اكتشاف التسريبات في خطوط أنابيب النفط والغاز باستخدام الذكاء الاصطناعي وتقنية التوأم الرقمي

أ.د. أحمد خلف سليطي، أستاذ الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة - جامعة قطر

وهيب أحمد العماري، باحث مساعد، كلية الهندسة - جامعة قطر

د. محمد عزيز الرحمن، أستاذ مشارك في كلية العلوم والهندسة - جامعة حمد بن خليفة

د. ماثيو هاميلتون، أستاذ مساعد في علوم الحاسوب - جامعة ميموريال، كندا

تُشكِّل التسريبات في خطوط الأنابيب خطرًا بيئيًا كبيرًا وتهديدًا لاستمرارية العمل في صناعة النفط والغاز، ويُمكِن للاكتشاف المُبكر والدقيق لهذه التسريبات أن يوفر الموارد ويمنع الكوارث. وعلى الرغم من أن الطرق التقليدية لاكتشاف التسريبات فعَّالة، فإن تعقيد الشبكات الهائلة لخطوط الأنابيب البحرية يستدعي حلولاً أكثر ابتكارًا. ومن هذه الحلول المتقدمة هي تطبيق تقنية التوأم الرقمي المدعومة بالذكاء الاصطناعي.

ما هو التوأم الرقمي؟

التوأم الرقمي هو تمثيل افتراضي للأصول المادية (النظام الموجود على أرض الواقع، مثل أنابيب النفط والغاز). وفي حالة اكتشاف التسريبات في خطوط الأنابيب، يعمل التوأم الرقمي كمحاكاة رقمية للشبكة بأكملها، مما يسمح بالمراقبة في الوقت الفعلي والصيانة التنبؤية والتحليل المُتقدم للبيانات. ويتم تحديث هذا النموذج الافتراضي باستمرار باستخدام بيانات مباشرة من أجهزة استشعار مثبَّتة على خطوط الأنابيب الفعلية، وذلك من خلال دمج بيانات المستشعرات والخوارزميات القائمة على التعلُّم الآلي وتقنيات التصوُّر المتقدمة. ويُمكِن للتوأم الرقمي المدعوم بالذكاء الاصطناعي محاكاة سلوك خط الأنابيب تحت ظروف مختلفة، بما في ذلك حالات التسريب.

لا تقتصر تقنية التوأم الرقمي على محاكاة البُنية الفيزيائية لخطوط الأنابيب فحسب، بل تدمج أيضًا بيانات الوقت الفعلي وظروف البيئة وأداء الأنابيب مع مرور الوقت، مما يوفر تمثيلاً دقيقًا للحالة التشغيلية لخط الأنابيب. هذه التقنية مفيدة بشكلٍ خاص لخطوط الأنابيب البحرية التي يصعب الوصول إليها ومراقبتها نظرًا لمواقعها النائية والبيئات القاسية.

دور التوأم المرئي في اكتشاف التسريبات

يُعد التوأم المرئي من الابتكارات الرئيسية في تقنية التوأم الرقمي، الذي يجمع بين النموذج الرقمي وتقنيات التصوُّر عالية الدقة باستخدام محركات الألعاب. هذه التصوُّرات تُتيح للمشغلين التفاعل مع التوأم الرقمي بطريقة ديناميكية وعملية. وعلى سبيل المثال كما في الشكل 1، ضمن سياق اكتشاف التسريبات، يعرض التوأم المرئي تمثيلاً واقعيًا وفي الوقت الفعلي لخط الأنابيب تحت البحر، مما يُسهل على المشغلين تحديد التسريبات المحتملة وفهم الظروف المحيطة بها.

يتم استعراض خطوط الأنابيب بطريقة رقمية ومرئية بواسطة تدفُّقات بيانات مباشرة من المُستشعرات التي تُراقب الضغط ودرجة الحرارة ومعدل التدفُّق والمؤشرات الرئيسية الأخرى. بعد ذلك يتم تعيين هذه البيانات على التوأم المرئي، مما يوفر

من اليمين: الأستاذ الدكتور أحمد سليطي، ووهيب العماري.

بيئة تفاعلية ثلاثية الأبعاد حيث يُمكِن للمشغلين استكشاف خط الأنابيب في الوقت الفعلي. تساعد هذه التقنية المشغلين على فهم أفضل للوضع المحيط بهم، مما يقلل من الإجهاد، ويُسهل عليهم اكتشاف التسريبات بسرعة وتوقُّع تأثيراتها المحتملة.

كيف يُعزز التوأم الرقمي اكتشاف التسريبات؟

واحدة من التحديات الرئيسية في اكتشاف التسريبات في خطوط الأنابيب هي إدارة كميات البيانات الهائلة التي تنتجها المستشعرات، وتواجه خطوط الأنابيب البحرية – على وجه الخصوص – تصميمات مُعقدة وتعمل في ظروف قاع البحر المتنوعة، هذا بدوره يجعل من الصعب إنشاء نماذج رياضية دقيقة لتدفُّق السوائل وسلوك خطوط الأنابيب. في هذه الحالة تُستخدم طرق تقليدية مثل نموذج الزمن الفعلي المُمتد (E-RTTM) ورصد الانبعاث الصوتي، ولكنها غالبا ما تفشل عند تطبيقها على خطوط أنابيب طويلة أو في حالات التسريب المتعددة.

تُعالج تقنية التوأم الرقمي المُعززة بالذكاء الاصطناعي هذه التحديات من خلال دمج خوارزميات التعلُّم الآلي حيث يتم تدريب هذه الخوارزميات باستخدام بيانات متوفرة من فترات التشغيل المنصرمة لتحديد الأنماط التي تشير إلى حدوث تسريبات في الفترات القادمة في المستقبل. ويمكن للنظام محاكاة سيناريوهات تسريب متعددة، بما في ذلك اختلافات حجم وموقع التسريب على طول خط الأنابيب، والتنبؤ بالنتائج المحتملة.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن للتوأم الرقمي اكتشاف التسريبات المتعددة في نفس الوقت، وهو تحسُّن كبير عن الطرق التقليدية التي غالبًا ما تفشل في اكتشاف التسريبات المتعددة، حيث أن القدرة على تحليل البيانات من مصادر متعددة في الوقت الفعلي، إلى جانب تقنيات التصور المتقدمة، تُتيح للمشغلين تحديد التسريبات بسرعة واتخاذ الإجراءات اللازمة.

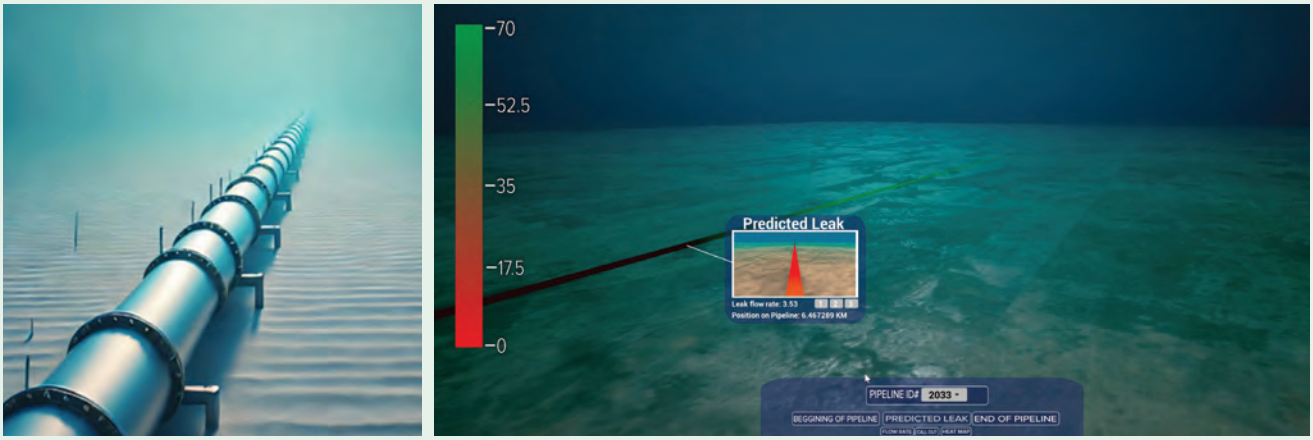
مستقبل اكتشاف التسريبات

مع استمرار تطوُّر صناعة النفط والغاز، تُصبح الحاجة إلى أنظمة اكتشاف تسريبات متقدمة أكثر أهمية. تُقدم تقنية التوأم الرقمي جنبًا إلى جنب مع التعلُّم الآلي والمرئي عالي الدقة، حلاً قويًا للتحديات التي تواجهها التسريبات في خطوط الأنابيب البحرية. وتُمثل القدرة على مراقبة خطوط الأنابيب باستمرار، واكتشاف التسريبات في الوقت الفعلي، والتنبؤ بالأعطال المستقبلية تغييرًا جوهريًا في الصناعة.

من المتوقع في المُستقبَل أن تتضمن التطوُّرات الإضافية في تقنية التوأم الرقمي نماذج أكثر تعقيدًا يمكنها محاكاة مجموعة أوسع من سيناريوهات التسريب. ومع جمع المزيد من البيانات ستصبح الخوارزميات أكثر دقة، مما يجعل من المُمكن التنبؤ بالتسريبات قبل حدوثها. بالإضافة إلى ذلك، سيتيح دمج الذكاء الاصطناعي في النظام، الكشف الآلي الكامل عن التسريبات والاستجابة لها، مما يقلل بشكلٍ أكبر من مخاطر الأضرار البيئية وتوقف العمليات.

الخاتمة

يُمثل نشر تقنية التوأم الرقمي المعززة بالذكاء الاصطناعي لاكتشاف التسريبات في خطوط أنابيب النفط والغاز خطوة مهمة في تقدم للصناعة. وتوفر التوائم الرقمية من خلال دمج بيانات المستشعرات المباشرة، وخوارزميات التعلُّم الآلي، والنمذجة التفاعلية المرئية، دقة لا مثيل لها في اكتشاف وإدارة تسريبات خطوط الأنابيب. هذه الحلول المبتكرة لا تُحسِّن فقط الكفاءة التشغيلية ولكنها تُساهم أيضًا في الحفاظ على البيئة من خلال ضمان اكتشاف التسريبات ومعالجتها في أسرع وقت ممكن. ومع استمرار تطوُّر هذه التقنية، فإنها ستضع – بلا شك – معايير جديدة لمراقبة خطوط الأنابيب واكتشاف التسريبات في المُستقبَل.



الشكل (1): (يمين) نموذج رقمي مرئي لخط الغاز مع إظهار موقع التسريب، (يسار) خط نقل غاز في بيئة بحرية.