاً بمرور الوقت.
- اكتشاف الشذوذ: من خلال تحديد القيم المتطرفة (هي نقاط بيانات تختلف اختلافاً كبيراً عن نقاط البيانات الأخرى في مجموعة البيانات ويمكن أن يكون سببها أخطاء قياس أو أخطاء في إدخال البيانات)، تم هنا استخدام (درجة Z)، فهي تقيس عدد الانحرافات المعيارية التي تكون نقطة البيانات بعيدة عن الوسط.

٣-٤ محاكاة التنبؤ بالتسرب في خط النقل الرئيسي:

تمت هذه المحاكاة من خلال تعديل وحدة التنبؤ (model/predictions) في تطبيق (Odoo)، لتتمكن من قراءة البيانات وإجراء التنبؤ عليها من خلال استدعاء نموذج الشبكة العصبونية الاصطناعية المدربة مسبقاً والمدمج في وحدة التنبؤ.

٤-٤ لوحة معلومات المراقبة:

تقوم هذه اللوحة بإنشاء مخططات ديناميكية وتحديثات مباشرة مع تصور لجميع مقاييس الحساسات والتنبؤ بالتسرب .

ملاحظة: (الكود البرمجي لمحاكاة النظام المصمم موجود في الملحق).

٥-٤ محاكاة تحديد موقع التسرب على طول خط الأنابيب الرئيسي:

ويتم ذلك من خلال تقسيم خط الأنابيب الرئيسي إلى مقاطع ويتم حساب مواضع الحساسات ، بعد ذلك يتم إدخال التسرب في جزء عشوائي عن طريق تقليل قراءات الضغط والتدفق في اتجاه مجرى التسرب .

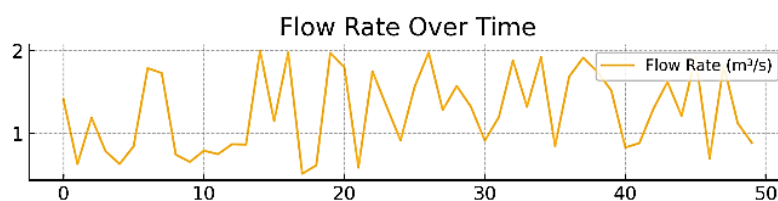
ملاحظة: برنامج محاكاة تحديد موقع التسرب في الملحق

٥- مناقشة نتائج محاكاة النظام المصمم:

تتضمن نتائج محاكاة النظام المصمم وصف تفصيلي للمقاييس حيث تم عرض أربع مخططات فرعية كل منها يمثل مقياساً رئيسياً على الشكل التالي:

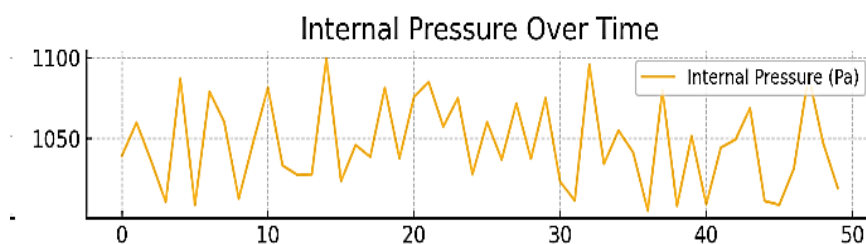
١- مقاييس أنابيب النقل:

• **معدل التدفق:** يقيس حجم المياه المتدفقة عبر خط النقل الرئيسي، وتشير الانحرافات الكبيرة عن النطاقات الطبيعية ($0.5-2 \text{ m}^3/\text{s}$) إلى وجود انسدادات أو تسربات، موضح في الشكل (3).



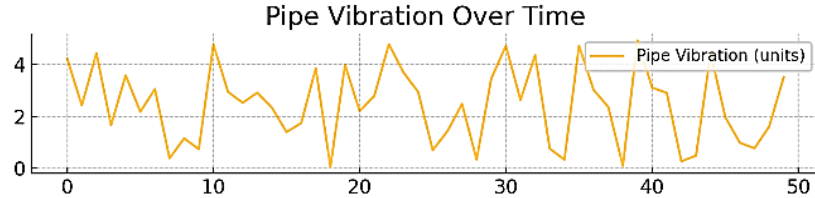
الشكل (3): قراءات معدل التدفق بمرور الوقت.

• **ضغط الماء داخل خط النقل:** يشير الضغط المنخفض (أصغر من 2 بار) إلى احتمالية وجود تسرب، بينما يشير الضغط العالي (أكبر من 8 بار) إلى وجود انسدادات في خط النقل، مبين في الشكل (4).



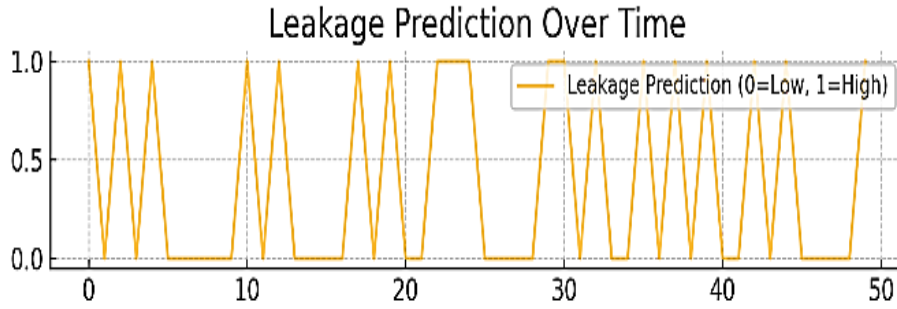
الشكل (4): قراءات ضغط الماء بمرور الوقت.

- اهتزاز خط النقل: يكتشف الاهتزازات الهيكلية في خط النقل، وتشير الاهتزازات العالية (أكبر من 3.5 mm/s) إلى تآكل الأنابيب أو نتيجة التأثيرات الخارجية عليها، مبين في الشكل (5).



الشكل (4): قراءات الاهتزازات بمرور الوقت.

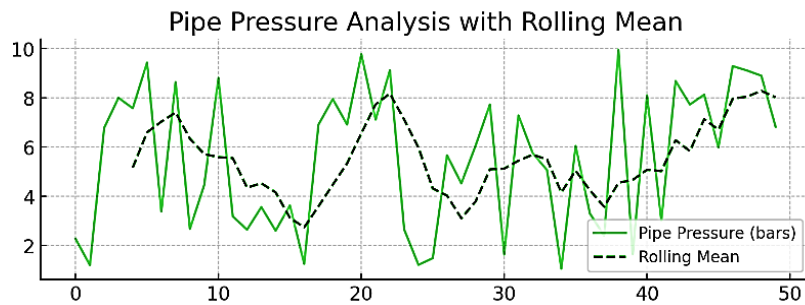
- التنبؤ بالتسرب: قائم على نموذج الشبكة العصبونية الاصطناعية المدربة مسبقاً، ومصمم بناءً على مقاييس (مستوى الماء واهتزاز الأنابيب طبعاً لأغراض المحاكاة فقط)، حيث يشير (0): إلى عدم تسرب، ويشير (1): إلى تسرب مما يستدعي الصيانة أو إيقاف تشغيل النظام، مبين في الشكل (5).



الشكل (5): التنبؤ بالتسرب

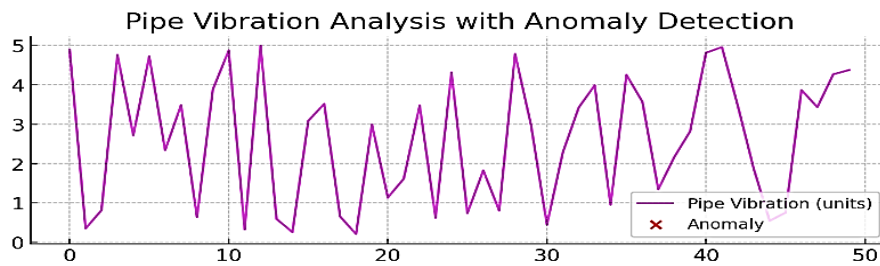
٢- مناقشة نتائج التحليلات المتقدمة للبيانات:

- تحليل ضغط المياه داخل خط النقل باستخدام المتوسط المتحرك: وذلك من أجل التركيز على الاتجاهات في ضغط الماء وتنعيم التقلبات العابرة وهذا يعطي صورة أوضح لاستقرار الضغط داخل خط النقل الرئيسي، مبين في الشكل (6).



الشكل (6): تحليل ضغط المياه داخل خط النقل باستخدام المتوسط المتحرك.

- تحليل اهتزازات خط النقل باستخدام طريقة كشف الشذوذ: وذلك من أجل تحديد القيم المتطرفة (هي نقاط بيانات تختلف اختلافاً كبيراً عن نقاط البيانات الأخرى في مجموعة البيانات ويمكن أن يكون سببها أخطاء قياس أو أخطاء في إدخال البيانات) في مستوى اهتزاز الأنابيب، وتشير الشذوذات عالية الاهتزاز إلى مشاكل هيكلية أو تأثيرات خارجية على خط النقل الرئيسي، يبين الشكل (7) عدم وجود قيم شاذة في اهتزازات خط النقل.



الشكل (7): تحليل اهتزاز خط النقل الرئيسي باستخدام طريقة كشف الشذوذ

٣- مناقشة نتائج تدريب نموذج الشبكة العصبونية الاصطناعية:

- أثناء تدريب الشبكة تمت ملاحظة انخفاض الخسارة وزيادة الدقة بمرور الوقت كما هو موضح في الشكل (8).

```

8 model.compile(optimizer='sgd',
9               loss='binary_crossentropy',
10              metrics=['accuracy'])
11 hist = model.fit(X_train, Y_train,
12                batch_size=32, epochs=100,
13                validation_data=(X_val, Y_val))
Epoch 56/100
1022/1022 [=====] - 0s 52us/step - loss: 0.3359 - acc: 0.8718 - val_loss: 0.3122 - val_acc: 0.8721
Epoch 57/100
1022/1022 [=====] - 0s 49us/step - loss: 0.3331 - acc: 0.8689 - val_loss: 0.3099 - val_acc: 0.8767
Epoch 58/100
1022/1022 [=====] - 0s 48us/step - loss: 0.3307 - acc: 0.8738 - val_loss: 0.3074 - val_acc: 0.8767
Epoch 59/100
1022/1022 [=====] - 0s 50us/step - loss: 0.3283 - acc: 0.8767 - val_loss: 0.3044 - val_acc: 0.8767
Epoch 60/100
1022/1022 [=====] - 0s 50us/step - loss: 0.3263 - acc: 0.8699 - val_loss: 0.3026 - val_acc: 0.8767
Epoch 61/100
1022/1022 [=====] - 0s 48us/step - loss: 0.3246 - acc: 0.8748 - val_loss: 0.3010 - val_acc: 0.8767
Epoch 62/100
1022/1022 [=====] - 0s 48us/step - loss: 0.3224 - acc: 0.8757 - val_loss: 0.2991 - val_acc: 0.8813
Epoch 63/100
1022/1022 [=====] - 0s 46us/step - loss: 0.3205 - acc: 0.8748 - val_loss: 0.2971 - val_acc: 0.8813

```

الشكل (8): تدريب الشبكة العصبونية الاصطناعية.

- عند تقييم أداء الشبكة تم حساب مقياس الدقة في مجموعة بيانات الاختبار فكانت الدقة: 0.89 كما هو موضح في الشكل (9).

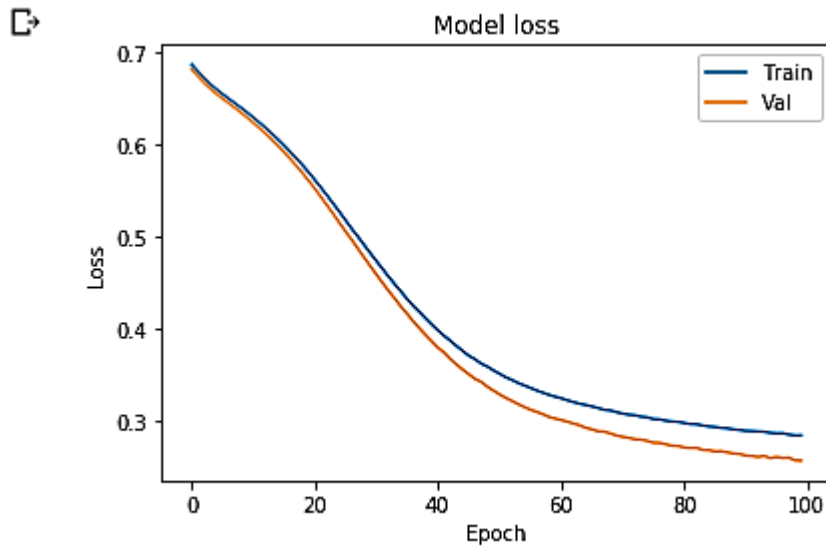
```

1 model.evaluate(X_test, Y_test)[1]
219/219 [=====] - 0s 76us/step
0.8904109624422849

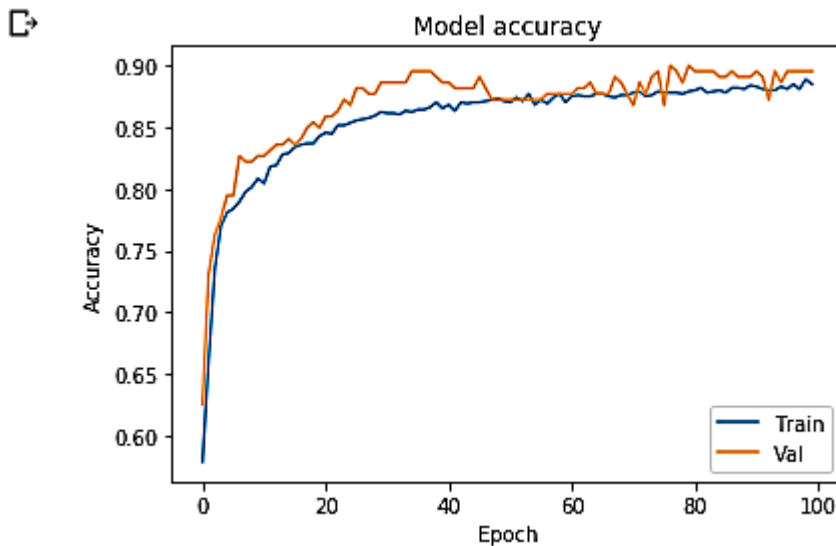
```

الشكل (9): تقييم أداء الشبكة العصبونية الاصطناعية.

- عند الرسم البياني لخسارة التدريب والتحقق والرسم البياني لدقة مجموعة التدريب والتحقق فإن التحسينات التي طرأت على النموذج لمجموعة التدريب تبدو متطابقة إلى حد ما مع التحسينات على مجموعة التحقق من الصحة وهذا يعني أن الملائمة بشكل زائد لا تمثل مشكلة كبيرة في النموذج، الرسم البياني موضح في الشكل (10)، (11).



الشكل (10): الرسم البياني لخسارة التدريب وخسارة التحقق.



الشكل (11): الرسم البياني لدقة التدريب ودقة الاختبار.

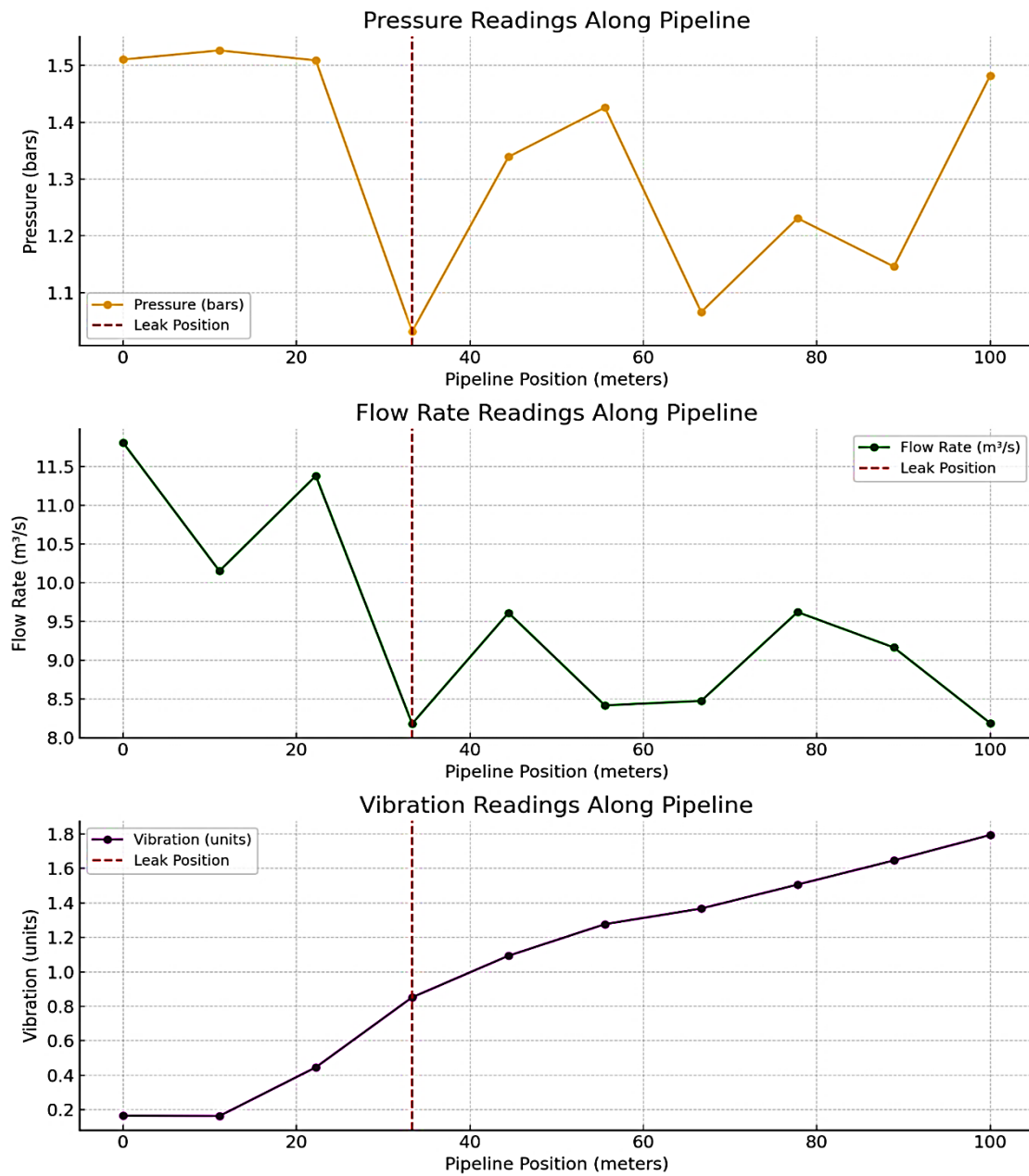
٤- مناقشة نتائج محاكاة موقع التسرب على طول خط النقل:

يبين الشكل (12)، الموقع التقريبي للتسرب على طول خط النقل ، حيث يمكن ملاحظة انخفاض الضغط إلى أقل من (0.5 بار) وبالتالي انخفاض في معدل تدفق المياه وفق العلاقتين الرياضيتين التاليتين:

$$Q=A*V$$

$$P=p.g.h$$

حيث: Q: كمية المياه التي تمر عبر الأنبوب، A: مساحة المقطع العرضي للأنبوب، V: سرعة المياه، P: ضغط الماء، p: كثافة الماء، g: تسارع الجاذبية، h: ارتفاع الماء. نلاحظ من المعادلتين السابقتين أنه إذا زاد ضغط الماء في الأنبوب فإن سرعة الماء ستزداد أيضاً وبالتالي تزداد كمية الماء (معدل التدفق) المار عبر الأنبوب وذلك لأن زيادة ضغط الماء تزيد من الطاقة الحركية لجزيئات الماء مما يزيد بدوره من سرعة تدفق الماء، وتراوحت اهتزازات خط النقل إلى (0.8mm/s) عند انخفاض الضغط إلى أقل من (0.5 bar).



الشكل (12): الموقع التقريبي للتسرب على طول خط النقل

٦- الخلاصة:

تم في هذا البحث تصميم نظام التحكم والتنبؤ بتسرب المياه في خط النقل الرئيسي الموجود في محطة الضخ في ريف طرطوس (مشروع الجكرة)، حيث اعتمد التصميم على دراسة جميع العوامل التي من الممكن أن تؤثر على التسرب، بالإضافة إلى استخدام التطبيق البرمجي (Odoo) الذي يعمل بسلاسة كبيرة ويعطي أصحاب المنشآت القدرة على متابعة كل ما يحدث ويتم استخدامه في مؤسسة المياه مركزياً عن طريق استخدام الانترنت عبر صفحة الويب، ومن خلاله تم استخدام نموذج الشبكة العصبونية الاصطناعية التي تم تدريبها مسبقاً من أجل التنبؤ بتسرب المياه داخل خط النقل الرئيسي حيث أعطت دقة جيدة في التنبؤ من خلال تقييم

أدائها عبر حساب مقياس الدقة على مجموعة بيانات الاختبار، حيث بلغت دقة التدريب (89%)، ودقة الاختبار (90%)، خسارة التدريب (0.3)، وخسارة التحقق (0.29).
نوصي باستخدام نظام التحكم المقترح في شبكات توزيع المياه واستخدام خوارزميات التعلم الآلي الأخرى ومقارنتها مع الشبكات العصبونية الاصطناعية للوصول إلى أفضل دقة في التنبؤ بالتسرب في أنظمة المياه مما يضمن حصول المواطنين على المياه وتأمينها على مدار الساعة.

٧ - المراجع:

- [1] Liu Z, Kleiner Y. State of the art review of inspection technologies for condition assessment of water pipes [J]. Measurement. 2013;46(1):1-15.
- [2] Chan TK, Chin CS, Zhong XH. Review of current technologies and proposed intelligent methodologies for water distributed network leakage detection [J]. IEEE Access. 2018; 6:78846- 78867.
- [3] Doshmanziari R, Khaloozadeh H, Nikoofard A. Gas pipeline leakage detection based on sensor fusion under model-based fault detection framework[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2020; 184:106581.
- [4] Duan HF. Transient frequency response based leak detection in water supply pipeline systems with branched and looped junctions[J]. Journal of Hydroinformatics. 2017;19(1):17-30.
- [5] Puust R, Kapelan Z, Savic DA, Koppel T. A review of methods for leakage management in pipe networks[J]. Urban Water Journal. 2010;7(1):25-45.
- [6] Abdulshaheed A, Mustapha F, Ghavamian A. A pressure-based method for monitoring leaks in a pipe distribution system: a review[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews. 2017;69: 902- 911.

- [7] Shukla A, Karki H. Application of robotics in onshore oil and gas industry- a review Part I [J]. Robotics and Autonomous Systems. 2016;75:490-507.
- [8] Datta S, Sarkar S. A review on different pipeline fault detection methods[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2016;41:97-106.
- [9] Tur JMM, Garthwaite W. Robotic devices for water main in-pipe inspection: a survey[J]. Journal of Field Robotics. 2010;27(4):491-508.
- [10] Riaratnam ST, Chandrasekaran M. Development of an innovative free-swimming device[C]. Construction Research Congress 2010:588-596.
- [11] Fletcher R, Chandrasekaran M. SmartBall™: A new approach in pipeline leak detection[C]. ASME2008. 2008(48586):117-133.
- [12] Chatzigeorgiou D, Youcef-Toumi K, Ben-Mansour R. Design of a novel in-pipe reliable leak detector[C]. IEEE-ASME Transactions on Mechatronics. 2015;20(2):824-833.
- [13] Chatzigeorgiou D, Youcef-Toumi K, Ben-Mansour R. Detection & estimation algorithms for in-pipe leak detection[C]. American Control Conference, Proceedings of the American Control Conference2014. 2014: 5508-5514.
- [14] Wu Y, Kim K, Henry MF, Youcef-Toumi K. Design of a leak sensor for operating water pipe systems[C]. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems.2017: 6075-6082.
- [15] Xu T, Chen S, Guo S, Huang X, Li J, Zeng Z. A small leakage detection approach for oil pipeline using an inner spherical ball [J]. Process Safety and Environmental Protection. 2019; 124:279-289.

الملحق

الكود البرمجي لمحاكاة النظام المصمم

```

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import random
from matplotlib.animation import FuncAnimation

# Initialize simulated sensor data and pump status
sensor_data = {
    "Temperature": [],
    "Humidity": [],
    "External Pressure": [],
    "Internal Pressure": [],
    "pH Level": [],
    "Water Level": [],
    "Leakage Prediction": [],
    "Pump Status": []
}

# Simulation function to generate random sensor readings
def simulate_sensor_readings():
    temperature = random.uniform(15.0, 30.0)
    humidity = random.uniform(30.0, 70.0)
    external_pressure = random.uniform(950, 1050)
    internal_pressure = random.uniform(1000, 1100)
    ph_level = random.uniform(6.5, 8.5)
    water_level = random.uniform(0, 100)

    # Simulate a simple AI prediction model output (0: no leakage, 1: high risk)
    leakage_prediction = 1 if water_level > 70 else 0 # Example logic for demo
    purposes

    # Control pump status based on water level
    pump_status = 1 if water_level < 20 else 0 if water_level > 80 else
    sensor_data["Pump Status"][-1] if sensor_data["Pump Status"] else 0

    # Append simulated data
    sensor_data["Temperature"].append(temperature)
    sensor_data["Humidity"].append(humidity)
    sensor_data["External Pressure"].append(external_pressure)
    sensor_data["Internal Pressure"].append(internal_pressure)
    sensor_data["pH Level"].append(ph_level)
    sensor_data["Water Level"].append(water_level)
    sensor_data["Leakage Prediction"].append(leakage_prediction)
    sensor_data["Pump Status"].append(pump_status)

# Setup matplotlib subplots for each sensor reading

```

```

fig, axs = plt.subplots(4, 2, figsize=(12, 8))
fig.suptitle("Real-Time Simulation of Water Leakage Monitoring")

def animate(i):
    simulate_sensor_readings() # Generate simulated data

    # Limit x-axis to the last 20 readings
    x = list(range(max(0, i - 20), i + 1))

    # Update each subplot with the latest data
    axs[0, 0].clear()
    axs[0, 0].plot(x, sensor_data["Temperature"][-20:], label="Temperature
(°C)")
    axs[0, 0].legend(loc="upper left")
    axs[0, 0].set_ylim(10, 35)

    axs[0, 1].clear()
    axs[0, 1].plot(x, sensor_data["Humidity"][-20:], label="Humidity (%)",
color="orange")
    axs[0, 1].legend(loc="upper left")
    axs[0, 1].set_ylim(20, 80)

    axs[1, 0].clear()
    axs[1, 0].plot(x, sensor_data["External Pressure"][-20:], label="External
Pressure (Pa)", color="green")
    axs[1, 0].legend(loc="upper left")
    axs[1, 0].set_ylim(900, 1100)

    axs[1, 1].clear()
    axs[1, 1].plot(x, sensor_data["Internal Pressure"][-20:], label="Internal
Pressure (Pa)", color="red")
    axs[1, 1].legend(loc="upper left")
    axs[1, 1].set_ylim(950, 1150)

    axs[2, 0].clear()
    axs[2, 0].plot(x, sensor_data["pH Level"][-20:], label="pH Level",
color="purple")
    axs[2, 0].legend(loc="upper left")
    axs[2, 0].set_ylim(5, 9)

    axs[2, 1].clear()
    axs[2, 1].plot(x, sensor_data["Water Level"][-20:], label="Water Level (%)",
color="cyan")
    axs[2, 1].legend(loc="upper left")
    axs[2, 1].set_ylim(0, 100)

    axs[3, 0].clear()

```

```

    axs[3, 0].plot(x, sensor_data["Leakage Prediction"][-20:], label="Leakage
Prediction (0=Low, 1=High)", color="magenta")
    axs[3, 0].legend(loc="upper left")
    axs[3, 0].set_ylim(-0.1, 1.1)

    axs[3, 1].clear()
    axs[3, 1].step(x, sensor_data["Pump Status"][-20:], label="Pump Status
(0=Off, 1=On)", color="brown", where="mid")
    axs[3, 1].legend(loc="upper left")
    axs[3, 1].set_ylim(-0.1, 1.1)

# Run the animation function at 1-second intervals
ani = FuncAnimation(fig, animate, interval=1000)
plt.tight_layout(rect=[0, 0, 1, 0.96])
plt.show()
////////////////////////////////////

```

ملحق

برنامج محاكاة تحديد موقع التسرب

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as pl
# Simulate pipeline with sensor placements and readings
pipeline_length = 100 # in meters
num_sensors = 10 # Number of sensors along the pipelin
sensor_positions = np.linspace(0, pipeline_length, num_sensors) # Sensor
positions
pressure_readings = np.random.uniform(1.5, 2.0, num_sensors) # Simulated
normal pressure (bars)
flow_readings = np.random.uniform(10, 12, num_sensors) # Simulated normal
flow (m3/s)
# Introduce a leak at a random position
leak_position = np.random.choice(sensor_positions[1:-1]) # Avoid endpoints
pressure_drop = 0.5 # Simulate pressure drop due to leak
affected_index = np.where(sensor_positions == leak_position)[0][0]

```