



منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول  
أوابك

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

جميع حقوق الطبع محفوظة، ولا يجوز إعادة النشر أو الاقتباس دون إذن خطي مسبق من المنظمة، 2021

---

## منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)

ص.ب 20501 الصفاة الكويت 13066

هاتف 24959000 (965) - فاكسميلي 24959755 (965)

الموقع على الإنترنت: [www.oapecorg.org](http://www.oapecorg.org)

البريد الإلكتروني: [oapec@oapecorg.org](mailto:oapec@oapecorg.org)

---



منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول  
أوابك

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

إعداد  
م. عماد ناصيف مكي  
خبير أول تكرير  
المشرف على إدارة الشؤون الفنية

إعتماد  
السيد علي سبت بن سبت  
الأمين العام

دولة الكويت - أيلول / سبتمبر 2021

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

## مقدمة

تعيش الصناعة البترولية في عالم تسوده تغيرات متسارعة مدفوعة بالتطورات التكنولوجية الهائلة، أو ما يسمى بالتحول الرقمي، حيث أصبح مستقبل المنشآت الصناعية مرهونا بمدى قدرتها على استخدام التكنولوجيا المتطورة في مواجهة التحديات التي تعترضها، وتحسين قدرتها على البقاء في بيئة أعمال تسودها المنافسة الشديدة.

تهدف هذه الدراسة إلى التعريف بدور التقنيات الرقمية في تحسين الأداء التشغيلي والاقتصادي لصناعة التكرير والبتروكيماويات بما يمكنها من تعزيز مرونتها في التعامل مع العديد من القضايا الأساسية المتعلقة بتطوير أداء العمليات الإنتاجية، وتعظيم كفاءة وقدرة العاملين على مواجهة مشكلات التشغيل والصيانة.

يتضمن **الفصل الأول** تعريفاً بمفاهيم تقنيات التحول الرقمي المستخدمة في صناعة التكرير والبتروكيماويات، ومجالات تطبيقها، مثل إنترنت الأشياء الصناعي Industrial Internet of Things والتوأم الرقمي Digital Twin، والذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence، وتعليم الآلة Machine Learning، والفضاء السحابي Cloud System، والحوسبة السحابية Cloud Computing، وتحليلات البيانات الضخمة Big Data Analytics، والروبوتات التكيفية Adaptive Robotics، والواقع المعزز Augmented Reality.

كما يستعرض **الفصل الثاني** دور استخدام التطبيقات الرقمية في تحسين الأداء التشغيلي والاقتصادي لصناعة التكرير والبتروكيماويات، من خلال تحسين العمليات الإنتاجية، وإدارة برامج الصيانة بأنواعها الدورية والطارئة والتنبؤية، وسرعة الاستجابة لتغيرات الطلب على المنتجات، واستخدام نظم المراقبة لرفع مستوى الالتزام بإجراءات الصحة والسلامة المهنية، وخفض الانبعاثات الملوثة للبيئة، وتدريب العاملين وتحسين قدراتهم على مواجهة الحالات الطارئة والحد من التوقفات غير المبرمجة.



أما **الفصل الثالث** فيتناول مراحل تطبيق مشروع التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيماويات، وعوامل نجاح تطبيق التقنيات الرقمية بما يحقق الأهداف المرجوة منها.

ولتعظيم الاستفادة من الدراسة والاطلاع على تجارب الآخرين في تنفيذ مشاريع التحول الرقمي استعرضت الدراسة العديد من دراسات الحالة والأمثلة العملية لمشاريع التحول الرقمي المطبقة في صناعة التكرير والبتروكيماويات في مناطق مختلفة من العالم، وفي بعض الدول العربية، مثل دولة الإمارات العربية المتحدة، والمملكة العربية السعودية، ودولة الكويت، وسلطنة عمان، مع الإشارة إلى الفوائد التي تحققت نتيجة تنفيذها.

وفي الختام خلصت الدراسة إلى بعض الاستنتاجات والتوصيات، من أهمها التأكيد على أهمية تطبيق التكنولوجيا الرقمية وتقنيات الذكاء الاصطناعي في الدول الأعضاء في أوابك لما لها من دور فعال في تعزيز القدرة التنافسية لصناعة التكرير والبتروكيماويات في الأسواق العالمية من خلال تعزيز الأداء التشغيلي، ورفع كفاءة العمليات الإنتاجية، وتحسين جاهزية وموثوقية المعدات والوحدات الإنتاجية، وخفض فرص حدوث الأعطال الطارئة.

تأمل الأمانة العامة أن تساهم هذه الدراسة في تقديم الفائدة المرجوة منها للمختصين في صناعة التكرير والبتروكيماويات في الدول الأعضاء.

والله ولي التوفيق،،،

الأمين العام

علي سبت بن سبت

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

## قائمة المحتويات

2	مقدمة
4	قائمة المحتويات
6	قائمة الأشكال
6	قائمة الجداول
7	ملخص تنفيذي
16	الفصل الأول
16	تقنيات التحول الرقمي- مفاهيم أساسية
16	1-1: مقدمة
17	2-1: تعريف التحول الرقمي
21	3-1: إنترنت الأشياء الصناعي Industrial Internet of Things
21	1-3-1: الفرق بين إنترنت الأشياء IOT وإنترنت الأشياء الصناعي IIOT
23	2-3-1: معيقات تطبيق إنترنت الأشياء الصناعي
24	4-1: تكنولوجيا الروبوتات الصناعية
25	5-1: الواقع المعزز Augmented Reality
27	6-1: الحوسبة السحابية Cloud Computing
30	7-1: الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence
31	8-1: تعليم الآلة Machine Learning
32	9-1: التوأم الرقمي Digital Twin
38	10-1: المستشعرات الافتراضية Virtual Sensors
39	الفصل الثاني
39	تطبيقات التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات
39	1-2: مقدمة
39	2-2: دوافع تطبيق التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيماويات
41	3-2: مجالات تطبيق التقنيات الرقمية في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات
43	4-2: تحسين العمليات الإنتاجية



50	5-2: تحسين كفاءة عمليات الصيانة
56	6-2: التحكم بمشكلات التآكل
60	7-2: ترشيد استهلاك الطاقة
63	8-2: تدريب العاملين
65	9-2: إعداد التصاميم الهندسية
65	10-2: الاستجابة لتغيرات السوق
66	10-2: تطبيق إجراءات الصحة والسلامة المهنية وحماية البيئة
67	11-2: تعزيز التعاون بين العاملين
68	12-2: تعظيم الاستفادة من فرص التكامل بين المصافي المتجاورة
71	<b>الفصل الثالث</b>
71	إجراءات تطبيق التقنيات الرقمية في صناعة التكرير والبتروكيمياويات
71	1-3: مقدمة
71	2-3: دوافع تطبيق التقنيات الرقمية في صناعة التكرير والبتروكيمياويات
72	3-3: مراحل تطبيق التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيمياويات
73	4-3: عوامل نجاح مشروع التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيمياويات
82	5-3: مستقبل التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيمياويات
84	6-3: تطورات التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيمياويات في الدول العربية
89	<b>الاستنتاجات والتوصيات</b>
91	<b>المصطلحات والمختصرات</b>
94	Abstract
96	<b>المراجع</b>

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

## قائمة الأشكال

رقم الصفحة	الموضوع
16	الشكل 1-1: التطور التاريخي للثورات الصناعية.....
18	الشكل 2-1: المجالات الخمس للتحول الرقمي.....
22	الشكل 3-1: العناصر الرئيسية للإنترنت الصناعي للأشياء.....
25	الشكل 4-1: نماذج روبوتات تستخدم لتنفيذ المهام في الأماكن المحصورة.....
26	الشكل 5-1: تطبيق تقنية الواقع المعزز في عمليات إصلاح المعدات في موقع العمل.....
26	الشكل 6-1: تطبيق الواقع المعزز في تدريب المشغلين على مواقع المعدات في الوحدات الإنتاجية.....
27	الشكل 7-1: المكونات الرئيسية لمنظومة الحوسبة السحابية.....
29	الشكل 8-1: خصائص تقنية الحوسبة السحابية.....
32	الشكل 9-1: تطبيقات تقنية تعليم الآلة.....
33	الشكل 10-1: تطبيقات تقنية التوأم الرقمي في تنفيذ مبادرات التميز التشغيلي.....
34	الشكل 11-1: مجالات تطبيق التوأم الرقمي في التخطيط لمراحل دورة حياة المصنع.....
42	الشكل 1-2: مجالات تطبيق التقنيات الرقمية في مصفاة تكرير النفط.....
44	الشكل 2-2: تطبيقات التحول الرقمي في تحسين عمليات صناعة التكرير والبتروكيماويات.....
49	الشكل 3-2: جهاز قياس صوت اهتزاز الخط الخارج من صمام تحرير الضغط.....
51	الشكل 4-2: الأقطاب الرئيسية لتطبيق التقنيات الرقمية في إدارة أداء الأصول.....
58	الشكل 5-2: نموذج روبوت لفحص جدران الخزانات والمفاعلات.....
59	الشكل 6-2: التقنيات الرقمية لمراقبة التآكل.....
63	الشكل 7-2: مخطط سير عملية وحدة التقطير الجوي والفراغي.....
64	الشكل 8-2: دورة تدريب صيانة ضواغط غاز عبر الهاتف النقال.....
69	الشكل 9-2: وظائف مركز العمليات الإقليمي للتكامل بين المصافي المتجاورة.....
73	الشكل 0-3: المراحل الأساسية لعملية التحول الرقمي.....
75	الشكل 2-3: مستويات تطبيق التقنيات الرقمية في صناعة التكرير والبتروكيماويات.....
88	الشكل 3-3: مشروع الدقم المتكامل للطاقة والمياه-سلطنة عمان.....

## قائمة الجداول

20	الجدول 1-1: مجالات تطبيق التحول الرقمي وانعكاساتها على عمل الشركات.....
----	---

## ملخص تنفيذي

### دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

يعرف التحول الرقمي Digital Transformation في الصناعة بأنه عملية استخدام التكنولوجيا الرقمية Digital technology بهدف تحقيق التميز في أداء الشركات، وتعزيز قدرتها التنافسية. يؤثر التحول الرقمي في استراتيجيات الشركات من خلال خمس مجالات رئيسية هي: الزبائن، والمنافسة، والبيانات، والابتكار، والقيمة. وهي المجالات التي يمكن للتقنيات الرقمية تغيير القواعد التي يجب أن تعمل الشركات من خلالها لتحقيق النجاح المنشود. يبين **الجدول-1** مجالات تطبيق التحول الرقمي وتأثيرها على عمل الشركات.

#### الجدول-1: مجالات تطبيق التحول الرقمي وانعكاساتها على عمل الشركات

المجال	قبل	بعد
الزبائن	الاتصال بالزبائن جماعي، والشركة هي المؤثر الأساسي في إقناع الزبون.	التواصل مع الزبائن تفاعلي، والزبون هو المؤثر الرئيسي في تسويق المنتج.
المنافسة	الشركات المنافسة محددة ومعروفة.	المنافسة مفتوحة، والمنافسون غير معروفين.
البيانات	<ul style="list-style-type: none"> <li>إنتاج البيانات يتم عبر تخطيط مسبق لعمليات استطلاع رغبات الزبائن.</li> <li>ينحصر استخدام البيانات بشكل أساسي للتقييم والتنبؤ واتخاذ القرار.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>يتم إنشاء البيانات بشكل مستمر من خلال كل محادثة، أو تفاعل، أو نشاط داخل، أو خارج الشركة عبر وسائل التواصل الحديثة.</li> <li>تستخدم البيانات الضخمة" في الحصول على أنواع جديدة من التنبؤات، وكشف الأنماط غير المتوقعة من النشاط التجاري، وفتح مصادر لتحسين القيمة.</li> </ul>
الابتكار	<ul style="list-style-type: none"> <li>تركز جهود الشركات نحو الابتكار في المنتج النهائي.</li> <li>تستند القرارات المتعلقة بالابتكار إلى تحليل المديرين وحدهم.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>يعتمد الابتكار على التعلم المستمر.</li> <li>سهولة اختبار الأفكار الإبداعية من خلال آراء الزبائن ومتطلبات الأسواق.</li> </ul>
القيمة	قيمة الشركة ثابتة ولا تتغير	القيمة متغيرة حسب متطلبات السوق



# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

يتركز الهدف الرئيسي للتحول الرقمي في تعزيز القدرة التنافسية للشركات، من خلال تحسين كفاءة استخدام الموارد، وتعظيم الإنتاجية، وذلك باستخدام التكنولوجيات الرقمية مثل الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligent (AI)، والفضاء السحابي Cloud system، والحوسبة السحابية Cloud Computing، وتحليلات البيانات الضخمة Big Data Analytics، والروبوتات التكيفية Adaptive Robotics، والواقع المعزز Augmented Reality، وإنترنت الأشياء الصناعي Industrial Internet of Things (IoT)

## إنترنت الأشياء الصناعي Industrial Internet of Things

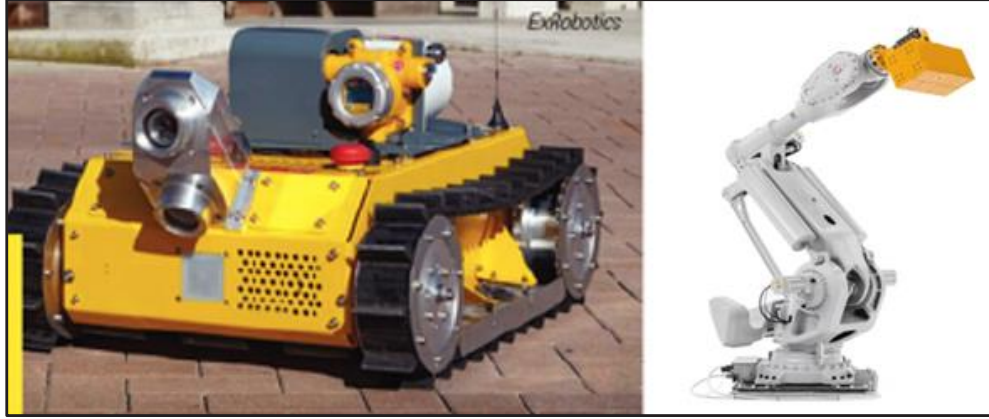
يتكون إنترنت الأشياء الصناعي من ثلاث عناصر رئيسية هي الأجهزة الذكية، وتقنية تحليل البيانات المتقدمة، والأشخاص العاملين في موقع العمل. ترتبط هذه العناصر فيما بينها بواسطة تقنيات الاتصالات الحديثة التي تؤدي إلى نظم يمكنها تجميع، وتبادل، وتحليل البيانات، وتقديم رؤى جديدة ثمينة، تستطيع من خلالها الشركات الإنتاجية اتخاذ القرارات بسرعة أعلى وأكثر فعالية.

تلعب البيانات دوراً أساسياً في أي مصنع، وتمثل الجزء الأهم في عملية إعداد نموذج إنترنت الأشياء الصناعي، حيث تساعد هذه البيانات في تقييم الحالة الراهنة للآلات المختلفة، وتحديد الظروف التي يمكن أن تؤثر في العمليات الإنتاجية، وبالتالي تحديد إجراءات تحسين الأداء التشغيلي والاقتصادي للشركات.

## تكنولوجيا الروبوتات الصناعية

يعتمد مبدأ عمل الروبوتات الصناعية على الجمع بين المعالجات الدقيقة Microprocessors وتقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) بهدف تنفيذ المهام في الأماكن المحصورة أو الخطرة في المصانع، أو التي تفوق القدرة الجسدية للإنسان، أو لتسريع عمليات الإنتاج وتقليل التكاليف. يبين الشكل-1 نماذج روبوتات تستخدم لتنفيذ المهام في الأماكن المحصورة.

**الشكل -1: نماذج روبوتات تستخدم لتنفيذ المهام في الأماكن المحصورة**



**الواقع المعزز Augmented Reality**

تعتمد تكنولوجيات الواقع المعزز على مبدأ التكامل بين كل من عمليات وصف بيئة العمل الحقيقية، وبين المعلومات المتعلقة بهذه البيئة، بهدف تمكين المستخدم من تصورها بشكل أوضح وأشمل. وتستخدم هذه التقنية في مجالات عديدة، مثل عمليات الصيانة في موقع العمل، حيث تظهر تعليمات افتراضية على لوحة عرض تبين مراحل عملية الفحص والإصلاح، وفي نفس الوقت يتم بث صور مباشرة إلى خبراء الصيانة توضح الأجزاء التالفة أو التي تحتاج إلى إصلاح، فيقوم الخبراء بإرسال رسائل نصية معززة بالمخططات التي توضح مراحل عملية إصلاح العطل. كما تستخدم تقنية الواقع المعزز في تدريب المشغلين، أثناء وجودهم في العمل، وذلك بتنظيم دورات تدريبية عن بعد من قبل خبراء مختصين، وتظهر مواقع وأشكال المعدات بالتصوير ثلاثي الأبعاد بطريقة تحاكي الواقع الحقيقي.

**الشكل -2: تطبيق الواقع المعزز في تدريب المشغلين على مواقع المعدات في الوحدات الإنتاجية**



# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

## الحوسبة السحابية

تعرف الحوسبة السحابية بأنها خدمات تقدم للمستخدمين عبر الإنترنت، كعمليات الحوسبة وتخزين البيانات والبرامج، من خلال خوادم موجودة في أماكن بعيدة. فبالإضافة إلى إمكانية الاستغناء عن الأماكن اللازمة لإنشاء مراكز بيانات تكنولوجيا المعلومات IT Data Centers، والخادم المحلي، توفر هذه التقنية سهولة الوصول إلى معدات الحوسبة الافتراضية، وتخزين كميات هائلة من البيانات التي تصبح جاهزة للاستخدام في صناعة القرار.

## الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence



تستخدم تقنية الذكاء الاصطناعي (AI) للاستفادة من البيانات والتجارب السابقة في تشغيل أجهزة التحكم بعمليات التصنيع. أي أن الآلات في المصنع يمكنها استخدام البيانات السابقة للتنبؤ بالأحداث المستقبلية. ويمكن أن تشمل هذه التنبؤات مجال صيانة المعدات، أو تقييم حالات اضطراب ظروف تشغيل العمليات التي قد تحدث في المصنع.

## تعليم الآلة Machine Learning

تعليم الآلة هو تطبيق للذكاء الاصطناعي يمنح أجهزة الكمبيوتر القدرة على التعلم، لكي تقوم بتصرفات مماثلة لما يفعله البشر، مع تحسين تعلمهم بمرور الوقت بطريقة ذاتية، من خلال تزويد هذه الأجهزة بالبيانات والمعلومات على شكل ملاحظات وتفاعلات في الزمن الحقيقي. ويتم ذلك باستخدام الخوارزميات التي يمكنها تحليل البيانات، والتعلم منها، ثم اتخاذ قرار، أو التنبؤ بوقوع حدث ما.

## التوأم الرقمي Digital Twin

يعرف التوأم الرقمي بأنه نسخة افتراضية مطابقة لمكونات المصنع أو الوحدة الإنتاجية ومعداتنا، ويستخدم لتمثيل الأشياء المادية، ووصف حالتها وسلوكها بشكل دقيق باستخدام البيانات التي ترسلها

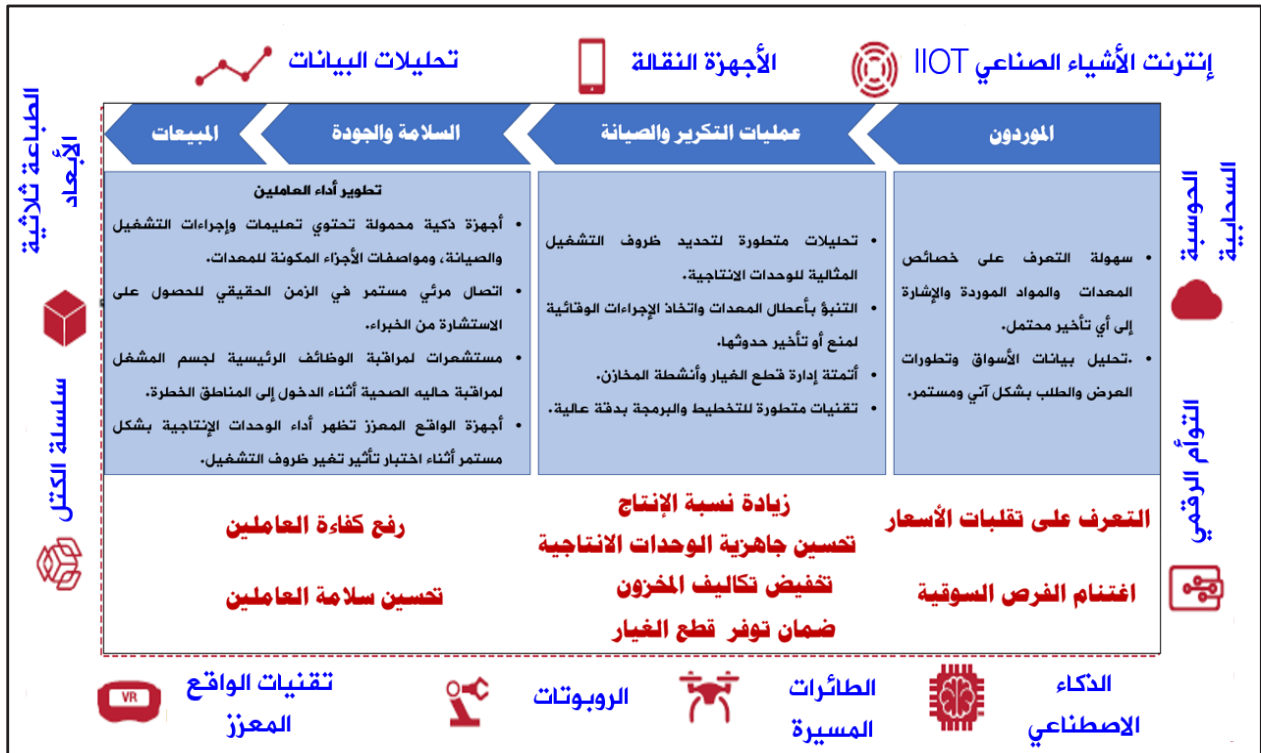
المستشعرات. كما يمكن أن يتنبأ التوأم الرقمي بالأحداث المستقبلية، أو الأعطال المحتملة لنظيره المادي قبل حدوثها، ويمكنه أيضاً اقتراح طرق لمنع تكرار تلك الأعطال.

## تطبيقات التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

تمتلك صناعة التكرير والبتروكيماويات كمية هائلة من البيانات التي يتم الحصول عليها من قراءات أجهزة التحكم بالعمليات خلال سنوات طويلة سابقة، علاوة على نتائج التحاليل المخبرية للمنتجات والمواد الخام وغيرها، علاوة على مئات، وحتى الآلاف من المتغيرات التي ترتبط فيما بينها بعلاقات غير خطية تفوق قدرة الإنسان على استيعابها. وعند معالجة هذه البيانات يمكن للمشغلين الاطلاع على انعكاسات القرارات التشغيلية واستخدامها في تعزيز الكفاءة والربحية عبر لوحة عرض الكترونية سهلة الاستخدام.

يمكن تطبيق الحلول الرقمية الحديثة في مجالات عديدة في عمليات التكرير والبتروكيماويات، بدءاً من العمليات اللوجستية، مروراً بعمليات التكرير، وعمليات ضبط جودة المنتجات، وحتى إدارة عمليات البيع والتوزيع. يبين الشكل-3 مجالات تطبيق التقنيات الرقمية في مصفاة تكرير النفط.

### الشكل-3: مجالات تطبيق التقنيات الرقمية في مصفاة تكرير النفط



# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

## تحسين العمليات الإنتاجية

تلعب التكنولوجيا الرقمية دوراً مهماً في تعزيز القيمة المضافة لصناعة التكرير والبتروكيماويات، حيث تقوم تقنية إنترنت الأشياء الصناعي بمعالجة بيانات التصنيع والتخزين والنقل التي تنقلها المستشعرات لتصبح قابلة للاستخدام في تحسين الأداء والإنتاجية. وتساهم تقنية تحليل البيانات في تقديم معلومات للمشغلين حول ظروف التشغيل المثالية.

## تحسين كفاءة عمليات الصيانة

تساهم عملية التحول الرقمي لصناعة التكرير والبتروكيماويات في توفير الكثير من الجهد والوقت في مجال تحسين عمليات الصيانة، وذلك باستعمال نظم إدارة الأصول Asset Management Systems، وتمكين العاملين من القيام بأعمال التركيب واختبار جاهزية التشغيل، والاطلاع على النشرات الفنية لمواصفات المعدات Technical bulletins، ومعلومات أخرى يمكن الحصول عليها بواسطة أجهزة الاتصال النقالة.

كما تساهم التقنيات الرقمية في التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها وتقدير العمر الإنتاجي المتبقي للمعدات، وإعطاء تحذيرات بوجود مؤشرات على احتمال وجود أخطار قبل وقوعها.

## التحكم بمشكلات التآكل

يمكن تحسين عملية التحكم بمشكلات التآكل باستخدام التكنولوجيا الرقمية والحصول على بيانات تفصيلية ودقيقة حول التغيرات التي تحدث في خصائص المواد السائلة الموجودة داخل المعدات المعرضة للتآكل، تساعد المشغل في تقييم الوضع الحالي، وتمكينه من اتخاذ الإجراءات التصحيحية المناسبة للمحافظة على معدل التآكل عند أدنى المستويات الممكنة.

كما تساعد تقنية الروبوتات في فحص الأماكن التي يحتاج الإنسان إلى جهد كبير ووقت طويل للوصول إليها، كجدران خزانات النفط الخام والمنتجات النفطية، والمفاعلات، والأفران، حيث أصبح بإمكان الروبوت المحمل بكاميرات وأجهزة فحص أن يتسلق هذه الأماكن بسرعة ويقدم نتائج دقيقة.



## ترشيد استهلاك الطاقة

يساهم تطبيق التقنيات الرقمية في ترشيد استهلاك الطاقة، وتحسين كفاءة استخدامها، من خلال خفض حالات انحراف ظروف التشغيل وضبطها عند القيم المثالية المستهدفة، وتقنيات المراقبة المستمرة لجودة عمل المبادلات الحرارية والأفران، بحيث يمكن للمشغل تحديد أماكن هدر الطاقة واتخاذ الإجراءات الوقائية المناسبة.

## تدريب العاملين

على الرغم من أفضلية التدريب الشخصي وأهميته إلا أن التدريب الافتراضي باستخدام الواقع المعزز أثبت فوائده العديدة، وخصوصاً بالنسبة للعاملين في المواقع الخطرة، التي ينتج عن الخطأ فيها حوادث مدمرة، كما تعزز استخدام هذا النوع من التدريب بعد انتشار جائحة فيروس كورونا الذي فرض إجراءات التباعد الجسدي.

## الاستجابة لتغيرات السوق

إن توفر البيانات المالية والإنتاجية الكافية عن كافة مراحل سلسلة القيمة يساهم في سرعة اتخاذ القرار في الوقت المناسب. فالمنصات الرقمية المصحوبة بتقنيات تحليل البيانات المتقدمة، وبرامج التواصل عن بعد تقدم لشركات التكرير والبتروكيماويات رؤية شاملة حول المخاطر المحتملة، وتمنحها القدرة على اتخاذ الإجراءات الاحترازية لتفادي حدوث تلك المخاطر، أو التخفيف من آثارها إن حدثت.

## تطبيق إجراءات الصحة والسلامة المهنية وحماية البيئة

تساهم عملية التحول الرقمي في تمكين صناعة التكرير والبتروكيماويات من تلبية متطلبات تشريعات الصحة والسلامة المهنية وحماية البيئة من خلال تسهيل الاتصال بين العاملين، وتطبيق العمليات الذاتية Autonomous Operations في الأماكن الخطرة، والمساهمة في الحد من الحوادث التي ينتج عنها إطلاق انبعاثات ملوثة للبيئة، وتوفير إمكانية تشغيل الوحدات والمعدات الخطرة ومراقبة ظروف تشغيلها عن بعد

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

كما توفر التكنولوجيات الرقمية فرص تطوير أجهزة الكشف عن تسرب المواد الهيدروكربونية من المعدات وخطوط الأنابيب، بحيث تنبه المشغل عن وجود خطر يستوجب اتخاذ الإجراءات التصحيحية لتفادي انسكاب المواد الخطرة إلى البيئة.

## تعزيز التعاون بين العاملين

أثبتت التجربة العملية أن الشركات التي تستخدم التكنولوجيات الرقمية في تعزيز التنسيق والتعاون بين العاملين عن بعد، وتطبق إدارة العمليات افتراضياً Virtual Process Management يمكنها مواجهة انعكاسات الأزمات بسرعة وسهولة أكبر. وهذا ما يعزز الثقة لدى الزبائن بقدرة الشركة على تجاوز العقبات والوفاء بالتزامها في توريد منتجاتها في الوقت المناسب دون تأخير.

## تعظيم الاستفادة من فرص التكامل بين المصافي المتجاورة

يساهم تطبيق تقنيات التحول الرقمي في تعظيم الفائدة من فرص التكامل فيما بين مصافي تكرير النفط، وفيما بين مصافي النفط ووحدات إنتاج البتروكيماويات، وذلك من خلال الاستفادة من مواطن القوة التي تمتلكها في مواجهة نقاط الضعف التي تعاني منها المصافي أو الوحدات الأخرى التابعة للشركة.

## مراحل تطبيق التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيماويات

تعتمد طريقة تطبيق التحول الرقمي على حجم الشركة ونظرتها للوصول إلى التميز التشغيلي، فمنها ما يعتبر التميز التشغيل في زيادة الصادرات، ومنها ما يعتبره في زيادة الطاقة الإنتاجية، أو مدى تطبيق الابتكارات الرقمية، أو تقنيات المراقبة عن بعد. وقد يكون من الأفضل تنفيذ مشروع التحول الرقمي في مرحلة واحدة وبوقت واحد، وذلك للحصول على أعلى فائدة ممكنة من التقنيات الرقمية، وذلك من خلال التركيز على كافة قضايا التشغيل على مستوى المصفاة. فبمجرد إجراء التحسينات لحل المشكلة الأولى، تنتقل الفائدة إلى العنصر التالي في القائمة، مما يؤدي في النهاية إلى تحسينات ملموسة على مستوى المصفاة.

## عوامل نجاح مشروع التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيمياويات

على الرغم من أهمية التكنولوجيا في عملية التحول الرقمي، إلا أنه لا يمكن الاعتماد عليها وحدها في إدارة أي مشروع يتضمن تطبيق تكنولوجيا المعلومات. فالاستثمار في التكنولوجيا وحدها أمر باهظ التكلفة، ولا يحقق النتائج المرجوة، إذا لم يترافق مع تحديد دقيق وواضح لأهداف المشروع أو العائد على الاستثمار ROI بحيث يمكن تحديد الجدوى الاقتصادية من المشروع أو الحصول على التمويل اللازم. وللحصول على الفائدة القصوى من تطبيق التحول الرقمي يجب الأخذ بالاعتبار العوامل التالية:

- صياغة الأهداف المنشودة قبل البدء بالمشروع، وتحديد الأولويات التي تمثل للمصفاة أهمية وقيمة قصوى، مثل سلامة تشغيل عمليات التكرير، والتميز في إجراء أعمال الصيانة، وإدارة توريد المواد الخام، وتطبيق خدمات الصحة والسلامة والأمن والبيئة الذكية، ومكافحة الحرائق.
- بناء قدرات العاملين وتمكينهم من التعامل مع تكنولوجيا التحول الرقمي في مختلف أنشطة الشركة، وخبرة التعامل مع البيانات والتحليلات، وهندسة التكنولوجيا، والأمن السيبراني.
- إجراء تقييم للوضع الحالي لمستوى تطبيق التكنولوجيا الرقمية واختيار البرامج الأكثر ملاءمة لطبيعة عمل الشركة من حيث المرونة وقابلية التطبيق وتحقيق الاستفادة القصوى من البيانات المتوفرة.
- دراسة الصعوبات والمعوقات التي يمكن أن تواجه عملية التنفيذ، وكيف يمكن التغلب عليها.
- الأخذ بالاعتبار أن كل من الموارد البشرية والعمليات الإنتاجية، والتكنولوجيا هي منظومة واحدة متكاملة فيما بينها ومتوافقة مع رؤية الشركة وخطة عملها.

## تطورات التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيمياويات في الدول العربية

تصنف المنطقة العربية بأنها كانت بطيئة مقارنة بالدول الغربية على الرغم من بعض الاستثناءات في بعض الدول التي تقوم بإنشاء مصاف جديدة. كما شهدت صناعة التكرير والبتروكيمياويات في بعض الدول العربية عدداً من المبادرات نحو تطبيق التقنيات الرقمية، خلال السنوات القليلة الماضية، وتركز معظمها في الدول الأعضاء في أوابك التي تعتمد على تصدير المنتجات النفطية إلى الأسواق الخارجية، مثل دولة الإمارات العربية المتحدة، ومملكة البحرين، ودولة قطر، والمملكة العربية السعودية.

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

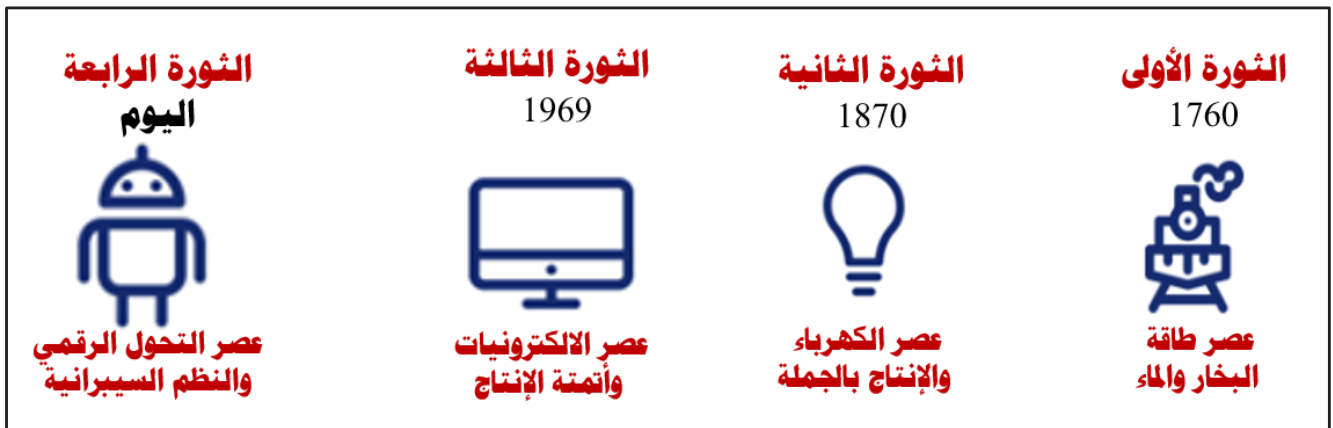
## الفصل الأول

### تقنيات التحول الرقمي- مفاهيم أساسية

#### 1-1: مقدمة

يعيش العالم عصرًا تُسيره التكنولوجيات الرقمية بطريقة غيرت من طبيعة حياتنا وعلاقاتنا الإنسانية ومعاملاتنا التجارية، وطريقة حصولنا على المعلومات، وسرعة مشاركتها مع الآخرين. وقد أطلق على هذا التحول بالثورة الصناعية الرابعة التي جاءت نتيجة التطور الهائل الذي أحدثته ثورة تكنولوجيا المعلومات التي انطلقت في عام 1996 وسميت بالثورة الصناعية الثالثة. يبين الشكل 1-1 التطور التاريخي للثورات الصناعية.

#### الشكل 1-1: التطور التاريخي للثورات الصناعي



يتركز الهدف الرئيسي للثورة الصناعية الرابعة في تعزيز القدرة التنافسية للشركات، من خلال تحسين كفاءة استخدام الموارد، وتعظيم الإنتاجية، وذلك باستخدام التكنولوجيات الرقمية مثل الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligent (AI، والفضاء السحابي Cloud system، والحوسبة السحابية Cloud

Computing، وتحليلات البيانات الضخمة Big Data Analytics، والروبوتات التكيفية Adaptive Robotics، والواقع المعزز Augmented Reality، وإنترنت الأشياء الصناعي Industrial Internet (Ustundag & Cevikcan, 2018) of Things (IoT)

## 1-2: تعريف التحول الرقمي

يعرف التحول الرقمي Digital Transformation في الصناعة بأنه عملية استخدام التكنولوجيا الرقمية Digital Technology بهدف تحقيق التميز في أداء المؤسسات والشركات، وتعزيز قدرتها التنافسية، من خلال تسهيل عملية تنفيذ الخطط الاستراتيجية للأعمال.

لا تقتصر عملية التحول إلى النظام الرقمي على تعزيز التكامل والربط بين تكنولوجيا العمليات التشغيلية Operational Technologies، وحلول تكنولوجيا المعلومات Information Technology Solutions، إنما يتركز التوجه نحو تشغيل هذه النظم بطريقة تشاركية أكثر فعالية.

تبدأ عملية التحول الرقمي بتحويل المواد والوثائق الورقية والصور والأصوات من الشكل الفيزيائي إلى صيغة رقمية صالحة للتداول على الأجهزة الرقمية والإنترنت، وقابلة للتخزين على الوسائط الحديثة من أقراص صلبة ومرنة. ويطلق على هذه العملية بالترقيم أو التحويل الرقمي Digitization. ولعل أبسط مثال على عملية الترقيم هو عملية مسح ضوئي لصورة ورقية وتحويلها إلى ملف إلكتروني رقمي.

أما الرقمنة Digitalization فتعني استعمال التكنولوجيات والبيانات لغرض تحسين الأداء والإنتاجية من خلال خلق بيئة أعمال رقمية، حيث تستخدم فيها المعلومات الرقمية بشكل أساسي. كما ترمز عملية الرقمنة إلى إجراءات الانتقال إلى الأعمال الرقمية، أو استخدام التكنولوجيا الرقمية لتحسين جودة العمل والحصول على فرص لتعظيم القيمة والربحية.

من الأمثلة التي توضح معنى عملية الرقمنة عمليات تحليل البيانات التي تم تجميعها من مجموعة أجهزة مرتبطة بشبكة الإنترنت، بغرض إيجاد أفضل الطرق لتعظيم الأرباح، أو استخدام التكنولوجيا الرقمية في تحويل عمليات إعداد التقارير وجمعها وتحليل بياناتها بشكل لحظي، واستعمال النتائج في تخفيف الأخطار، وتعظيم الكفاءة في المشاريع المستقبلية.



# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

يمكن وصف الفرق بين الترقيم والرقمنة في أن مصطلح الترقيم Digitization يشير إلى المعلومات، بينما تشير الرقمنة Digitalization إلى العمليات، وأن الترقيم هو الطريق للوصول إلى تطبيق الأعمال الرقمية، وأنه لا يمكن تحقيق الرقمنة بدون ترقيم الأوراق، والوثائق والعمليات. (Gartner, 2014)

يهدف تطبيق عملية التحول الرقمي في مجال الصناعة بشكل أساسي إلى تحسين مستوى الصحة والسلامة في عمليات التصنيع، ورفع الكفاءة الإنتاجية، وخفض تكاليف التشغيل. وعلى العكس مما يظن البعض أنها تؤدي إلى الاستغناء عن العنصر البشري، تساهم عملية التحول الرقمي في تغيير نوع الوظائف وطبيعتها، وبالتالي فإنها تخلق فرص عمل جديدة. (World Economic Forum, 2017)

يؤثر التحول الرقمي في استراتيجيات الشركات من خلال خمس مجالات رئيسية هي: الزبائن، والمنافسة، والبيانات، والابتكار، والقيمة. وهي المجالات التي يمكن للتقنيات الرقمية تغيير القواعد التي يجب أن تعمل الشركات من خلالها لتحقيق النجاح. يبين الشكل 1-2 المجالات الخمس للتحول الرقمي.

## الشكل 1-2: المجالات الخمس للتحول الرقمي



المصدر: (ROGERS, 2016)

- **المجال الأول: (الزبائن)** ينتقل العصر الرقمي من استراتيجية التأثير على سلوك المستهلكين وكسب أكبر عدد ممكن من الزبائن إلى استراتيجية تفاعلية عبر شبكات تواصل تمكنهم من التفاعل فيما بينهم، ويؤثرون على بعضهم البعض، ويؤدي ذلك إلى تغيير كيفية اكتشاف رغبات الزبائن، وتقييم

سلوكهم وطرق استخدامهم للمنتجات، وكيفية مشاركتهم للعلامات التجارية والتفاعل معها، والبقاء على اتصال بها.

● **المجال الثاني: (المنافسة)** في الماضي كانت المنافسة تجري بين الشركات المتماثلة في النشاط الإنتاجي، بينما في العصر الرقمي أصبح من الممكن أن يكون المنافس من خارج الصناعة، أو حتى من خارج الحدود الجغرافية التي تعمل ضمنها الشركة، حيث يمكن للشركة تقديم قيمة تنافسية لعملائها عبر وسائل الاتصال الرقمية الحديثة.

● **المجال الثالث: (البيانات)** في الماضي كان الحصول على البيانات يتم عبر تخطيط مسبق لعمليات استطلاع رغبات الزبائن، أو قوائم الجرد، علاوة على البيانات الناتجة من عمليات التصنيع والمبيعات والتسويق، حيث ينحصر استخدام هذه البيانات بشكل أساسي للتقييم والتنبؤ واتخاذ القرار. أما في العصر الرقمي فلا يتم الحصول على معظم البيانات المتاحة للشركات من خلال أي تخطيط منهجي مسبق، بل يتم إنشاؤه بشكل مستمر، وبكميات غير مسبوقه من كل محادثة، أو تفاعل، أو نشاط تقوم به الشركة عبر وسائل التواصل الاجتماعي، والأجهزة المحمولة، وأجهزة الاستشعار المرتبطة بكل عنصر من عناصر سلسلة التوريد الخاصة بالشركة. وتستخدم هذه "البيانات الضخمة" في الحصول على أنواع جديدة من التنبؤات، وكشف الأنماط غير المتوقعة من النشاط التجاري، وفتح مصادر جديدة لتحسين القيمة وتحقيق التميز في الأداء.

● **المجال الرابع: (الابتكار)** وهو عملية تطوير الأفكار الجديدة واختبارها وتقديمها إلى المستهلك. وكانت الشركات تركز جهودها على الابتكار في المنتج النهائي، كما تستند معظم القرارات المتعلقة بالابتكارات الجديدة إلى تحليل المديرين وخدماتهم. أما الشركات التي تعتمد على التقنيات الرقمية فأصبحت تمتلك نهجاً مختلفاً للابتكار يعتمد على التعلم المستمر، وسهولة اختبار الأفكار من خلال تعليقات وآراء الزبائن، ودراسة متطلبات الأسواق التي يمكن الحصول عليها من بداية عملية الابتكار، وصولاً إلى مرحلة الإطلاق، وأثناء مرحلة الاستهلاك، وبالتالي يمكن تطوير المنتجات بشكل مستمر من خلال عملية توفر الوقت والجهد.

● **المجال الخامس: (القيمة)** وهي القيمة التي تضيفها الشركات لعملائها، حيث كان في الماضي ينظر إلى قيمة الشركة على أنها ثابتة ولا تتغير، كتقديم ميزة سعرية أو جودة معينة. أما في العصر الرقمي فإن

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

عدم تغيير القيمة يعرض الشركة لخسارة موقعها التنافسي. ولذلك تحتاج الشركات إلى التركيز على اغتنام الفرص، والاستجابة السريعة لتغيرات الأسواق. (ROGERS, 2016) يبين الجدول 1-1 مجالات تطبيق التحول الرقمي وتأثيرها على عمل الشركات.

**الجدول 1-1: مجالات تطبيق التحول الرقمي وانعكاساتها على عمل الشركات**

المجال	قبل	بعد
الزبائن	التواصل مع الزبائن يكون بشكل جماعي، والشركة هي المؤثر الأساسي في إقناع الزبون.	التواصل مع الزبائن تفاعلي، والزبون هو المؤثر الرئيسي في تسويق المنتج.
المنافسة	الشركات المنافسة محددة ومعروفة.	المنافسة مفتوحة، والمنافسون غير معروفين.
البيانات	<ul style="list-style-type: none"> <li>إنتاج البيانات يتم عبر تخطيط مسبق لعمليات استطلاع رغبات الزبائن.</li> <li>ينحصر استخدام البيانات بشكل أساسي للتقييم والتنبؤ واتخاذ القرار.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>يتم إنشاء البيانات بشكل مستمر من خلال كل محادثة، أو تفاعل، أو نشاط داخل، أو خارج الشركة عبر وسائل التواصل الحديثة.</li> <li>تستخدم البيانات الضخمة" في الحصول على أنواع جديدة من التنبؤات، وكشف الأنماط غير المتوقعة من النشاط التجاري، وفتح مصادر لتحسين القيمة.</li> </ul>
الابتكار	<ul style="list-style-type: none"> <li>تتركز جهود الشركات نحو الابتكار في المنتج النهائي.</li> <li>تستند القرارات المتعلقة بالابتكار إلى تحليل المديرين وحدهم.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>يعتمد الابتكار على التعلم المستمر.</li> <li>سهولة اختبار الأفكار الإبداعية من خلال آراء الزبائن ومتطلبات الأسواق.</li> </ul>
القيمة	قيمة الشركة ثابتة ولا تتغير	القيمة متغيرة حسب متطلبات السوق

المصدر: (European Union, 2019)

### 1-3: إنترنت الأشياء الصناعي Industrial Internet of Things

يعتبر إنترنت الأشياء الصناعي (IIOT) أحد الأدوات الأساسية لعمليات تجميع المعلومات وأتمتة العمليات الإنتاجية، والوصول إلى منشأة رقمية، جنباً إلى جنب مع التقنيات السحابية، والتحليلات، والذكاء الاصطناعي (AI) (Neelam, Natarajan, & Diwanji, 2018)

يعتمد مبدأ إنترنت الأشياء الصناعي على ربط الأجهزة المتصلة مع بعضها بالإنترنت في المصانع والوحدات الإنتاجية والمنشآت الصناعية، بهدف مشاركة البيانات محلياً أو عن بعد، حيث يتم تجميع المعلومات بواسطة مستشعرات المعلومات لنقلها عبر بوابة محلية إلى خوادم البيانات السحابية Cloud servers داخل مراكز البيانات، فيتم تحليلها وتقديم النتائج إلى واجهة المستخدم.

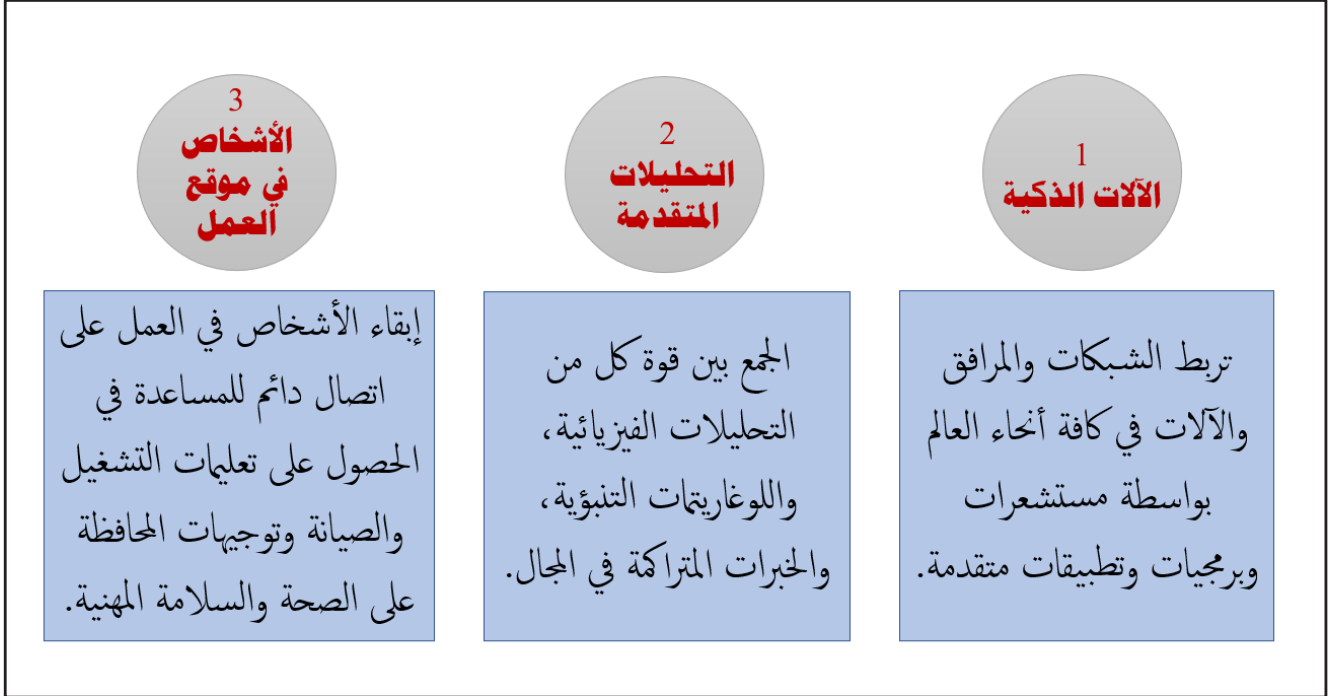
#### 1-3-1: الفرق بين إنترنت الأشياء IOT وإنترنت الأشياء الصناعي IIOT

يتشابه كل من إنترنت الأشياء وإنترنت الأشياء الصناعي في العديد من التقنيات منها المنصات السحابية والمستشعرات، والاتصال بين الآلات، وتحليل البيانات، لكنها تختلف فيما بينها في مجال الاستخدام، حيث أن الأولى تستخدم الأجهزة والتطبيقات الذكية في المجالات التي لا ينتج عنها حالات طارئة خطيرة في حال حدوث أي خلل في المنظومة. منها على سبيل المثال التطبيقات الزراعية، وعمليات التسويق، والمعاملات الحكومية. أما إنترنت الأشياء الصناعي فيربط الآلات والأجهزة في الصناعات الخطرة مثل صناعة النفط والغاز، وبعض الصناعات الإنتاجية الأخرى التي ينتج عنها حوادث وأخطار جسيمة في الحالات الطارئة. (Posey, 2021)

يتكون إنترنت الأشياء الصناعي من ثلاث عناصر رئيسية هي الأجهزة الذكية، وتقنية تحليل البيانات المتقدمة، والأشخاص العاملين في موقع العمل. يبين الشكل 1-3 العناصر الرئيسية لإنترنت الأشياء الصناعي. ترتبط هذه العناصر فيما بينها بواسطة تقنيات الاتصالات الحديثة التي تؤدي إلى نظم يمكنها تجميع، وتبادل، وتحليل البيانات، وتقديم رؤى جديدة ثمينة، تستطيع من خلالها الشركات الإنتاجية اتخاذ قرارات بسرعة أعلى وفعالية أكثر. (YOKOGAWA, 2020)

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

## الشكل 1-3: العناصر الرئيسية لإنترنت الأشياء الصناعي



المصدر: (YOKOGAWA, 2020)

من الخدمات التي يوفرها إنترنت الأشياء الصناعي إمكانية مراقبة موقع العمل أو المعدات عن بُعد. ويشهد هذا المجال تطورات سريعة من حيث تعزيز الحماية من الاختراق، وتطوير دوره في خفض التكاليف، وتخفيف الجهد المبذول في تنفيذ عمليات المراقبة التقليدية التي تفرض تواجد العمال في الموقع، فضلاً عن إمكانية تزويد مهندسي العمليات والصيانة بمزيد من فرص إجراء التحليلات التي تمكنهم من اتخاذ القرارات الصائبة في الوقت المناسب. (Pawlewitz & Doyle, 2020)

من جهة أخرى تساعد تقنية إنترنت الأشياء الصناعي في تحسين أداء عمليات التشغيل والإنتاج والصيانة، ومراقبة المخزون، وتحسين الالتزام بمتطلبات الصحة والسلامة المهنية، فضلاً عن إمكانية منع الخسائر المادية والبشرية، وتقليل التكاليف، وتحسين الأداء التشغيلي. وقد أظهرت بعض الأبحاث أن عملية الأتمتة باستعمال إنترنت الأشياء الصناعي يمكن أن تساعد في زيادة الإنتاجية بنسبة تصل إلى 30%، وتوفير ما يصل إلى 12% من عمليات الإصلاح المجدولة، وتقليل تكاليف الصيانة الدورية حتى 30%، وتخفيض الأعطال بنسبة تصل إلى 70%. ولهذه الفوائد تأثير بالغ الأهمية على ربحية الشركات الصناعية، وخصوصاً صناعة التكرير والبتروكيماويات التي تتعرض لتوقفات وأعطال متكررة، حيث أشار تقرير أصدرته



وزارة الطاقة الأمريكية أن 92% من التوقفات لإجراء عمليات الصيانة في الفترة من 2009 إلى 2012 كانت غير مجدولة. ويقدر بعض الباحثين التكلفة اليومية لكل يوم توقف في عمل مصفاة متوسطة الحجم بحوالي 340 ألف - 1.7 مليون دولار أمريكي.

### 1-3-2: معايير تطبيق إنترنت الأشياء الصناعي

على الرغم من الفوائد العديدة لتطبيق تقنية إنترنت الأشياء الصناعي في تحسين أداء الشركات، إلا أن هناك بعض العوائق التي تعمل على إبطاء انتشارها في الصناعات المختلفة. يأتي في مقدمتها المخاوف الأمنية Security Concerns، حيث تزداد احتمالات تعرض أجهزة إنترنت الأشياء للهجوم من قبل قرصنة تستخدم برامج ضارة للدخول إلى البيانات وتخريبها أو سرقتها مع تزايد استخدام هذه التكنولوجيا. وتزداد احتمالات الخطر كلما كانت الأجهزة غير مشفرة. (Ustundag & Cevikcan, 2018)

ولتفادي مشكلة الهجمات الإلكترونية وتحسين الأجهزة المتصلة بالإنترنت، يمكن اتخاذ إجراءات وقائية كاستخدام كلمات مرور صعبة الاختراق، وتحديث مستمر لبرمجيات الحماية (Posey, 2021) إن اعتماد الشركات الصناعية على تقنيات المعلومات ينتج عنه تجميع كمية هائلة من البيانات في الوقت الحقيقي من مصادر متعددة، بسرعة هائلة وفي مراحل مختلفة من الإنتاج، بدءاً من عمليات البحث والتطوير، ومروراً بعمليات الإنتاج، ثم الصيانة، حيث يتم معالجتها باستخدام تقنيات استخراج البيانات من أجهزة استشعار مختلفة.

تلعب البيانات دوراً أساسياً في أي مصنع، وتمثل الجزء الأهم في عملية إعداد نموذج إنترنت الأشياء الصناعي، حيث تساعد هذه البيانات في تقييم الحالة الراهنة للآلات المختلفة وتحديد الظروف التي يمكن أن تؤثر في العمليات الإنتاجية، وبالتالي تحديد إجراءات تحسين الأداء التشغيلي والاقتصادي للشركات. كما لدقة البيانات وجودة أجهزة القياس دور بالغ الأهمية في تحقيق الفائدة المرجوة من استعمالها. (Malhotra, 2020)

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

## 1-4: تكنولوجيا الروبوتات الصناعية

يعتمد مبدأ عمل الروبوتات الصناعية على الجمع بين المعالجات الدقيقة Microprocessors وتقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) بهدف تسهيل عمليات تصنيع المنتجات وتخفيض تكاليف الإنتاج، علاوة على ما تقدمه من فوائد عديدة في مجالات متنوعة.

يجب أن تتوفر في التطبيقات التي تعتمد على الروبوتات الصناعية الخصائص العامة التالية:

- الاتصال عبر الشبكة الداخلية Ethernet أو Wi-Fi لنقل البيانات بسرعة عالية.
- سهولة التكامل مع أنظمة اتصالات المعدات الموجودة في المصنع.
- معالجة الصور لتحديد المواقع.
- وجود نظام متكامل للتحكم بالروبوت.
- استخدام تقنية تعليم الآلة Machine Learning القائمة على الذاكرة.

تستخدم الروبوتات الصناعية لتنفيذ المهام في الأماكن المحصورة أو الخطرة في المصانع، أو التي تفوق القدرة الجسدية للإنسان، أو لتسريع عمليات الإنتاج وتقليل التكاليف في ضوء تنامي المنافسة في بيئة الأعمال (Jenkins, 2020). يبين الشكل 1-4 نماذج روبوتات تستخدم لتنفيذ المهام في الأماكن المحصورة.

كما ساهم التقدم التكنولوجي في دمج المستشعرات المتقدمة Advanced sensors مع تقنيات الذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء الصناعي، والفضاء السحابي، والبيانات الضخمة في تطوير تصميم الروبوتات بحيث أصبحت تستخدم لمواجهة الحوادث الخطرة ومراقبة مواقع العمل، وفي المساهمة بصنع القرار، والتنبؤ بحدوث الأعطال، وإجراء عمليات الصيانة الذكية، من خلال المساعدة والعمل جنباً إلى جنب مع الكوادر البشرية.

### الشكل 1-4: نماذج روبوتات تستخدم لتنفيذ المهام في الأماكن المحصورة



### 1-5: الواقع المعزز Augmented Reality

تعتمد تكنولوجيات الواقع المعزز على مبدأ التكامل بين كل من عمليات وصف بيئة العمل الحقيقية، وبين المعلومات المتعلقة بهذه البيئة، بهدف تمكين المستخدم من تصورها بشكل أوضح وأشمل. فعلى سبيل المثال، يحتاج المهندس المبتدئ الذي يقوم بإصلاح محرك سيارة إلى استشارة خبير أو العودة إلى دليل ارشادي يساعده في اكتشاف العطل. وتؤثر طريقة الوصول إلى هذه الوسائل المساعدة في سرعة وجودة تنفيذ عملية الإصلاح، وهذا ما يوفره نظام الواقع المعزز الذي يتكون من أربعة أجزاء رئيسية (1) جهاز حاسوب، (2) جهاز عرض، (3) جهاز تتبع، و (4) جهاز إدخال. وبهذه الوظائف يمكن توفير الإرشادات على شكل معلومات مرئية يتم إنشاؤها بواسطة الحاسوب، أو مقاطع فيديو، أو نماذج ثلاثية الأبعاد، أو نصوص، أو عبارات صوتية.

تستخدم تقنية الواقع المعزز AR في العديد من المجالات، مثل الألعاب، والرياضة، والإعلان، والتسوق، والتعليم، والخدمات العسكرية، والعمليات الجراحية الطبية، والأغراض الصناعية، إلخ.

أحد الأمثلة على استخدام تقنية الواقع المعزز في العمليات الصناعية هو في مجال عمليات الصيانة التي تتضمن العديد من الأنشطة، مثل تحليل أسباب العطل، والفحص، والتركيب، والإزالة، والإصلاح، وغيرها. وهذا يتطلب أن يلجأ القائم بهذه الأعمال إلى استخدام كتاب إرشادات ورقي، أو حاسوب محمول للاطلاع على تعليمات تنفيذ إجراءات الصيانة وإرشادات السلامة، أو يحتاج إلى استشارة أحد الخبراء من

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

خلال الاتصال الهاتفي. وكل هذه المحاولات تستغرق وقتاً طويلاً يؤثر سلباً على إنتاجية المصنع. أما عند تطبيق تقنية الواقع المعزز فتظهر تعليمات افتراضية على لوحة عرض تبين مراحل عملية التفتيش وإجراءات الفحص والإصلاح في موقع الآلة التي ظهر فيها العطل، وفي نفس الوقت يتم بث صور مباشرة إلى خبراء الصيانة توضح الأجزاء التالفة أو التي تحتاج إلى إصلاح، فيقوم الخبراء بإرسال رسائل نصية معززة بالمخططات التي توضح مراحل عملية إصلاح العطل. يبين **الشكل 5-1** تطبيق تقنية الواقع المعزز في عمليات إصلاح المعدات في موقع العمل.

## **الشكل 5-1: تطبيق تقنية الواقع المعزز في عمليات إصلاح المعدات في موقع العمل**



من الأمثلة الأخرى المهمة لتطبيقات تقنية الواقع المعزز عملية تدريب المشغلين العاملين في الوحدات الإنتاجية، أثناء وجودهم في العمل، وذلك بتنظيم دورات تدريبية عن بعد من قبل خبراء مختصين، وتظهر مواقع وأشكال المعدات بالتصوير ثلاثي الأبعاد بطريقة تحاكي الواقع الحقيقي. يبين **الشكل 6-1** تطبيق الواقع المعزز في تدريب المشغلين على مواقع المعدات في الوحدات الإنتاجية.

## **الشكل 6-1: تطبيق الواقع المعزز في تدريب المشغلين على مواقع المعدات في الوحدات الإنتاجية**



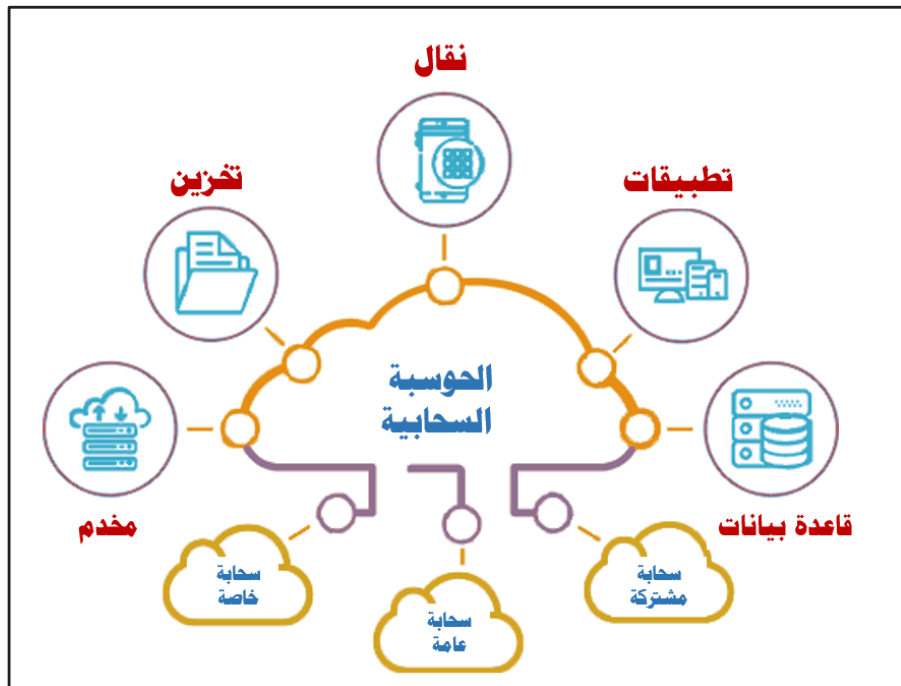
## 1-6: الحوسبة السحابية Cloud Computing

تعرف الحوسبة السحابية بأنها خدمات حوسبة عالية الجودة تقدم للمستخدمين عبر الإنترنت، بما في ذلك البيانات والبرامج، من خلال خوادم موجودة في أماكن بعيدة. ويمكن تشبيه الحوسبة السحابية بعملية الاستعانة بخدمات من مصادر خارجية.

تتكون البنية التحتية لمنظومة الحوسبة السحابية من قسمين رئيسيين، الأول يمثل جهة المستخدم، والثاني يمثل الجهة المسؤولة عن تخزين البيانات. يبين الشكل 1-7 المكونات الرئيسية لمنظومة الحوسبة السحابية.

يحتوي قسم المستخدم على التطبيقات والواجهات التي تساعد المستخدم في الدخول إلى الحوسبة السحابية. أما قسم الجهة المسؤولة عن تخزين البيانات فتتكون من أجهزة تخزين البيانات Data storage facilities، والآلات الافتراضية Virtual Machines، والخوادم Servers ومنظومة الأمن Security system.

الشكل 1-7: المكونات الرئيسية لمنظومة الحوسبة السحابية



المصدر: (Malik, Wani, & Rashid, 2018)



# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

لقد أصبح تخزين البيانات في الفضاء السحابي جزءاً أساسياً من عملية التحول إلى تكنولوجيا المعلومات، حيث وفر إمكانية الاستغناء عن الأماكن اللازمة لإنشاء مراكز بيانات تكنولوجيا المعلومات IT Data Centers، والخادم المحلي، وذلك من خلال ما تقدمه هذه الميزة من سهولة الوصول إلى معدات الحوسبة الافتراضية، وتخزين كميات هائلة من البيانات التي تصبح جاهزة للاستخدام في صناعة القرار. (Weinelt, 2017)

## 1-6-1: شروط ربط العمليات بالفضاء السحابي

يجب أن تتوفر في العمليات التي تعتمد على الفضاء السحابي الشروط التالية:

- ربط التطبيقات المبنية على البيانات ضمن بنية تحتية قائمة على السحابة، وتوصيل كل مستخدم أو عنصر من عناصر سلسلة التوريد من خلال النظام السحابي.
- استخدام تحليلات البيانات في الوقت الحقيقي للتنبيه عن الأخطاء والتشوهات باستخدام قاعدة بيانات سحابية مستقلة.
- الاستفادة الكاملة من البيانات المتوفرة لتحسين أداء النظام وفقاً للتغيرات الخارجية والمفاجئة.
- تزويد المستخدمين بجهاز متصل بالإنترنت لرؤية المعلومات الضرورية المخزنة في الفضاء السحابي، ومنحهم حق الوصول إلى التطبيقات والبيانات المتاحة في جميع أنحاء العالم.
- وجود نظم مراقبة وتحكم وإعداد تقارير حول التغيرات التي تطرأ على عمليات التصنيع.

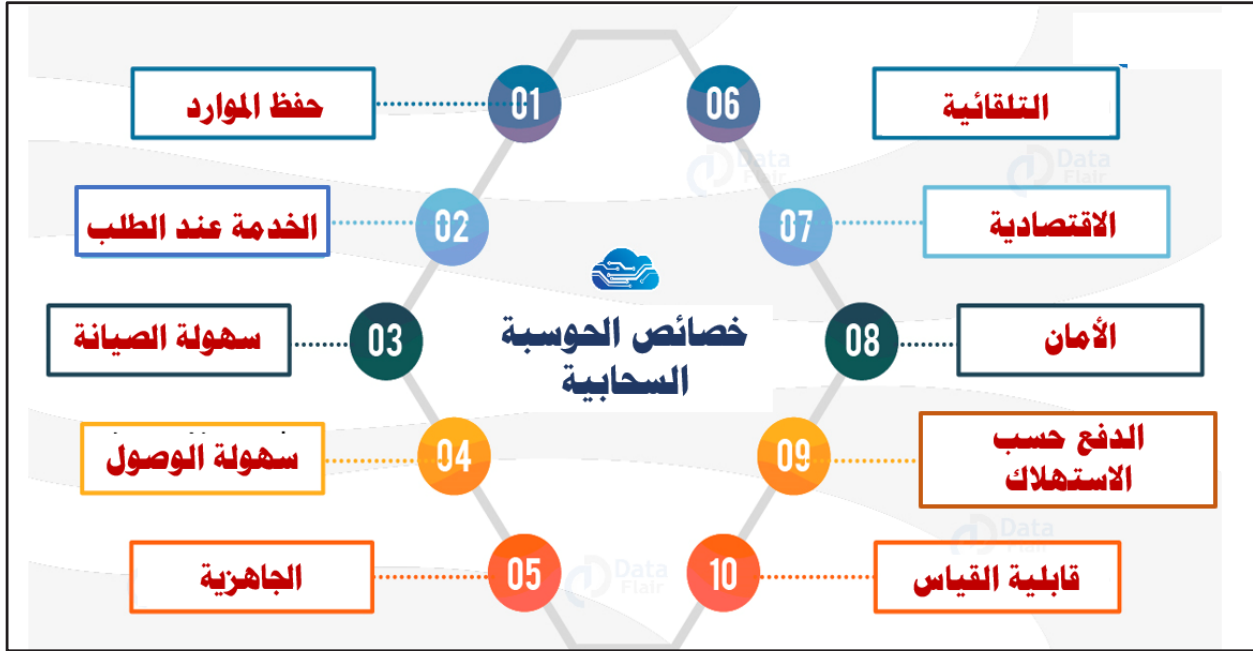
## 1-6-2: خصائص الحوسبة السحابية

تتميز تقنية الحوسبة الفضائية بخصائص وفوائد عديدة تجعلها واسعة الانتشار في العديد من

المجالات حسب ما هو مبين في الشكل 1-8. (Flair Data, 2021)



**الشكل 1-8: خصائص تقنية الحوسبة السحابية**



- ترشيد استخدام الموارد: أي أن مزود خدمة الحوسبة السحابية يستخدم أدوات الحوسبة ليقدمها إلى عدد كبير من الزبائن بدلاً من أن يمتلك كل زبون الأدوات الخاصة به.
- الخدمة عند الطلب: وهي خاصية تتيح للمستخدم معرفة الطاقة التخزينية للفضاء السحابي ومدى توفر عمليات الحوسبة، وذلك بشكل مستمر وسهل دون الحاجة إلى الاتصال بمزودي الخدمة.
- سهولة الصيانة: أي أن الخوادم يمكن صيانتها بسهولة، وهذا يضمن استمرار الخدمة وعدم تعرضها لتوقفات طارئة أو أعطال غير متوقعة.
- مرونة الوصول إلى الخدمة: حيث يمكن للمستخدم أن يقوم بتحميل البيانات من أي جهاز متصل بالإنترنت، وفي أي مكان في العالم.
- الجاهزية: أي أن الخدمة متوفرة بشكل دائم، ويمكن للمستخدم زيادة الطاقة التخزينية في أي وقت يريد، عندما يحتاج إلى تخزين كمية أكبر من البيانات.

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

- **التلقائية: Automatic System** حيث تقوم منظومة الحوسبة السحابية بإجراء التحليلات بشكل تلقائي، وتدعم إمكانية القياس عند مستوى محدد من الخدمات، وبالتالي يمكن مراقبة معدل الاستخدام والتحكم بنسبته، وتقديم تقرير حول ذلك بشفافية ودقة إلى كل من الشركة المضيفة أو الزبون.
- **الاقتصادية: Economical** يعتبر مشروع الحوسبة السحابية مشروعاً رابحاً لا يحتاج إلا لاستثمار مبلغ محدود لشراء الخدمات ولمرة واحدة بدون تكاليف تشغيل سنوية أو شهرية. يتم بعدها تقديم الخدمات للعديد من المستخدمين.
- **الأمان: Security** تعتبر خاصية الأمان من أفضل الخصائص التي تميز تقنية الحوسبة السحابية، حتى في حال تلف أحد الخدمات فإن البيان لا تتلف ويمكن استرجاعها بسهولة. كما تتميز أجهزة تخزين البيان بصعوبة اختراقها من قبل القرصنة
- **الدفع حسب الاستهلاك: Pay as you go** حيث أن المستخدم يدفع فقط رسوم الخدمة أو السعة التخزينية التي يحتاجها دون دفع رسوم إضافية، وفي العديد من الحالات يمنح المستخدم سعة تخزينية مجانية.
- **قابلية القياس: Measured Service** يمكن للمستخدم الاطلاع على مستوى استهلاكه للخدمة من خلال حصوله على تقرير مفصل من مزود الخدمة يتضمن تفاصيل الاستخدام والتكلفة.

## 7-1: الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence



تستخدم تقنية الذكاء الاصطناعي (AI) للاستفادة من البيانات والتجارب السابقة في تشغيل أجهزة التحكم بعمليات التصنيع. هذا يعني أن الآلات في المصنع يمكنها استخدام البيانات السابقة للتنبؤ بالأحداث المستقبلية. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تشمل هذه التنبؤات صيانة المعدات أو اضطراب ظروف تشغيل العمليات التي قد تحدث في المصنع.

(Welsh, 2019)

على الرغم من استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي منذ خمسينيات القرن الماضي إلا أنها لم تدخل مجال العمليات الصناعية إلا في العقدين الماضيين. كما أنها لا تزال تواجه العديد من التحديات الناتجة عن الربط بين هذه التقنيات وفهم العنصر البشري لها. (Chappell, 2020)

## 1-8: تعليم الآلة Machine Learning

تعليم الآلة هو تطبيق للذكاء الاصطناعي يمنح أجهزة الكمبيوتر القدرة على التعلم، لكي تقوم بتصرفات مماثلة لما يفعله البشر، مع تحسين تعلمهم بمرور الوقت بطريقة ذاتية، من خلال تزويد هذه الأجهزة بالبيانات والمعلومات على شكل ملاحظات وتفاعلات في الزمن الحقيقي. ويتم ذلك باستخدام الخوارزميات التي يمكنها تحليل البيانات، والتعلم منها، ثم اتخاذ قرار، أو التنبؤ بحدث متوقع، أو اكتشاف كيفية إنجاز الأعمال المهمة من خلال التعلم من الأمثلة. فعلى سبيل المثال، عندما تتصفح أحد المواقع على الإنترنت، يعرض لك المتصفح مواقع أخرى مماثلة. (Faggella, 2021)

تساعد تقنية تعليم الآلة في إنشاء نماذج يمكنها معالجة كميات كبيرة من البيانات المعقدة وتحليلها لتقديم نتائج وقرارات دقيقة. كما يمكن للشركات من خلالها أتمتة المهام الروتينية والاستفادة من الفرص المربحة وتجنب المخاطر غير المتوقعة. يبين الشكل 1-9 بعض تطبيقات تعليم الآلة.

أحد الأمثلة على تطبيق تقنية تعليم الآلة تجربة شركة شل في تقليل عبء العمل على موظفي الشركة في أماكن عملها بعدة مجالات باستخدام المساعدين الافتراضيين الموزعين في أكثر من 151 موقعاً، يمكنهم التحدث بلغات متعددة، بما في ذلك الصينية والألمانية والروسية. يتعلمون من تجاربهم السابقة لتحسين أنظمتهم لتلبية احتياجات العملاء في المستقبل. تتضمن بعض المهام التي يمكن أن يؤديها المساعدون الافتراضيون تقديم معلومات عن مواقع المخازن المحلية، وتوفير أوراق البيانات الفنية، علاوة على تقليل حجم المكالمات للوكلاء المباشرين بنسبة 40%.

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

## الشكل 1-9: تطبيقات تقنية تعليم الآلة



## 9-1: التوأّم الرقمي Digital Twin

يعرف التوأّم الرقمي Digital Twin بأنه نسخة افتراضية مطابقة لمكونات المصنع أو الوحدة الإنتاجية ومعداتّها، ويستخدم لتمثيل الأشياء المادية بدلالة البيانات والمعلومات، لوصف حالتها وسلوكها الحالي بشكل دقيق باستخدام بيانات إنترنت الأشياء، والمعلومات التي ترسلها المستشعرات. كما يمكن أن يتنبأ التوأّم الرقمي بالأحداث المستقبلية، أو الأعطال المحتملة لنظيره المادي، قبل حدوثها بوقت طويل، ويمكنه أيضاً اقتراح طرق لمنع تكرار تلك الأعطال. (AVEVA, 2020)

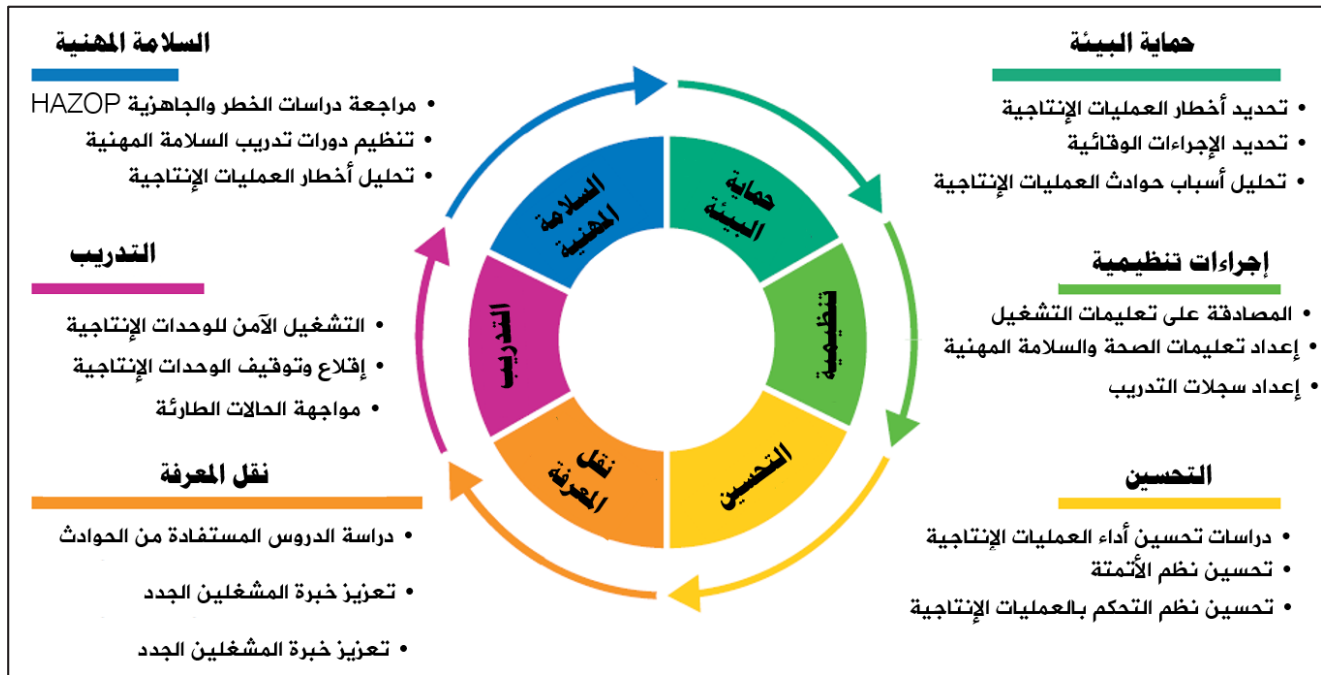
يغطي مفهوم التوأّم الرقمي ثلاث جوانب أساسية: التوأّم الرقمي للمنتج، والتوأّم الرقمي للوحدة الإنتاجية أو المصنع، والنمذجة الرقمية لعمليات الإنتاج. كما يعتمد الدور الوظيفي للتوائم الرقمية بشكل أساسي على الهدف من استخدامها. ففي المجال الصناعي يمكن أن يقوم التوأّم الرقمي بطيف واسع من الوظائف بدءاً من تطبيق إجراءات السلامة، ومروراً بعمليات التحليل، أو محاكاة المنتج أو تحسين عملية الإنتاج، وحتى صياغة وإعداد معادلات تحسين الربحية، أو العائد على الاستثمار.

ينتشر تطبيق تقنية التوأّم الرقمي بشكل متزايد في المؤسسات الصناعية كجزء من مشروع التحول الرقمي، وذلك نظراً لدوره في تطوير الأداء من خلال إيجاد طرق جديدة للعمل، وتعظيم كفاءة العمليات الإنتاجية. (Neelam, Natarajan, & Diwanji, 2018).

### 1-9-1: مجالات تطبيق التوأّم الرقمي

تتكون مجالات استخدام التوأّم الرقمي من التحكم بشروط العمليات الإنتاجية، وفي أعمال الصيانة الدورية والتنبؤية، وفي مجال تطبيق اشتراطات الصحة والسلامة المهنية، وتدريب العاملين في التشغيل والصيانة، وتنفيذ إجراءات تحسين الأداء. (Menachery, 2020) بين الشكل 10-1 تطبيقات تقنية التوأّم الرقمي في تنفيذ مبادرات التميز التشغيلي. وفيما يلي شرح لبعض هذه المجالات.

#### الشكل 10-1: تطبيقات تقنية التوأّم الرقمي في تنفيذ مبادرات التميز التشغيلي



المصدر: (Emerson, 2019)



# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

## • التخطيط لمراحل دورة حياة المصنع

تطبق تقنية التوائم الرقمي في التخطيط لكافة مراحل دورة حياة المصنع، بدءاً من مرحلة إعداد التصميم الهندسية الأساسية Basic Engineering Design، مروراً باختبارات التشغيل الأولية، وحتى عمليات التشغيل النظامي. فعلى سبيل المثال، عند تطبيق تقنية التوائم الرقمي في مرحلة التخطيط لمشروع إنشاء مصفاة تكرير النفط تستخدم المحاكاة في حالتين، الأولى هي الحالة الثابتة Steady state Simulation لإعداد التصميم الهندسية. وتتكون مخرجات المحاكاة في هذه الحالة من الموازنات المادية والحرارية، ومخططات سير العملية Process Flow Diagram PFD، وجداول بيانات كل جهاز أو وحدة من الوحدات، وجميع هذه المخرجات تستخدم في حالات التشغيل النظامي المستمر للوحدات الإنتاجية. أما الحالة الثانية فهي حالة المحاكاة الحركية للعمليات Dynamic Process Simulation، والتي تستخدم في نمذجة الحالات الانتقالية بين إجراءات التشغيل، مثل تصميم إجراءات اقلاع وتوقيف الوحدات الإنتاجية. يبين الشكل 11-1 مجالات تطبيق التوائم الرقمي في التخطيط لمراحل دورة حياة المصنع.

(Lorenz, Pfeiffer, Leingang, & Oppelt, 2020)

### الشكل 11-1: مجالات تطبيق التوائم الرقم في التخطيط لمراحل دورة حياة المصنع



المصدر: (Emerson, 2019)



## • محاكاة عمليات اختبار التشغيل الأولي الافتراضية

يستخدم نموذج محاكاة عملية اختبار التشغيل الأولي الافتراضية Virtual commissioning بهدف إجراء اختبار افتراضي للتأكد من صحة عمل منظومة التحكم في أي موقع من مواقع المصنع قبل البدء بعملية الاختبار الحقيقية، لتفادي الانعكاسات السلبية المحتملة في حال وجود أخطاء في عمليات الإنشاء والتركيب.

## • محاكاة عمليات التدريب

الهدف من نمذجة عمليات التدريب هو تعظيم خبرة المشغلين وتمكينهم من التعامل مع إجراءات التشغيل بطريقة تحول دون وقوعهم في أخطاء قد تؤدي إلى حدوث كوارث خطيرة. وتتضمن عمليات التدريب مهارات التعامل مع منظومة أجهزة التحكم، ومع مبادئ ومسار العملية الإنتاجية.

لتدريب المشغلين على سير العمليات التشغيلية تستخدم نماذج تفصيلية تحاكي العمليات الحقيقية، وتمكن المتدرب من ممارسة إجراءات التوقيف والتشغيل النظامية، واتخاذ الإجراءات المحافظة على سلامة المعدات والوحدات في كافة الحالات الطارئة المحتملة. كما يمكن من خلال هذه النماذج تقييم أداء المشغلين والتأكد من قدرتهم على التعامل مع ظروف تشغيل الوحدة الحقيقية.

**(Lorenz, Pfeiffer, Leingang, & Oppelt, 2020)**

تستخدم تقنية التوأم الرقمي في تمثيل الأماكن والغرف والمعدات والأجسام ومواقع العمل افتراضياً بشكل مطابق تماماً لكافة الظروف، ويسمح بتطبيق كافة الإجراءات المطبقة في الموقع الحقيقي، وذلك باستخدام عمليات التحليل المتقدمة Advanced Analytical والمراقبة Monitoring، والقدرات التنبؤية Predictive capabilities، وإجراءات الاختبار Test Procedures والخدمات Services. وبالتالي يمكن الحصول على سيناريوهات لا محدودة لتدريب المشغلين واختبار أدائهم وقدراتهم قبل إدخالهم إلى بيئة العمل الحقيقية في الوحدات الإنتاجية. **(Cortes, 2021)**

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

## ● محاكاة عمليات التشغيل النظامي للوحدات الإنتاجية

تستخدم المحاكاة في مرحلة التشغيل العادي للوحدات الإنتاجية لدعم وتحسين الأداء التشغيلي بأشكال عديدة تبدأ من استخدام المستشعرات لمراقبة بعض ظروف التشغيل، وحتى إعداد نماذج التحكم التنبؤية Model predictive controllers (Dodd, 2020).

كما يمكن استخدام نموذج التوأم الرقمي للتأكد من كفاءة منظومة التحكم بالعمليات وتأثيرها على سير العمل دون التأثير على تشغيل أو إنتاج المصنع الفعلي أو تعريضه للخطر، علاوة على اختبار انعكاسات وقوع اضطرابات في ظروف التشغيل واختيار الحل الأنسب لمعالجتها، وذلك من خلال تطبيق اختبارات "ماذا لو". فعلى سبيل المثال، عندما تتغير ظروف الإنتاج بسبب نقص في الموارد أو ارتفاع أسعار المواد الخام يتم تحديد الحلول الممكنة لتحسين الموازنة الاقتصادية باستخدام التوأم الرقمي.

من جهة أخرى يساعد برنامج التوأم الرقمي مهندسي التشغيل في إنشاء تمثيل افتراضي لموقع المعدات وظروف عمل العمليات باستخدام بيانات ظروف التشغيل التي يتم تجميعها بشكل آلي. كما يمكن لهذا التوأم محاكاة انعكاسات الإجراءات المخطط تطبيقها على عمليات التشغيل أو الصيانة. فعلى سبيل المثال، يمكن لمدير الصيانة اختبار فعالية جدول زمني مقترح لصيانة المعدات، ومعرفة تداعيات هذا القرار، من خلال إجراء محاكاة لعمليات الصيانة باستخدام التوأم الرقمي (Walker, 2020).

## 1-9-2: مراحل إنشاء التوأم الرقمي

لتصميم وبناء التوأم الرقمي لمصنع أو وحدة إنتاجية لابد من فهم المبادئ العامة لعمليات الإنتاج والتشغيل، ومكونات البنية التحتية لموقع الوحدة الإنتاجية، ونظم إدارة الطاقة، وذلك حتى يتمكن المصمم من محاكاة أجزاء المصنع أو الوحدة الإنتاجية، وتحديد دورها الوظيفي المطلوب أن يقوم به التوأم الرقمي، واختيار البرامج الحاسوبية Software والأجهزة Hardware الواجب استعمالها، علاوة على تحديد إجراءات الصيانة الدورية التي يجب توفيرها لإبقاء التوأم الرقمي متوافقاً مع أحدث التطورات.

يتكون مشروع إنشاء التوأمة الرقمي من المراحل التالية: مرحلة التصميم، ثم مرحلة إعداد البنية التحتية، ثم مرحلة التنفيذ، فمرحلة اختبار التشغيل، وأخيراً مرحلة الاستخدام.

يتم في مرحلة التصميم تحديد مواصفات المشروع مع الأخذ بالاعتبار كافة ظروف التشغيل والأدوار الوظيفية للمصنع أو الوحدة الإنتاجية المراد محاكاتها. حيث يتم إدراج هذه المواصفات في صفحة المواصفات العامة للتوأمة الرقمي. بعد ذلك يتم إضافة النواحي المتعلقة بالوحدة كالمستشعرات، ومحركات أجهزة التحكم Actuators، وذلك لإعداد مخططات الأنابيب وأجهزة التحكم (P&ID) Piping & Instrumentation Diagram بعد ذلك يتم إعداد البنية التحتية التي تتكون من نظام التحكم بالعمليات، وأجهزة التحكم ولوحات العرض، والمعدات (الصمامات المحركات،.... وغيرها).

بعد إجراء كافة الفحوصات اللازمة تبدأ مرحلة اختبار التشغيل الأولي الحقيقية. وأثناء هذه المرحلة يجب البدء بتدريب المشغلين على التعامل مع حالات التشغيل النظامية والأعطال الطارئة.

### 1-9-3: تحديث تصميم التوأمة الرقمي

لتعظيم الفائدة من استخدام تقنية التوأمة الرقمي في مجالات تحسين أداء المنشآت الصناعية يجب تصميم النماذج بحيث تكون قابلة للتعديل والتوسيع مستقبلاً بما يتوافق مع احتمالات إدخال تطورات جديدة على المصنع أو الوحدة الإنتاجية.

وفي مرحلة ما بعد دخول الوحدة الإنتاجية في طور التشغيل الثابت تتعرض بعض ظروف التشغيل أو المعدات إلى تغييرات تستوجب إعادة النظر في التصميم الهندسي للتوأمة الرقمي بما يتناسب مع كافة السيناريوهات المحتملة الناتجة عن هذه التغييرات.

من جهة أخرى ينصح بإجراء مطابقة دورية لقيم التوأمة الرقمي مع القيم الحقيقية للتأكد من صحتها. وهذا يساعد على كشف انعكاسات التغييرات غير المرغوبة على عمل الوحدة، من جهة أخرى يتم إدخال البيانات الجديدة لظروف عمل الوحدة التي تحدث نتيجة التغييرات التي يتم تنفيذها من قبل المشغلين.

(Lorenz, Pfeiffer, Leingang, & Oppelt, 2020)

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

## 10-1: المستشعرات الافتراضية Virtual Sensors

تعرف المستشعرات الافتراضية بأنها نوع من البرمجيات التي تزود بمعلومات تمكنها من القيام بوظائف مماثلة لما تقوم به المستشعرات التقليدية. كما يمكن تعليمها لتفسير العلاقات بين قيم ظروف تشغيل العمليات الإنتاجية ومراقبة القراءات الصادرة عن عدة مقاييس أو أجهزة تحكم أخرى بعمليات التشغيل.

تمثل المستشعرات الافتراضية أحد التطبيقات المهمة للتوأم الرقمي في التحكم بظروف تشغيل العمليات الإنتاجية، وذلك من خلال دورها في تقدير ظروف تشغيل العملية غير المعروفة اعتماداً على نموذج المحاكاة Simulation Model المصمّم للعملية، وعلى ظروف التشغيل الأخرى المقاسة والمعروفة. فعلى سبيل المثال، تستخدم المستشعرات الافتراضية في تقدير ظروف التشغيل المقابلة لحالات مختلفة من كمية الحرارة الناتجة عن التفاعلات الناشئة للحرارة Exothermic، وبالتالي يمكن ضبط ظروف العملية بحيث لا تتجاوز القيمة القصوى التي تؤدي إلى حدوث أخطار ناتجة ارتفاع الحرارة. فعلى سبيل المثال، لضبط كمية المنتج في وحدة إنتاج الإيثيلين يتم حساب كمية منتجات التفاعل الخارجة من فرن التكسير، ولكن بعد مرور وقت طويل تستغرقه بعض الإجراءات، مما يؤدي إلى إعاقة عملية التحكم المباشر بكمية المنتج. أما عند استخدام المستشعرات الافتراضية فيمكن تجاوز هذا الوقت، وبالتالي تحقيق عملية التحكم المباشر بكمية المنتج دون تأخير. (Lorenz, Pfeiffer, Leingang, & Oppelt, 2020)

## الفصل الثاني

### تطبيقات التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيمياويات

#### 2-1: مقدمة

تشهد صناعة التكرير والبتروكيمياويات إقبلاً كبيراً على تطبيق التقنيات الرقمية نظراً لما لهذه التكنولوجيا من تأثير على تحسين مستوى الأداء والإنتاجية، فيما إذا نفذت بالطريقة الصحيحة، وذلك من خلال زيادة عدد أيام التشغيل الفعلية، وتحسين الالتزام بمتطلبات السلامة المهنية، وتفاذي وقوع الحوادث والتوقفات الطارئة، علاوة على تعزيز إجراءات ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها.

يعتمد مبدأ تطبيق الحلول الرقمية في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيمياويات على إجراء التكامل بين كل من العمليات الإنتاجية، وبيانات قياس الأداء الاقتصادي والتشغيلي في الزمن الحقيقي، وذلك من خلال دمج كافة البيانات، وعلى كافة المستويات بدءاً من مستوى المعدات، مروراً بالوحدات الإنتاجية، ثم على مستوى المصفاة، وحتى مستوى الشركة، أو الصناعة.

تمتلك صناعة التكرير والبتروكيمياويات كمية هائلة من البيانات والسجلات التي يتم الحصول عليها من قراءات أجهزة التحكم بالعمليات خلال سنوات طويلة سابقة، علاوة على نتائج التحاليل المخبرية للمنتجات والمواد الخام وغيرها من البيانات، والتي تعتبر ثروة لا تقدر بثمن. من جهة أخرى تحتوي عمليات التكرير والبتروكيمياويات على مئات، وحتى الآلاف من المتغيرات التي ترتبط فيما بينها بعلاقات غير خطية تفوق قدرة الإنسان على استيعابها. وعند معالجة هذه البيانات يستطيع كل من المشغلين والمدراء من الاطلاع على انعكاسات القرارات التشغيلية ودورها في تعزيز الكفاءة والربحية عبر لوحة عرض الكترونية سهلة الاستخدام (Lou, Lou, & Gai, 2020) Dashboard

#### 2-2: دوافع تطبيق التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيمياويات

تتميز صناعة تكرير النفط بخصامة التكاليف الاستثمارية اللازمة لإنشاء المصافي والوحدات الإنتاجية، والوحدات المساندة من خطوط أنابيب وخزانات، علاوة على طول الفترة الزمنية اللازمة



# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

لاسترجاع الاستثمارات، ما يجعل القائمين على هذه الصناعة في سعي دائم للبحث عن سبل تخفيض تكاليف التشغيل، وتقصير فترة استرجاع رأس المال ROI (Innovapptive, 2019)

تواجه مصافي تكرير النفط تحديات عديدة ناتجة عن تراجع الطلب على المنتجات البترولية وتنامي ضغوط التشريعات البيئية، ودعم مصادر الطاقة المتجددة، وارتفاع شدة المنافسة في الأسواق العالمية، فضلاً عن أعباء التعامل مع المواد الخطرة وارتفاع تكاليف التشغيل. وقد وجد القائمون على هذه الصناعة أن تطبيق التقنيات الرقمية يساعد على مواجهة هذه التحديات ويساهم بشكل فعال في تحسين الأداء والربحية، وتخفيض تكاليف التشغيل والصيانة. (BCG, 2020)

لم تعد النظرة إلى التحول الرقمي على أنه محاولة للتجربة واكتشاف الفوائد، بل أصبح ضرورة حتمية لبقاء الشركات في بيئة أعمال يغلب عليها المنافسة الشديدة. (Countryman, 2019) وقد ساهمت التقنيات الرقمية في التأثير في أنشطة قطاع الطاقة بشكل عام وفي صناعة التكرير والبتروكيماويات بشكل خاص، من خلال التطورات السريعة التي تشهدها تقنيات تحليل البيانات، أو ما يسمى بالبيانات الضخمة التي توفر فرصاً ثمينة لتعزيز عملية اتخاذ القرار من خلال ما توفره من معلومات.

قامت إحدى الشركات الألمانية بإجراء دراسة استبائية شملت 1155 مديراً تنفيذياً لشركات نפט عالمية ووطنية في 26 دولة لرصد الفوائد التي حصلت عليها نتيجة تطبيق التحول الرقمي في عملياتها، وكانت النتائج على النحو التالي: (Geissbauer, Salamat, & Pandey, 2019)

- خفض تكاليف التشغيل بحوالي 12-20%.
- رفع الطاقة الإنتاجية الفعلية بمقدار 6-12%
- خفض عدد التوقفات غير المبرمجة بنسبة 15-25%.
- زيادة كفاءة الوحدات الإنتاجية بمقدار 8-12%.
- تحسين أداء منظومة الصحة والسلامة والبيئة.
- تحسين إنتاجية القوى العاملة.

تتركز إجراءات تحسين كفاءة الأداء التشغيلي في صناعة التكرير والبتروكيماويات حول البحث عن

الحلول التي تمكن المشغلين من التحكم بالأمر التالية: (DAVIES, 2020)

- إمكانية تقصي الأخطاء الموجودة في الوحدة، ويمكن أن ينتج عنها مشكلات في المستقبل، وذلك اعتماداً على مستشعرات تمكن المشغل من مراقبة موقع المعدات. فعلى سبيل المثال، يمكن باستخدام كاميرات مراقبة مستمرة مع وجود مستشعرات، كشف مواقع انخفاض سماكة سطوح الأنابيب والمعدات التي تجري بداخلها المواد التي تسبب تآكل أو اهتراء المعادن.
- تحسين الإنتاجية من خلال تزويد المشغلين بالبيانات التي تساهم في توفير الظروف التي تمكنهم من تقييم الوضع التشغيلي وتحديد مواطن الخلل، وإجراء التعديلات المناسبة في الوقت المناسب.
- الحاجة إلى معرفة كل ما يتعلق بالأجزاء المكونة للمعدات التي يحتمل أن تتعرض للتلف، من حيث تاريخ تركيبها، ومواعيد كافة عمليات الصيانة التي أجريت عليها، لتحديد إمكانية إصلاح أعطالها خلال فترة زمنية قصيرة.
- القدرة على توقع العمر المتبقي لمعدات المصفاة، وقياس كفاءتها الإنتاجية، ومعرفة الزمان والمكان المتوقعين لحدوث الأعطال، بحيث يمكن للمشغل أن يختار الوقت المناسب لاستبدال المعدات قبل أن تتسبب في توقيف الوحدة اضطرارياً.
- اختصار زمن إجراء عمليات الفحص الفني للمعدات، والذي يستغرق عادة مدة زمنية طويلة.
- رفع كفاءة نظام إدارة الطاقة، بهدف ترشيد الاستهلاك وتحسين كفاءة الاستخدام.
- زيادة مستوى موثوقية وجاهزية المعدات والوحدات الإنتاجية.
- تخفيف المخاوف من احتمالات التعرض للهجمات الإلكترونية.
- تحسين مرونة الاستجابة للقضايا العاجلة التي تؤثر على كفاءة تحقيق التميز التشغيلي.

## 2-3: مجالات تطبيق التقنيات الرقمية في تحسين أداء صناعة التكرير

### والبتروكيماويات

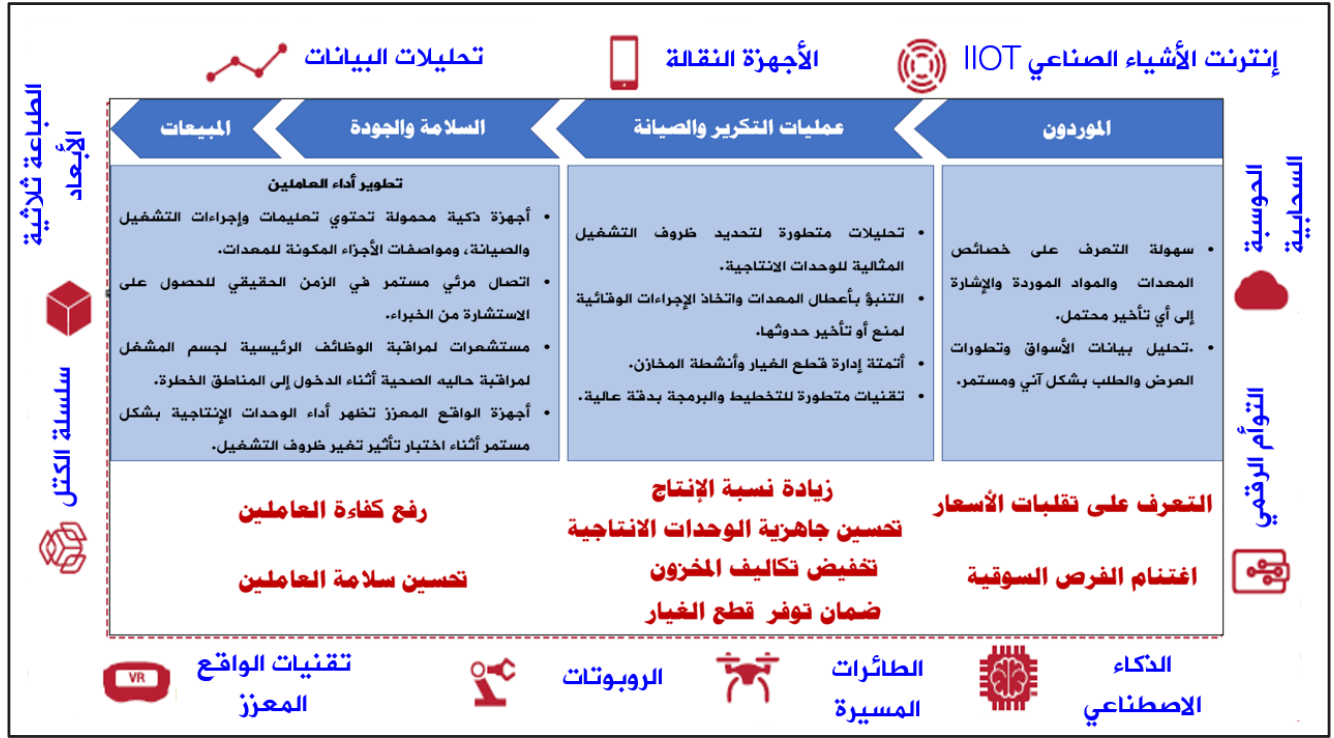
إن اكتساب الميزة التنافسية يتطلب سرعة ومرونة في اتخاذ القرار، وذلك من خلال تطبيق التكنولوجيا، وامتلاك العاملين في الشركة مهارات تمكنهم من توظيف التكنولوجيا الرقمية. فعلى سبيل المثال، ساهم تطبيق مشروع التحول الرقمي في مصفاة متوسطة الحجم (200 ألف ب/ي) من تعزيز العائد

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

على الاستثمار، وذلك من خلال تحسين الربحية بمعدل 15-30 مليون دولار أمريكي سنوياً، علاوة على خفض حوالي 500-900 ألف طن متري من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في السنة. (Lau, 2021)

يمكن تطبيق الحلول الرقمية الحديثة في مجالات عديدة في عمليات التكرير والبتروكيماويات، بدءاً من العمليات اللوجستية، مروراً بعمليات التكرير، وعمليات ضبط جودة المنتجات، وحتى إدارة عمليات البيع والتوزيع. يبين الشكل 1-2 مجالات تطبيق التقنيات الرقمية في مصفاة تكرير النفط.

## الشكل 1-2: مجالات تطبيق التقنيات الرقمية في مصفاة تكرير النفط



المصدر: Geisbour, R., et. al., 2019

تلعب التكنولوجيا الرقمية دوراً مهماً في تعزيز القيمة المضافة لصناعة التكرير والبتروكيماويات، حيث تقوم تقنية إنترنت الأشياء الصناعي بمعالجة بيانات التصنيع والتخزين والنقل التي تنقلها المستشعرات لتصبح قابلة للاستخدام في تحسين الأداء والإنتاجية. وتساهم تقنية تحليل البيانات في تقديم معلومات للمشغلين حول ظروف التشغيل المثالية. أما تقنيات تعليم الآلة والذكاء الاصطناعي فتساعد في تسهيل عمليات الصيانة والتنبؤ بالأعطال، أو كشف اضطرابات ظروف تشغيل العمليات الإنتاجية. كما تعتبر تقنية التخزين السحابي منصة لدعم وحماية منظومة البيانات من الاختراق. (Phukan, 2020)

لتقنية إنترنت الأشياء الصناعي IIOT دور مهم في تحسين الأداء التشغيلي لصناعة التكرير والبتروكيماويات، وذلك من خلال التضافر بين ثلاث تقنيات، أولها القياسات، وثانيها تقنية التوأم الرقمي (المحاكاة)، وثالثها قاعدة المعرفة. ويمكن تطبيق هذه التقنية على مستويات متباينة، سواء على مستوى المعدات، أو الوحدات الإنتاجية، أو المصفاة، أو صناعة التكرير ككل. (Malhotra, 2020)

## 2-4: تحسين العمليات الإنتاجية

يقدم التحول الرقمي فرصاً عديدة لتحسين العمليات الإنتاجية باستخدام تقنيات واسعة ومتنوعة بدءاً من مستشعرات المراقبة وتطبيقات التحكم Control applications، وحتى أجهزة التحكم التنبؤية Predictive controllers. ويمكن للمشغل أن يحصل على دعم ومساندة في اتخاذ القرارات التشغيلية لمعالجة المشكلات التي تواجه العمليات الإنتاجية بواسطة اختبار عدة سناريوهات لحل المشكلة قبل اتخاذ القرار النهائي. (Lorenz, Pfeiffer, Leingang, & Oppelt, 2020)









على الرغم من تنوع العمليات الإنتاجية في صناعة التكرير والبتروكيماويات، واختلاف درجة تعقيدها، إلا أن من الممكن تصنيفها ضمن مجموعات متماثلة كمجموعة عمليات توريد وتحضير المواد الخام، ومجموعة عمليات تقطير ومعالجة المنتجات، ومجموعة نقل وتخزين المنتجات الوسطى والنهائية، والمرافق التي تساند العمليات الإنتاجية الأساسية، مثل أبراج مياه التبريد، ومعدات تخفيف الانبعاثات، ومرجل توليد بخار الماء، ومولدات الطاقة الكهربائية، وضواغط الهواء، ومنظومة إدارة الإنتاج التي تضمن سير العمليات الإنتاجية. ويتلخص الهدف الأساسي لكل هذه العمليات في تحويل المواد الخام إلى منتجات وسطية ثم إلى منتجات نهائية اعتماداً على عمليات كيميائية وفيزيائية، والتي يرمز لها بعملية التصنيع.

تستغرق دورة حياة مصفاة تكرير النفط عدة عقود من الزمن، بدءاً من مرحلة التخطيط والتصميم، والإنشاء، والتشغيل، والصيانة، وحتى مرحلة الإزالة. وخلال كامل هذه الدورة توجد فرص مهمة لاستخدام تكنولوجيا المعلومات وإدارة البيانات في مجال تحسين الإنتاجية تتدرج من عمليات التدريب والتعليم وحتى تطبيق إجراءات السيطرة على الحوادث الطارئة.

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

تساعد الحلول الرقمية، مثل تقنيات الذكاء الاصطناعي في تعظيم الاستفادة من تطبيق تقنية التوأّم الرقمي في تحسين العمليات الإنتاجية، من خلال الكشف المبكر عن الأعطال وإصلاحها، علاوة على تقديم دليل إرشادي لعملية اتخاذ القرارات اعتماداً على تحليل البيانات، بما يؤدي إلى خفض تكاليف التشغيل وتحسين القدرة التنافسية للمصفاة. (Chappell, 2020) يبين الشكل 2-2 تطبيقات التحول الرقمي في تحسين عمليات صناعة التكرير والبتروكيماويات.

## الشكل 2-2: تطبيقات التحول الرقمي في تحسين عمليات صناعة التكرير والبتروكيماويات

تخفيض التكاليف والأخطار		التصنيع الذكي			تحسين هامش الربحية		
العمليات المركزية / المتكاملة							
إدارة البنية التحتية في الموقع _____ الفضاء السحابي		تكمّل بيانات تكنولوجيا المعلومات مع تكنولوجيا العمليات			التحليلات والمحاكاة		
دورة حياة الأصول	الإنتاج/التصنيع				سلسلة القيمة		
	 السلامة وكفاءة العاملين	 صيانة الأصول	 تحسين عمليات الإنتاج	 جودة ومعدل المنتجات	 المواد والخدمات اللوجستية	 التخطيط والحاسبة	 الطاقة والاستدامة
تصميم العمليات	إجراءات السلامة	التحكم والسلامة	تعظيم الربحية	العمالة الماهرة	المواد والتوريدات	التخطيط	الانبعاثات
التصاميم الهندسية والإنشاء	الأمن السيبراني	أجهزة التحكم وصيانة المحطات	إدارة النفقات الرأسمالية		خدمات لوجستية	الجدولة	والنفقات
التحسين والتطوير	الالتزام بالتشريعات	إدارة الأصول	إدارة تكاليف التشغيل		التوصيل	المحاسبة	تحول الطاقة
الإهلاك		تجميع البيانات وتجويدها	سرعة الاستجابة لمتغيرات الأسواق				موافقة التجمعات السكنية على تشغيل المنشأة
			ثقافة الربحية				

من جهة أخرى تساهم تقنية التوأّم الرقمي في تحسين الأداء التشغيلي من خلال توفير إمكانية إجراء العمليات عن بعد، علاوة على تحسين عمليات التنسيق والتعاون بين المشغلين وإدارة الوحدة الإنتاجية. كما تساهم هذه التقنية في دعم عمليات التشغيل الأساسية لتوسيع الرؤى المنبثقة عن البيانات الضخمة Big Data وتحويل أساليب العمل إلى الشكل الذي يعظم القيمة المضافة، ويعزز تحقيق التميز في بيئة أعمال شديدة التغير. (Menachery, 2020) وفيما يلي بعض مجالات تطبيق الحلول الرقمية في تحسين العمليات الإنتاجية.



## 2-4-1: التحكم بإمدادات النفط الخام

عندما تكرر المصفاة النفط الخام الذي صممت لتكريره فإن ظروف الوحدات الإنتاجية تكون في أحسن أحوالها، أما إذا اضطرت المصفاة لتكرير نوع مختلف فتتعرض المعدات وظروف التشغيل حينئذ لاضطرابات ومشكلات عديدة. كما يزداد حجم المشكلة عندما تعتمد المصفاة على مصادر خارجية لتأمين حاجتها من النفط الخام، أو عندما ترغب في الاستفادة من فرق السعر بين بعض الأنواع المختلفة المعروضة في الأسواق العالمية. لذلك فمن الأهمية بمكان مراقبة خصائص النفط الخام في الخزانات ورصد أي تغير طارئ واتخاذ الإجراءات المناسبة لتفادي تلك المشكلات قبل إدخال النفط إلى وحدات التقطير الرئيسية. ومن أهم الخصائص التي تقوم المصافي بمراقبتها في الخزانات، والنفط الداخل إلى وحدات التقطير هي درجة الكثافة  $API^\circ$ ، ومحتوى الكبريت، والمياه والرواسب. (Abbal, 2020)

ولتعظيم الربحية وفي نفس الوقت تقليص التكاليف والأخطار إلى الحدود الدنيا الممكنة، لا بد من الاستجابة السريعة لإشارات الأسواق، والتعامل مع التقلبات التي تطرأ عليها بأسرع ما يمكن، وأن تقوم الشركات بإعادة تقييم خططها الإنتاجية باستمرار. (Martins, 2020)

فعلى سبيل المثال، يحتوي مجمع بتروكيماويات إنتاج البولي إيثيلين والبولي بروبيلين على عدد كبير من المكونات، وبالتالي قد تتغير متطلبات وحركة الأسواق من حيث الطلب على بعض المنتجات من يوم لآخر. ولتحقيق ربح تشغيلي مثالي، يجب تكيف ظروف تشغيل المصنع بما يتوافق مع هذه التغيرات، وذلك بتطبيق تقنية نماذج محاكاة التوائم الرقمي.

## 2-4-2: تعظيم كمية المنتجات

يمكن تعظيم كمية المنتجات بطريقتين أساسيتين. تعتمد الطريقة الأولى على استخدام التحليلات المتقدمة، مع التوصيف الآني لحالة وظروف المعدات والمواد الأولية والمخرجات لتحديد ظروف التشغيل المثالية للوحدة الإنتاجية. أما الطريقة الثانية فتعتمد على استخدام تقنية تعليم الآلة Machine Learning

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

في إدارة عمليات مزج وجدولة نقل المنتجات وضمان دقتها، وتحديد النسبة المثالية لمزج أنواع مختلفة من اللقائم. (BCG, 2020)

فعلى سبيل المثال، في وحدة إنتاج أكسيد الإيثيلين تتم أكسدة الإيثيلين بواسطة الأوكسجين لتشكيل أكسيد الإيثيلين بوجود عامل حفاز مصنوع من الألومينا والفضة Silver Alumina Catalyst، في مفاعل يعمل بدرجة حرارة 220-300 °م وضغط 10-20 بار. كما تحقن في المفاعل مادة كيميائية لمنع تشكل المنتجات الثانوية التي تتكون بشكل رئيسي من غاز ثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub> والماء H<sub>2</sub>O. ولتعظيم إنتاج أكسيد الإيثيلين على حساب المنتجات الثانوية تتوفر عدة خيارات للمشغل منها على سبيل المثال، زيادة تركيز الأوكسجين الداخل إلى المفاعل، أو زيادة تركيز الإيثيلين، أو ضبط معدل حقن المواد المانعة لتشكيل المنتجات الثانوية. وباستخدام تقنية الذكاء الاصطناعي لاختيار الحل الأنسب تمكنت إدارة الشركة من رفع كفاءة التحويل بمعدل 3.3% والتي ساهمت في تحسين ربحية الوحدة بمبلغ سنوي قدره 4.3 مليون دولار أمريكي. (Lou, Lou, & Gai, 2020)

## 2-4-3: ضبط مواصفات المنتجات

تساهم عملية جمع وتحليل المعلومات المتعلقة بكيفية استخدام المنتجات والميزات والخصائص التي تطرأ عليها من حيث الكفاءة والجودة، وتغير مستويات المخزون على مدى دورة حياة المنتج، في استمرار عملية تطوير جودة هذه المنتجات واكتشاف العوامل المؤدية إلى خفض تكاليف إنتاجها. (Phukan, 2020) فعلى سبيل المثال، واجه المشغلون في مصفاة ازميت Izmit التي تمتلكها شركة توبراس Tupras التركية، مشكلة عدم إمكانية ضبط مواصفات منتجات برج فصل النافثا المنتجة من وحدة التقطير إلى نافثا خفيفة تستخدم لقيم لوحدة الأزمرة، ونافثا ثقيلة تستخدم لقيم لوحدة التهذيب بالعامل الحفاز المائع بطريقة التنشيط المستمر CCR. وللبحث عن حلول للمشكلة وتحسين كفاءة الطاقة في الوحدة قام المهندسون بتحليل ظروف تشغيل برج فصل النافثا وتحديد القيم الهيدروليكية لصواني البرج trays Hydraulics باستخدام تقنية التوأم الرقمي Digital Twin لتحليل البيانات الهندسية التفصيلية للصواني Detailed geometric data. وبتطبيق قيم القياسات التصميمية التي تحقق المواصفات المطلوبة

للمنتجات تبين أن سبب المشكلة هو انخفاض كفاءة الصواني، وبالتالي أمكن حل المشكلة، إضافة إلى الحصول على الفوائد التالية: (Tupras, 2020)

- إمكانية رفع الطاقة الإنتاجية لبرج الفصل بنسبة 40%.
- خفض استهلاك الطاقة في الوحدة بمعدل 15%، أي ما يعادل 500 ألف دولار أمريكي سنوياً
- استرجاع تكاليف الإصلاح بمدة زمنية أقل من سنة.

#### 2-4-4: سرعة مواجهة المشكلات الطارئة والأزمات

توفر التكنولوجيات الرقمية إمكانية الوصول السريع إلى تعليمات التشغيل عبر التخزين السحابي، فيقوم المشغلون بتطبيق الإجراءات المناسبة عند وقوع المشكلات التي لا يمكن تجنبها. ومن جهة أخرى توفر التكنولوجيات إمكانية مراقبة مدى التزام العاملين بمتطلبات تنفيذ الخطط الإنتاجية والتشغيلية بما يتوافق مع التطورات المتسارعة التي تشهدها العمليات الصناعية. (Abbal, 2020)

كما تساعد تقنيات الاتصال الحديثة في سرعة الحصول على المعلومات في وقت وقوع الأزمات، وخصوصاً عندما تكون مصحوبة بإعداد جيد لخطط مواجهة المشكلات الطارئة. فالحوادث الطارئة والأزمات لا تحترم ساعات العمل الرسمية أو الإجازات أو عطلات نهاية الأسبوع. والشركات التي تتمتع بالمرونة تستطيع الاستفادة من منصات وتطبيقات إدارة الأزمات على أجهزة الهواتف النقالة لتنبيه الأشخاص المعنيين وإطلاعهم على الواقع الحقيقي لظروف التشغيل بالشكل الذي يمكنهم من تشخيص المشكلة واتخاذ الإجراءات المناسبة في الوقت المناسب، علاوة على التقنيات التي تساعد العاملين في الموقع على تقصي أسباب المشكلة بالتعاون مع المختصين الموجودين خارج الموقع، والحصول على التعليمات الخاصة بمعالجة أسباب المشكلة واتخاذ الإجراءات التصحيحية المناسبة. (Abbal, 2020)

بما أن البيانات التي تنتج عن مراقبة ظروف التشغيل غير كافية لمعرفة تاريخ إجراء آخر عملية صيانة للمعدات أو الإجراءات الأخرى التي تم تنفيذها، أو متى يجب إجراء الصيانة التالية. كما لا يمكن التنبؤ بموعد حدوث العطل، وما الأجزاء المطلوب تغييرها لإعادة المعدات إلى وضعها الطبيعي الذي يمكنها من القيام بالوظيفة المطلوبة منها، وفيما إذا كانت هذه الأجزاء متوفرة في مخازن الشركة، يقوم مهندسو العمليات

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

بتحليل البيانات باستخدام جداول إكسل، وإرسال رسالة إلكترونية أو إجراء اتصال هاتفي بمسؤول التشغيل لإعلامه عن نتائج التحليل للقيام بتنفيذ الإجراءات التصحيحية. إلا أن من مساوئ هذه الطريقة احتمال عدم قيام المسؤول عن الوحدة بالاطلاع على بريده الإلكتروني، أو قد لا يكون متواجداً في موقع العمل. لهذا يمكن استخدام نظام التحليلات الصناعية ذاتية الخدمة Self-service industrial analytics حيث يمكن من خلاله تجميع البيانات وتحليلها وإرسال نتائج التحليل بشكل آلي ومباشر إلى غرفة التحكم.

التحليلات الصناعية ذاتية الخدمة هي برنامج مصمم لمساعدة خبراء العمليات على تحليل بيانات ظروف التشغيل، واكتساب رؤى واضحة حول عمليات التصنيع تمكنهم من اتخاذ القرارات المناسبة. كما توفر التحليلات الذاتية الخدمة إمكانية مشاركة التحليلات والدروس المستفادة منها مع مصانع مماثلة على المستوى المحلي والعالمي.

أحد الأمثلة على تطبيق نظام التحليلات ذاتية الخدمة تحليل سبب مشكلة اضطراب ظروف تشغيل برج التقطير، فعندما يحدث خلل يؤدي إلى حدوث فيضان السوائل على صواني البرج قد لا ينتبه المشغل إلى التغيرات التي تحدث في ظروف التشغيل، بينما يقوم نظام التحليلات الذاتية الخدمة بإرسال تنبيه إلى غرفة التحكم لإعلام المشغل عن وجود المشكلة من خلال تحليل ارتفاع فرق الضغط عبر صواني البرج. (Petrosyan, 2021)

وفي أحد مصانع البتروكيماويات أثناء فترة تطبيق الاشتراطات الصحية للوقاية من وباء فيروس كورونا، حيث تم خفض عدد العاملين في الموقع، لاحظ المهندسون أن عملية تحليل البيانات في المنزل لا تختلف من حيث الكفاءة عن إجرائها في موقع العمل، وذلك بفضل نظام التحليلات الذاتية الخدمة التي أمكن من خلالها إرسال تنبيهات إلى كافة المعنيين بالموضوع في وقت واحد وإعلامهم بالإجراءات الواجب تنفيذها. (Petrosyan, 2021)

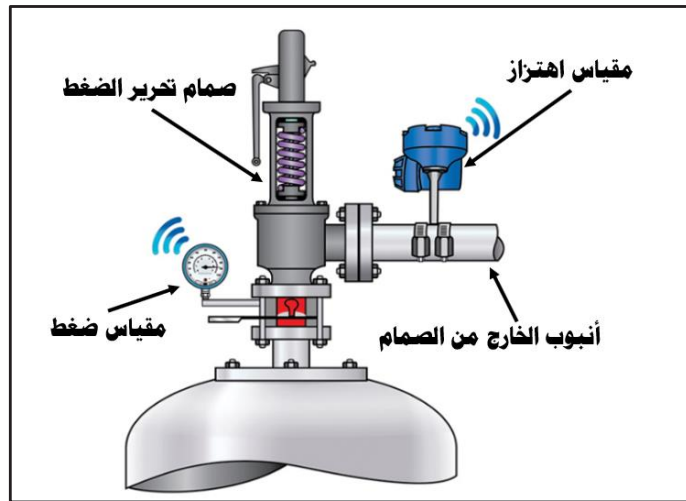
## 2-4-5: تحسين كفاءة المراقبة الميدانية

لإجراءات المراقبة المستمرة لسلامة ظروف عمل المعدات وجودة مواصفات المنتجات دور مهم في تقليل أخطاء العملية الإنتاجية، وانخفاض فرص تشكل المنتجات المخالفة للمواصفات المعيارية التي

تحتاج إلى إعادة تكرير، بحيث يمكن تجنب التكاليف غير الضرورية، والمحافظة على أنظمة إنتاج أكثر موثوقية، وتقليل زمن التوقفات غير المبرمجة، وبالتالي تحسين كفاءة العمليات الإنتاجية.

إن عدم معرفة ظروف عمل المعدات تضع المشغل تحت خطر وقوع الأعطال الطارئة التي تؤدي إلى خسائر كبيرة نتيجة توقف الإنتاج. وتساهم المراقبة المستمرة لظروف عمل المعدات في الكشف عن العلامات التي تشير إلى احتمال وقوع العطل، كارتفاع درجات الحرارة عن الحدود المسموحة، أو حدوث اهتزاز، فيقوم المشغل بالتخطيط لإجراء عمليات الصيانة في الوقت المناسب قبل تفاقم المشكلة. فعلى سبيل المثال، يمكن تطبيق التقنيات الرقمية في المراقبة الميدانية لصمامات تحرير الضغط Pressure Relief Valve (PRV) التي تعمل في الحالات الطارئة لتخفيف الضغط الناشئ في الأوعية والأنابيب لتفادي حدوث انفجار عندما يصل مستوى الضغط إلى قيمة محددة تشكل خطراً على ظروف التشغيل وسلامة المعدات. وعندما يفتح الصمام غالباً لا يعود إلى وضعه الصحيح، مما يؤدي إلى تسرب المواد الخطرة عبر سطح الإحكام. وبما أن هذا التسرب لا يرى بالعين، ويصعب الكشف عليه إلا بتوقيف الوحدة وإجراء عملية الفحص والإصلاح، يمكن تركيب جهاز قياس اهتزاز على الأنبوب المتصل بمخرج المواد المحررة من الصمام بهدف الكشف على مدى سلامة سطح إحكام الصمام، حيث أن التسرب يؤدي إلى صدور صوت ناتج عن اضطراب الجريان على سطح الأنبوب، فيرسل الجهاز إشارة لاسلكية إلى غرفة التحكم تنبه المشغلين بوجود تسرب يحتاج إلى معالجة. يبين الشكل 2-3 جهاز قياس صوت اهتزاز الخط الخارج من صمام تحرير الضغط

### الشكل 2-3: جهاز قياس صوت اهتزاز الخط الخارج من صمام تحرير الضغط



المصدر: (Carugo, 2020)



# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

## 2-5: تحسين كفاءة عمليات الصيانة

تقوم مصافي النفط بإجراء عمليات الصيانة الدورية للمعدات للتأكد من جاهزيتها، وضمان سير عمل الوحدات ضمن الشروط النظامية الآمنة. وقد تستغرق عملية الصيانة عدة أسابيع وقد تمتد لشهور، حيث يتم فحص وتفتيش العديد من المعدات، وقد تكتشف أعطال غير متوقعة تؤدي إلى تمديد زمن التوقف وبالتالي تكبد خسائر باهظة. (Plowman, 2021)

ولتفادي الخسائر المحتملة من زيادة زمن التوقف يقوم المهندسون باستخدام البرمجيات التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي لجدولة المهام وتوزيع الأيدي العاملة بما يحقق تنفيذ البرامج وإعادة تشغيل الوحدات الإنتاجية في أقرب وقت ممكن. ويتم تشغيل البرنامج وتحميل البيانات اللازمة لإعداد المخططات وجداول برمجة الأعمال خلال ساعات معدودة كان يستغرق بالطريقة اليدوية أكثر من أسبوع. كما يمكن تخفيض تكاليف التشغيل مع المحافظة على أعلى ربحية ممكنة وذلك بتطبيق تقنيات الصيانة التنبؤية التي تقدمها التطبيقات الرقمية من خلال تحليل البيانات والتنبؤ بالأخطار قبل وقوعها. (Dodd, 2020)

## 2-5-1: الأقطاب الرئيسية لتطبيق التقنيات الرقمية في إدارة أداء الأصول

تساهم عملية التحول الرقمي لصناعة التكرير والبتروكيماويات في توفير الكثير من الجهد والوقت والمال بتطبيق التكنولوجيا المتطورة لإدارة الأصول لتحقيق التميز التشغيلي، وذلك باستعمال نظم إدارة الأصول Asset Management Systems، وتمكين العاملين في الشركة من القيام بأعمال التركيب واختبار جاهزية التشغيل، وأعمال الصيانة، والنشرات الفنية لتعليمات التشغيل ومواصفات المعدات Technical bulletins، ومعلومات أخرى يمكن الحصول عليها بواسطة أجهزة الاتصال النقالة.

عند تطبيق التقنيات الرقمية في إدارة أداء المعدات والأصول تتضافر ثلاث أقطاب رئيسية، هي العنصر البشري، وإجراءات تنفيذ العمل، والتكنولوجيا. كما هو مبين في الشكل 2-4.

## الشكل 2-4: الأقطاب الرئيسية لتطبيق التقنيات الرقمية في إدارة أداء الأصول



فدور العنصر البشري يتبلور في اختيار الحلول المناسبة، وابتكار الأفكار الجديدة، ومشاركة المعرفة مع العاملين في الوحدة الإنتاجية وفي المصفاة، وفي قطاع التكرير، حول الحلول التي تساهم في خفض الأخطار والتكاليف، وتحسين ظروف عمل المعدات. بينما تعبر الإجراءات عن أفضل الممارسات التي تضمن سلامة تنفيذ عمليات الصيانة والفحص الفني، وعمليات الإنتاج. أما التكنولوجيا فهي العمليات التي توفر تطبيق الإجراءات بحيث يمكن الحصول على أفضل النتائج الممكنة من تطبيق برنامج إدارة الأصول.

تقوم حلول التحول الرقمي مثل المنصات السحابية بإدارة البيانات لتعزيز كفاءة المعدات في الوحدات الإنتاجية، واكتشاف مجالات التحسين الممكنة. كما تطبق عمليات تقييم المخاطر لتعزيز السلامة في العمل، بينما يقوم نظام نقل المعلومات بتخزين المعرفة والخبرات المتراكمة. ويدعم ذلك تنفيذ برامج التدريب العالية الكفاءة في موقع العمل، مما يحافظ على معنويات العمال عالية وتقليل الحوادث الطارئة.

يتم تحسين استراتيجيات إدارة سلامة الأصول من خلال الوصول إلى أكبر قدر ممكن من البيانات ذات الصلة، وذلك باستخدام التقنيات المتعلقة بمعالجة البيانات، مثل إنترنت الأشياء الصناعي IIOT، والتكامل باستخدام النظم السحابية، بما في ذلك تعليم الآلة ML والذكاء الاصطناعي AI، واستخدام التوائم الرقمية. فعلى سبيل المثال، تطبق تقنيات تعليم الآلة والتحليلات للتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها وتقدير العمر

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

الإنتاجي المتبقي للمعدات، وإعطاء تحذيرات بوجود مؤشرات على احتمال وجود أخطار قبل وقوعها وتقديم نماذج ومحاكاة تساعد المشغل على تنفيذ مزيد من التحليلات، مما يمنح المشغلين الوقت الكافي لاتخاذ القرارات الصائبة التي تضمن عدم تفاقم الأعطال إلى الحد الذي يؤدي إلى توقف الإنتاج.

## 2-5-2: تطبيقات التوأّم الرقمي في إدارة أعمال الصيانة

يساهم تطبيق التوأّم الرقمي في تحقيق مستويات الأداء المستهدفة من إدارة أعمال الصيانة باستخدام برامج التصميم المرتكزة على الموثوقية Reliability-centered design لضمان الجاهزية التشغيلية، وبرنامج الصيانة المرتكزة على الموثوقية Reliability-Centered Maintenance RCM الذي يساعد على إجراء صيانة المعدات بكفاءة أعلى وبأقل التكاليف، بحيث يمكن ضمان أفضل مستوى أداء تشغيلي. وقد أثبتت الخبرة العملية أن تطبيق تقنية التوأّم الرقمي في هذه البرامج يساهم في الحصول على الفوائد التالية: (General Electric, 2021)

- خفض ما يعادل 10-20% من إجمالي تكاليف الصيانة خلال دورة حياة المعدات.
- زيادة اعتمادية المعدات بنسبة 2-10%.
- خفض تكاليف التأمين على المعدات بمقدار 10-30%.

إن الأخذ بالاعتبار قضية اعتمادية وموثوقية المعدات أثناء إعداد التصميم الهندسية منذ المرحلة الأولى للمشروع يعتبر من الأمور الضرورية والحيوية لضمان عمليات تشغيل ناجحة ومستقرة. كما أن تضمين تقنية التوأّم الرقمي في أعمال تحسين أداء الأصول يساهم أيضاً في تحسين الأداء التشغيلي للمصفاة وتحقيق الأهداف الإنتاجية.

من أهم الفوائد التي يمكن الحصول عليها من تطبيق التوأّم الرقمي في تحسين اعتمادية المعدات في إطار إدارة الأصول هي حماية المصفاة من حدوث الأعطال في المعدات ذات الأهمية الخاصة مثل المضخات والضواغط، والمبادلات الحرارية، والأفران، والمفاعلات، والصمامات، وأية معدات يمكن أن يؤدي تعطلها إلى حوادث خطيرة ينتج عنها توقف عمليات الإنتاج.

على سبيل المثال، قد تحدث أعطال غير متوقعة في المبادلات الحرارية بسبب بقائها في العمل لمدة زمنية طويلة، لذلك من الضروري التنبؤ بحدوث الخلل قبل مدة كافية حتى يتمكن المشغل من اتخاذ الإجراءات الوقائية قبل تفاقم العطل إلى الحد الذي يؤدي إلى توقف العملية الإنتاجية.

يساهم استخدام التوأم الرقمي للمبادل الحراري في الحصول على رؤية واضحة عن الوضع الحالي للمبادل. كما يمكن للتوأم الرقمي أن ينبئ المشغل بالموعد المحتمل لبدء حدوث الخلل دون الحاجة لدخول المهندسين إلى الموقع لإجراء الفحص العيني، وذلك من خلال البيانات التي يتم تجميعها من عدة نقاط ومعالجتها بواسطة أجهزة إنترنت الأشياء. وعند ربط التوأم الرقمي بنظام إدارة الأصول فإنه يوفر إمكانية الوصول إلى قائمة أوامر العمل، وصور عمليات الفحص، وسجلات تاريخ عمليات الصيانة والتكلفة الإجمالية التي أجريت على المعدات، بالإضافة إلى برنامج الوثائق، وسجلات لجميع الأعطال المحتمل أن تتعرض لها المعدات. (Sendler, 2016)

من الفوائد الأخرى المهمة لاستخدام التوأم الرقمي في مجال إدارة الأصول أنه يمكن المهندسين من إطالة الزمن التشغيلي الفاصل بين عمليتي صيانة دورية شاملة للوحدات من خلال اتخاذ إجراءات من شأنها تخفيف الخطر المحتمل من الخلل القائم، وبالتالي تحديد الموعد المناسب للتوقيف لإجراء عمليات الصيانة اعتماداً على البيانات الحالية بدلاً من الأسلوب التقليدي الذي يعتمد على تحديد مواعيد دورية ثابتة لإجراء الصيانة. وهذا يتيح فرصة إبقاء الوحدات الإنتاجية فترة زمنية أطول دون توقف، وبالتالي تحسين معدل العائد على استثمار المعدات. (Walker, 2020)

قد تصل الخسائر نتيجة تأخير يوم واحد من الأيام المخصصة للصيانة الدورية إلى ملايين الدولارات، علاوة على الخسائر الناتجة عن توقف الإنتاج. فعلى سبيل المثال، أظهرت نتائج تطبيق استخدام تحليلات تنبؤية لتطوير نهج يعتمد على البيانات لتخطيط الصيانة في إحدى وحدات إنتاج البتروكيماويات في دولة أوروبية عن توفير يومين في السنة من الفترة المخصصة لتوقيف الوحدات لإجراء الصيانة نتج عنها توفير حوالي 1.8 مليون دولار أمريكي من إجمالي تكاليف الصيانة السنوية (Golightly, 2020).

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

## 2-5-3: تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في عمليات الصيانة

يجب أن تتميز برمجيات الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي بالجودة التي توفر الإجابة على العديد من الأسئلة التي يحتاج مدير الصيانة الحصول عليها، منها:

- ماهي انعكاسات أنشطة الصيانة على الإنتاج، وكيف يمكن تخفيض زمن التوقف مع إنجاز المهام في وقتها المحدد؟
  - ماهي انعكاسات غياب أحد الكوادر العاملة في فرق الصيانة، لأسباب صحية أو أسباب أخرى، وكيف سيؤثر ذلك على البرنامج الزمني لعملية الصيانة؟
  - ماهي الإجراءات الواجب اتخاذها لمواجهة الأحداث غير المتوقعة والتي لا يمكن التحكم بها؟
- توفر برامج الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي العديد من الفوائد، من أهمها خفض التكاليف من خلال اتخاذ القرارات الصحيحة في الوقت المناسب، وتحسين كفاءة استخدام الموارد اللازمة لتنفيذ عمليات الصيانة. (Plowman, 2021)

من المزايا التي تقدمها برامج الصيانة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي توفير إمكانية عرض البرنامج الزمني للأعمال بشكل آني على كافة العاملين في مشروع الصيانة باستخدام وسائل التواصل المرئي عبر الإنترنت، كما يمكن الاطلاع على تقارير تقدم العمل والقرارات الخاصة بتعديل برامج تنفيذ الأعمال فور صدورها، مما يعزز التعاون بين أعضاء فرق العمل. (Zornio & Boudreaux, 2019)

من التقنيات الأخرى المهمة التي تساهم في تخفيض تكاليف عمليات الصيانة تقنية التحليلات التنبؤية Predictive analytics من خلال ما توفره من قدرة على اتخاذ قرارات سريعة في الوقت المناسب، مثل تحديد مخزون قطع غيار المعدات، واختيار المواعيد المثالية لتوقيف الوحدات والمعدات عن العمل لإجراء الصيانة. (OPEC, 2020)

كما تساهم التكنولوجيا الرقمية في مجال تعزيز برنامج الصيانة من خلال تدريب المشغل أو فني الصيانة على تنفيذ عمليات الإصلاح باستخدام التطبيقات التي تعتمد على تقنية الواقع الافتراضي (VR). التي تسمح للمستخدمين بالقيام بأشياء لا يمكن القيام بها في المصنع. فعلى سبيل المثال، يفرض أن إحدى



المهام تحتاج إلى إغلاق صمام أو إعادة تشغيله مرة أخرى فإن المشغل يمكنه متابعة تنفيذ هذا الإجراء الدقيق باستخدام الواقع الافتراضي، وعندما يتعين على هذا الشخص تنفيذ هذه المهمة في الواقع الحقيقي يكون على دراية بالمعدات وكيفية التفاعل معها. (YUKOGAWA & REUTERS, 2021)

## 2-5-4: دور البيانات والتقنيات الرقمية في التنبؤ بأعطال المعدات

يمكن تحسين موثوقية المعدات والأصول، والتنبؤ بأعطال المعدات ذات الأهمية الخاصة من حيث الخطورة وتأثيرها على سلامة التشغيل، وذلك بتطبيق نظام إدارة الصيانة المتطور، واستعمال البيانات الضخمة Big Data وتقنية تعليم الآلة Machine-learning. ومن الأمثلة على بعض المهام التي يمكن الحصول عليها من استخدام البيانات الضخمة التنبؤ بمستوى انسداد المعدات الرئيسية في الوحدات الإنتاجية كالمبادلات الحرارية. أما تكنولوجيا تعليم الآلة فتساعد المهندسين على تحديد العوامل التي يمكن أن تؤدي إلى حدوث مشكلات في المستقبل، وبالتالي يمكن اتخاذ الإجراءات اللازمة لتجنب عمليات الصيانة غير المبرمجة (Eichelberger, 2019)

تعتمد عملية التنبؤ بحدوث الأعطال على تحليل البيانات التاريخية، ليس فقط من موقع واحد، ولكن من مواقع متعددة، وهذا يتطلب عقد اتفاقيات تفاهم حول إمكانية مشاركة البيانات بين المصافي المختلفة. (BCG, 2020)

لا يمكن للصيانة الوقائية التقليدية وحدها أن تمنع حدوث الأعطال غير المتوقعة، إلا أنه باستخدام نظم إدارة أداء الأصول المدعومة بتقنية تعليم الآلة، أصبح من الممكن الاستفادة من بيانات التصميم والعمليات التي تم الحصول عليها خلال العقود السابقة في التعرف على أنماط الفشل بدقة عالية للتنبؤ بأعطال المعدات قبل أسابيع أو حتى أشهر من الموعد المحتمل لوقوع العطل. فعلى سبيل المثال، قامت إحدى مصافي تكرير النفط طاقتها التكريرية 300 ألف ب/ي بتطبيق تقنية التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها، فاستطاعت تحديد موعد حدوث العطل قبل حوالي 30 يوماً مما يمكن المهندسين من التحضير المسبق لإجراءات الصيانة واختيار الموعد المناسب للتوقيف بما لا يؤثر سلباً على الوفاء بالتزامات توريد المنتجات إلى الزبائن. وكانت النتائج توفير حوالي 10 أيام في السنة من إجمالي عدد أيام التوقفات الطارئة غير

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

المبرمجة، وتحسين هامش الربحية بحوالي 1-3%، وتخفيض تكاليف التشغيل والصيانة بمعدل 1-5%.  
(Golightly, 2020)

## 2-6: التحكم بمشكلات التآكل

تحتوي مصافي تكرير النفط والوحدات البتروكيماوية على العديد من الأوعية وأبراج التقطير وخطوط الأنابيب العمودية والأفقية والمبادلات الحرارية التي يصعب الوصول إليها بسبب موقعها المرتفع أو وجود حاجز يمنع رؤيتها كالمواد العازلة، أو الإسمنت، أو التربة، أو المياه، وهذا يجعل التحكم في مشكلات التآكل التي تتعرض لها هذه المعدات عملية معقدة. ولتفادي الانعكاسات السلبية والخسائر التي يمكن أن تنتج بسبب مشكلات التآكل يلجأ القائمون على صناعة التكرير والبتروكيماويات غالباً إلى تطبيق نظام إدارة ينظم عمليات مراقبة وضبط ظروف تشغيل المعدات المحتمل تعرضها للتآكل، وتنظيم معدلات حقن المواد المانعة للتآكل، واختيار المعادن المناسبة لنوع المواد الجارية في المعدات أو الأنابيب، علاوة على تطبيق إجراءات وقائية أخرى عديدة (مكي، 2021).

يمكن تحسين عملية التحكم بمشكلات التآكل باستخدام التكنولوجيا الرقمية اعتماداً على مبدأ تكامل نموذج المحاكاة مع بيانات التآكل لتصميم توأم رقمي Digital Twin يساهم في تعزيز خطة إدارة التآكل، والحصول على بيانات تفصيلية ودقيقة حول التغيرات التي تحدث في خصائص المواد الجارية في المعدات المعرضة للتآكل، تساعد المشغل في تقييم الوضع الحالي، وتمكينه من اتخاذ الإجراءات التصحيحية المناسبة للمحافظة على معدل التآكل عند أدنى المستويات الممكنة. (Tellez, et al., 2020)

فعلى سبيل المثال، يصمم المهندسون نموذج محاكاة يعتمد على مبدأ التوأم الرقمي لرصد التغيرات التي تسبب ارتفاع معدل التآكل في منظومة أعلى برج تقطير النفط. ومن أهم هذه التغيرات التي تتم مراقبتها باستخدام التوأم الرقمي لضبط معدل التآكل في منظومة أعلى البرج هي درجة حرارة الوسط، وارتفاع قيم بعض خصائص النفط الخام المكرر، مثل الرقم الحمضي الإجمالي TAN، ومحتوى الكبريت والمياه، والكلوريدات. ومعدل حقن الماء النظيف حيث أن زيادة النسبة تسبب حدوث التآكل نتيجة ارتفاع إجهاد القص Shear stress على سطح الأنابيب، وبالمقابل يزداد معدل التآكل عند انخفاض معدل مياه الحقن

نتيجة ترسب أملاح الأمونيوم على سطوح المعدات، علاوة على دورها في خفض معدل التبادل الحراري عبر أنابيب المبادلات الحرارية. (GE, 2019)

تحدث عملية تآكل الهياكل المعدنية في صناعة التكرير والبتروكيماويات بشكل بطيء نسبياً، ويزداد التآكل بمرور الوقت، وفي أغلب الحالات لا يظهر للعيان إلا عندما يصل إلى مرحلة متقدمة من التلف. ولذلك يمكن باستخدام بيانات النمذجة والمسح المتكاملة التنبؤ بالمخاطر المستقبلية وموعد وصول التآكل إلى المرحلة الخطرة، وتنبية المشغل إلى ضرورة البدء باتخاذ الإجراءات التصحيحية في الوقت المناسب قبل تفاقم المشكلة، بحيث يمكن تجنب الإصلاحات غير المبرمجة والتي تكون عادة مكلفة وينتج عنها خسائر باهظة في الإنتاج. (Nair, 2018)

لا تزال العديد من شركات التكرير والبتروكيماويات تعتمد على الطرق التقليدية وطرق الفحص اليدوي في تنفيذ عمليات التفتيش الفني للمعدات، على الرغم من أنها تستغرق وقتاً طويلاً، علاوة على نقص جودة البيانات الناتجة عنها، وهذا ينتج عنه قصور في تحليل البيانات واللجوء إلى الاحتمالات وبالتالي الوقوع في الخطأ، وعدم الوصول إلى صورة واضحة عن الوضع القائم. أما الأسلوب الحديث لفحص المعدات فيعتمد على التفتيش الرقمي Digital Inspection المدعم بمستشعرات فوق صوتية Ultrasonic sensors، والحوسبة السحابية Cloud computing، والتحليلات التي يمكن من خلالها إدارة التآكل بطريقة أكفأ وأسلوب استباقي. (Reuters, 2021)

تقوم المستشعرات المثبتة على سطوح المعدات بنقل قياسات سماكة الجدار الداخلي، وقرارات درجة الحرارة إلى ملفات سحابية لتخزين البيانات التي تمتلك قدرة على الحوسبة، والتخزين والتحليل. وهذا يساعد على الحصول على بيانات أكثر موثوقية في اكتشاف وتشخيص الأعطال الناتجة عن التآكل، وبالتالي اتخاذ الإجراءات الوقائية لتفادي حدوث العطل، وتقديم رؤى قابلة للتنفيذ للمعنيين باتخاذ القرار بفعالية وكفاءة. (Carugo, 2020)

كما تساهم تقنية الروبوتات في فحص الأماكن التي يحتاج الإنسان إلى جهد كبير ووقت طويل للوصول إليها، كجدران خزانات النفط الخام والمنتجات النفطية، والمفاعلات، والأفران، حيث أصبح

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

بإمكان الروبوت المحمل بكاميرات وأجهزة فحص أن يتسلق هذه الأماكن بسرعة ويقدم نتائج دقيقة. (Jenkins, 2020) يبين الشكل 2-5 نموذج روبوت لفحص جدران الخزانات والمفاعلات.

## الشكل 2-5: نموذج روبوت لفحص جدران الخزانات والمفاعلات



من التقنيات الأخرى المستخدمة في مراقبة التآكل النموذج الأيوني Ionic model، وهي طريقة تقدم رؤى شاملة ودقيقة حول ما يجري في الوسط المسبب للتآكل، من خلال المعلومات التي يعطيها حول احتمالية حدوث التآكل ومكانه، وشدته. وهذه المعلومات ترشد المهندسين لاتخاذ القرار الأنسب من الناحية الفنية والاقتصادية لمعالجة المشكلة، سواءً بتعديل نظام المعالجة الكيميائية، أو تغيير ظروف التشغيل، أو كليهما معاً.

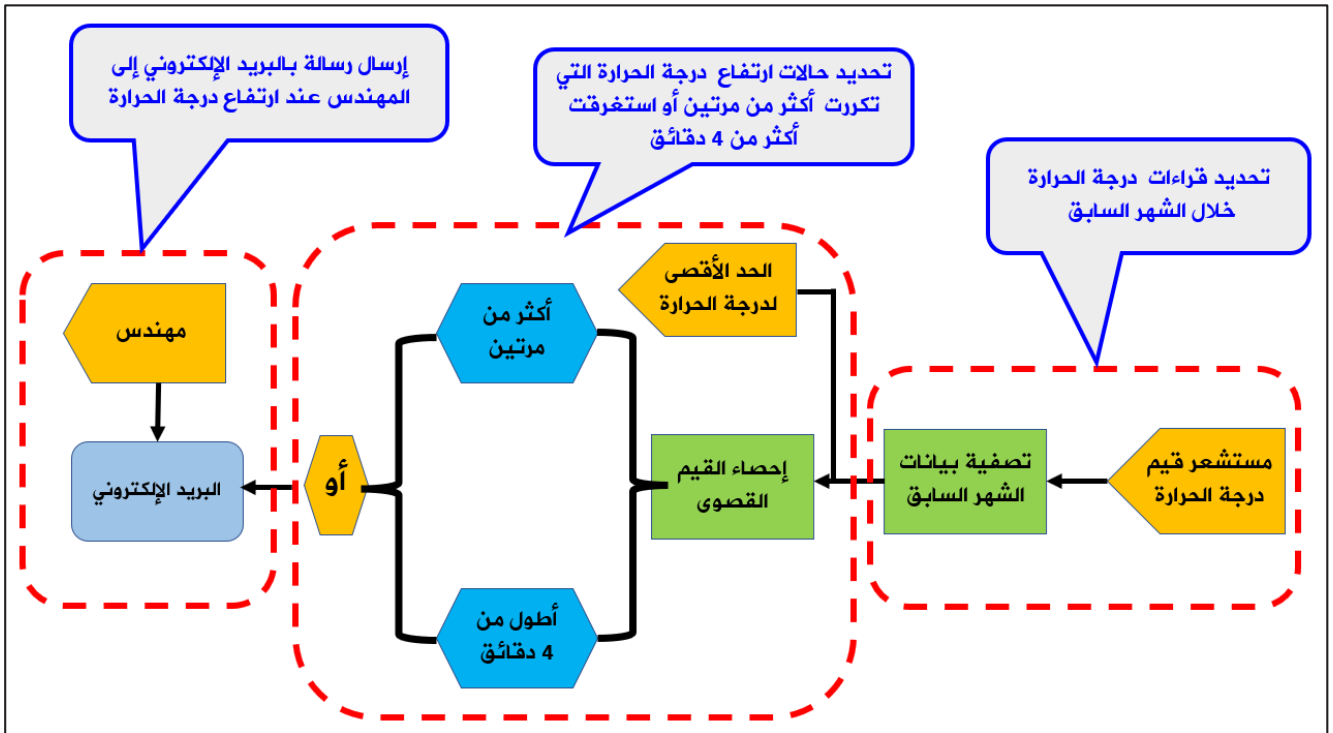
إن استخدام النموذج الأيوني يمكن المهندسين من تحديد النواقص والثغرات الموجودة في البرامج التقليدية للتحكم بالتآكل، وذلك من خلال الفوائد التي يقدمها، والتي من أهمها:

- تحليل البيانات الميدانية للتنبؤ بانعكاسات تغير ظروف التشغيل على معدل التآكل، ومنها على سبيل المثال، معدلات الجريان، والتركيب الكيميائي لمزيج النفط الخام المكرر، وظروف أخرى.
- تقديم توصيات حول القيم المثالية لظروف التشغيل والوقت المناسب لحقن مانع التآكل، والتي من خلالها يمكن تجنب الهدر في استخدام المواد الكيميائية، والمحافظة على سلامة المعدات من التآكل بأقل التكاليف الممكنة.

وعلى سبيل المثال، استطاعت مصفاة طاقتها التكريرية 250 ألف ب/ي توفير حوالي 5-12 مليون دولار في السنة نتيجة تطبيق الحلول الرقمية لمراقبة سماكة المعدن في الزمن الحقيقي، حيث بلغت تكلفة تنفيذ هذه الحلول حوالي 2 مليون دولار تقريباً. جاء التوفير من خلال تطبيق التقنيات الرقمية التي تساعد على اختيار الأنواع المناسبة من النفط الخام واللحائم الأخرى لضمان أدنى نسبة من المواد الأكلة، وتحسين برنامج حقن مانع التآكل، وإجراءات الصيانة الاستباقية. (OILX, 2020)

لمراقبة ارتفاع معدل التآكل عن النسب المسموحة يمكن للتقنيات الرقمية أن ترصد التغيرات التي تطرأ على الأنابيب المراد مراقبته، وتحليل البيانات الواردة من المستشعرات وأجهزة القياس وإرسال رسالة عبر البريد الإلكتروني إلى المهندسين لإعلامهم عن وجود اضطراب في ظروف التشغيل، وإلى ضرورة اتخاذ الإجراءات الوقائية المناسبة في الوقت المناسب قبل تفاقم الخطر، وبالتالي يمكن تفادي تكاليف الصيانة غير المبرمجة. يبين الشكل 6-2 التقنيات الرقمية لمراقبة التآكل.

### الشكل 6-2: التقنيات الرقمية لمراقبة التآكل



المصدر: General Electric, 2021



# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

كما يمكن التأكد من صلاحية التصاميم الهيدروليكية للمبادلات الحرارية والأنابيب لتحمل التغيرات الجديدة في ظروف تشغيل الوحدة باستخدام برنامج المحاكاة Simulation حيث يظهر البرنامج احتمالات حدوث الاهتزاز أو التآكل التحاتي Erosion، من خلال رصد تغير قيمة فرق الضغط عبر المبادل، ومعدل سرعة جريان السائل، للتأكد من أنها ضمن الحدود المسموحة التي لا تسبب مشكلات تآكل بعد تطبيق ظروف التشغيل الجديدة. (Tupras, 2020)

من الفوائد الأخرى غير المباشرة لتطبيق التقنيات الرقمية لمراقبة التآكل، خفض الانبعاثات الملوثة للبيئة نتيجة الكشف المبكر عن بدء حدوث التآكلات، بحيث يمكن اتخاذ الإجراءات الوقائية قبل أن تؤدي إلى تسريب المواد الهيدروكربونية إلى الجو.

## 2-7: ترشيد استهلاك الطاقة

ساهمت ظروف المنافسة الشديدة في الأسواق العالمية، وتنامي التشريعات البيئية الخاصة بفرض متطلبات صارمة لخفض انبعاثات الكربون من المنشآت الصناعية في دفع القائمين على صناعة التكرير والبتروكيماويات للبحث عن الطرق الممكنة لترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها.

(Sá, Diego , Francesco , & Tiziano , 2019)

إن استخدام الحلول الرقمية في عملية إدارة الطاقة يمكن أن يساهم في تحسين كفاءة العملية من خلال تخفيض معدل استهلاك الطاقة في العمليات الإنتاجية يصل إلى حوالي 7-12% تبعاً لحجم المصفاة وطاقتها التكريرية، علاوة على تخفيض حوالي 2-5% من تكاليف شراء الطاقة نتيجة تحسين عمليات التعاقد والشراء. فعلى سبيل المثال، أظهرت نتائج تطبيق التقنيات الرقمية في إحدى مصافي النفط المتوسطة الحجم طاقتها التكريرية 200 ألف ب/ي، توفير حوالي 15-30 مليون دولار سنوياً من تكاليف استهلاك الطاقة، وخفض ما يعادل 500 إلى 900 ألف طن متري في السنة من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون.

كما يساهم تطبيق التقنيات الرقمية في ترشيد استهلاك الطاقة، وتحسين كفاءة استخدامها، من خلال خفض انحرافات ظروف التشغيل وضبطها عند القيم المثالية المستهدفة، باستخدام تطبيقات التحسين في الزمن الحقيقي Real-time optimization، علاوة على الفوائد غير المباشرة كتعظيم الطاقة

الإنتاجية للمصفاة، وخفض استهلاك المواد إلى الحد الأدنى، وتحسين جودة مواصفات المنتجات. فعلى سبيل المثال، حيث سجلت إحدى مصافي النفط اليابانية خفض في استهلاك الطاقة وصل إلى 5% من إجمالي استهلاك المصفاة. وفي إحدى أكبر مصافي النفط الهندية بلغت قيمة التوفير في استهلاك الطاقة ما يعادل 7.2 مليون دولار سنوياً من خلال استخدام التقنيات الرقمية لمراقبة أداء المعدات، وحوالي 5 مليون دولار سنوياً من خلال تطبيق نظام المراقبة في الزمن الحقيقي. كما أمكن توفير حوالي 3.6 مليون دولار سنوياً من تكاليف إنتاج بخار الماء في إحدى شركات إنتاج البتروكيماويات بجنوب أفريقيا، وذلك نتيجة تطبيق التقنيات الرقمية التي تعتمد على مراقبة بيانات ظروف تشغيل المعدات في الزمن الحقيقي، ومقارنتها مع مؤشرات الأداء الرئيسية. (Lau, 2021)

من التقنيات الرقمية المطبقة لترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها في صناعة التكرير والبتروكيماويات برنامج رقمنة أنشطة صيانة المبادل الحراري الذي يخفف أعباء القيام بإجراءات المراقبة اليدوية المرهقة، حيث تحتوي المصفاة العادية على حوالي 200 إلى 400 مبادل حراري تتم مراقبة معظمها يدوياً، وقد يفصل بين عمليتي فحص المبادل عدة شهور. وعندما لا تتم مراقبة المبادل الحراري بالشكل الصحيح يتعرض لمشكلة تراكم الرواسب والانسداد، مما يؤدي إلى تراجع أدائه، وانخفاض كفاءة تبادل الحرارة. وقد تتفاقم المشكلة إلى الحد الذي يؤدي إلى توقيف طارئ للوحدة. وقد يضطر المشغل إلى تركيب مستشعرات إضافية لمراقبة درجات الحرارة، إلا أن تركيب مستشعرات درجة الحرارة السلوكية التقليدية غير مسموح أثناء وجود الوحدات الإنتاجية في دائرة العمل.

ولتفادي هذه المشكلة تم ابتكار أجهزة استشعار لاسلكية يمكنها مراقبة درجات حرارة المبادلات الحرارية في المصفاة دون الحاجة إلى عمليات تركيب مزدوجات حرارية Thermowell على جسم المبادل، ويتم نقل بيانات القياسات في الزمن الحقيقي عبر الفضاء السحابي باستخدام تقنيات الحوسبة السحابية Cloud computing technologies، حيث يتم تفسير ومعالجة هذه البيانات باستخدام تقنية التحليلات المتقدمة التي تقدم للمشغل المعلومات التي تمكنه من الكشف عن بوادر تشكل الرواسب، وتمنحه فرصة اتخاذ القرارات المناسبة لتحسين أداء المبادلات الحرارية قبل تفاقم المشكلة.

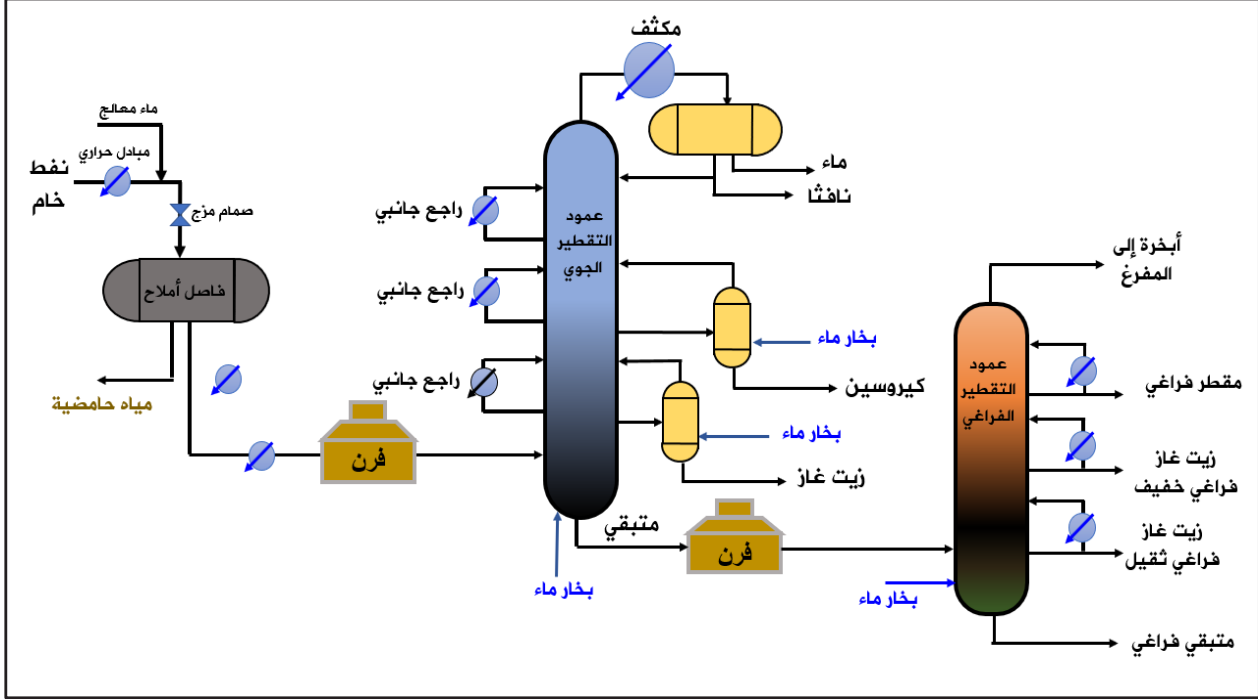
# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

بالإضافة إلى معرفة صحة عمل المبادلات الحرارية، وتخفيض معدل استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها نتيجة تخفيف مشكلة توضع الرواسب على سطح أنابيب المبادلات، وتفادي التوقفات الطارئة، وتخفيف العبء على كاهل المشغلين، تقدم التقنيات الرقمية فوائد أخرى جوهرية لتحسين ربحية المصفاة وتخفيض تكاليف التشغيل والصيانة، فعلى سبيل أمكن لمصفاة تبلغ طاقتها التكريرية 250 ألف ب/ي أن توفر أكثر من 3.5 مليون دولار أمريكي من تكاليف التشغيل سنوياً باستخدام تقنيات التخزين السحابي، والحوسبة السحابية في مراقبة عمل المبادلات الحرارية. (Hague, 2019)

إن تعدد المتغيرات وظروف التشغيل المؤثرة في كفاءة استهلاك الطاقة يجعل من الضروري استخدام التكنولوجيات الرقمية، مثل تقنية إنترنت الأشياء الصناعي المتطورة لتحقيق الأهداف المنشودة بالسرعة والكفاءة العالية، من خلال تعظيم الأداء التشغيلي على ثلاث مستويات، هي الأصول، والعمليات، والأعمال. أما الأصول فتتعلق بالمعدات مثل الأفران، والمضخات، والأبراج، بينما يتعلق مستوى العمليات بالوحدة الإنتاجية مثل وحدة التقطير الجوي، ووحدة التقطير الفراغي ووحدات التكسير بالعامل الحفاز، وغيرها، في حين يتضمن مستوى الأعمال تعظيم الأداء على مستوى المصفاة بأكملها.

يقوم نموذج إنترنت الأشياء الصناعي بتقديم حلول تخفيض استهلاك الطاقة في الوحدة من خلال تحليل كل قيمة من قيم التشغيل واقتراح القيمة الأنسب، وذلك اعتماداً على العناصر الرئيسية للنموذج الذي يصمم خصيصاً للوحدة، والتي تتكون من التوأم الرقمي، والبيانات التاريخية، وقاعدة البيانات، وأداة تعظيم الأداء، وقاعدة المعرفة. فعلى سبيل المثال، يتوجه اهتمام القائمين على صناعة التكرير نحو تعظيم كفاءة الطاقة في وحدة التقطير الجوي والفراغي للنفط الخام باعتبارها إحدى أكثر الوحدات المستهلكة للطاقة على شكل وقود في الأفران، أو على شكل بخار ماء لتعزيز جريان السوائل في أبراج ومبادلات ومعدات وحدات التكرير، حيث تستهلك حوالي 20% من إجمالي استهلاك الطاقة في المصفاة، والتي تعادل حوالي 2% من إجمالي كمية النفط الخام المكرر. ولترشيد استهلاك الطاقة في هذه الوحدة يمكن تطبيق تقنية إنترنت الأشياء الصناعي التي تساعد على تقديم اقتراحات وحلول اعتماداً على تحليل كل من بيانات ظروف التشغيل، والنماذج التصميمية والهندسية، وتقييم خصائص النفط الخام المكرر. يبين الشكل 2-7 مخطط سير عملية وحدة التقطير الجوي والفراغي.

## الشكل 2-7: مخطط سير عملية وحدة التقطير الجوي والفراغي



المصدر: (أوابك، 2019)

## 2-8: تدريب العاملين

تهدف عملية محاكاة التدريب إلى بناء خبرات المشغلين وتحسين قدرتهم على التعامل مع المهام التشغيلية المحتمل مواجهتها في المستقبل بكفاءة وأداء خال من الأخطاء. وهذا يتضمن خبرات التعامل مع كل من أجهزة التحكم والعملية الإنتاجية ومبادئها التكنولوجية.

يحتاج إعداد المشغل حتى يتمكن من اتخاذ قرارات تشغيل الوحدات الإنتاجية حوالي سبع سنوات، إلا أن استخدام التقنيات الرقمية مثل تقنية التوائم الرقمي يمكن أن تخفف هذه المدة بشكل كبير، بحيث أصبح من الممكن تأهيل المشغلين وتزويدهم بكافة المهارات التشغيلية أثناء فترة الإنشاء ليصبحوا جاهزين قبل بدء تشغيل الوحدة الجديدة. (Berutti, 2019)

كما يخضع العاملون في صناعة التكرير والبتروكيماويات لدورات تدريبية مستمرة لتعزيز قدرتهم على تشغيل الوحدات وصيانتها بالشكل الأمثل الذي يمكنهم من تفادي الوقوع في الأخطاء التي يمكن أن تؤدي إلى التوقفات الطارئة. وقد أثبتت التجربة العملية أن التحول الرقمي يساهم في توفير عملية التدريب

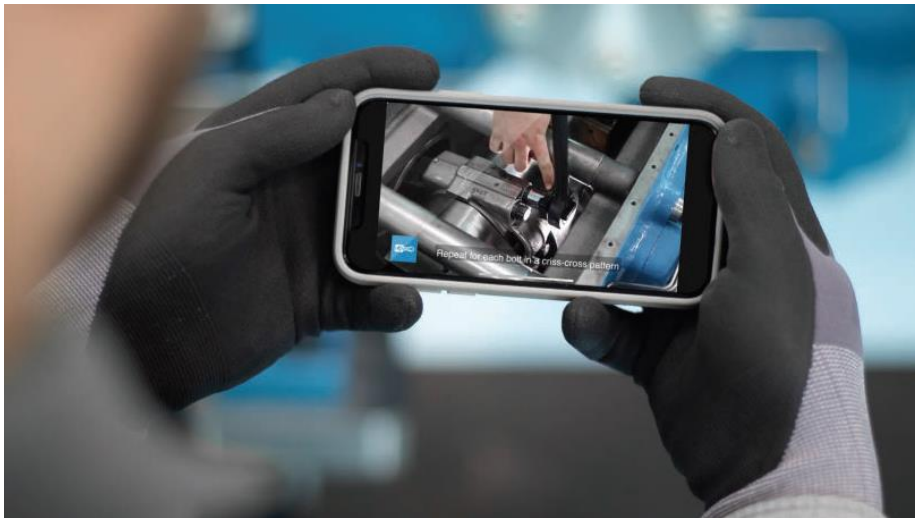
# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

المستمر للعاملين في عمليات التشغيل والصيانة من خلال سهولة التعلم التي توفرها عملية نقل المعلومات والتواصل المرئي، علاوة على تعزيز ثقافة الابداع، وإثارة الحماس والرغبة لدى العاملين نحو تطوير عمليات الإنتاج. (YOKOGAWA, 2020)

على الرغم من أفضلية التدريب الشخصي وأهميته إلا أن التدريب الافتراضي باستخدام الواقع المعزز أثبت فوائده العديدة، وخصوصاً بالنسبة للعاملين في المواقع الخطرة، التي ينتج عن الخطأ فيها حوادث مدمرة، كما تعزز استخدام هذا النوع من التدريب بعد انتشار جائحة فيروس كورونا الذي فرض إجراءات التباعد الجسدي. وقد طبقت تقنية التدريب باستخدام الواقع المعزز منذ عقود في مجال الطيران، وساهم في تجنب العديد من الحوادث التي كانت تحدث أثناء تدريب الطيارين على طائرات التدريب الحقيقية.

من مزايا استخدام التوأم الرقمي في عملية تدريب العاملين في الصناعة تعدد وسائل تشغيله، فعلى الرغم من أن أفضل طريقة لتشغيل التوأم الرقمي هي استخدام الأدوات اليدوية للواقع المعزز، إلا أنه يمكن تشغيله أيضاً بواسطة الكمبيوتر الشخصي أو الهاتف النقال. وفي حال تحميل البرنامج على الكمبيوتر يمكن للمستخدم تشغيله دون الحاجة للاتصال بالإنترنت، وذلك باستخدام نظام إدارة التعلم Learning Management System. (Cortes, 2021) يبين الشكل 8-2 دورة تدريب صيانة ضواغط غاز عبر الهاتف النقال.

## الشكل 8-2: دورة تدريب صيانة ضواغط غاز عبر الهاتف النقال





## 2-9 إعداد التصاميم الهندسية

من المجالات الأخرى لتطبيق التقنيات الرقمية في صناعة تكرير النفط مجال إعداد التصاميم الهندسية لعمليات التكرير. ففي تسعينيات القرن الماضي كان إنجاز تصميم مشروع مصفاة طاقتها التكريرية 100 ألف برميل/اليوم يحتاج حوالي خمسة إلى عشرة آلاف ساعة عمل، بينما يمكن إنجاز نفس التصاميم حالياً بحوالي 1500 إلى 2000 ساعة عمل فقط وذلك بفضل ما توفره التكنولوجيات الرقمية المتطورة من إمكانية تنفيذ عدة مهام في وقت واحد.

## 2-10: الاستجابة لتغيرات السوق

تتأثر ربحية صناعة التكرير والبتروكيمياويات بتقلبات أسعار النفط إلى الحد الذي يمكن أن يؤثر على قدرتها التنافسية في تصريف المنتجات، وخصوصاً بالنسبة للمصافي التي تعتمد على استيراد النفط أو المصممة للتصدير إلى الأسواق الخارجية. (YOKOGAWA, 2020)

ولمواجهة انعكاسات التقلبات التي تطرأ على الأسواق كالي حدثت مؤخراً نتيجة جائحة فيروس كورونا، حيث تراجعت أسعار النفط بسبب تخمة المعروض وانخفاض الطلب العالمي على الوقود، قامت شركات النفط بإعادة تقييم خططها الإنتاجية (Martins, 2020)

ولكي تتمكن شركات التكرير والبتروكيمياويات من تعظيم الاستفادة من الفرص التي تنشأ من تغيرات السوق، يجب أن تمتلك القدرة على الاستجابة السريعة لأي تغيير محتمل، من خلال إعداد خطط تسمح بتقييم العديد من السيناريوهات المناسبة للظروف الطارئة كتقلبات الأسعار، أو تغيرات الطلب على المنتجات. ويتوقف نجاح الشركات في اغتنام الفرص والاستفادة منها على مدى امتلاكها للمرونة الكافية التي تمكنها من الاستخدام الأمثل لأصولها، واستعمالها للسيناريوهات التي تمكنها من إعداد خطط تعظيم أرباحها على المديين القصير والطويل. (Chew, 2021)

تعتبر تقنية إنترنت الأشياء الصناعي من أكثر التقنيات الرقمية المستخدمة في تحسين كفاءة استخدام الموارد، وذلك من خلال محاكاة العمليات الإنتاجية، مما يتيح لشركات الإنتاج الاستجابة بسرعة ومرونة أكبر لمتطلبات السوق المتقلبة، وتلبية رغبات الزبائن المتنوعة.

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

إن توفر البيانات المالية والإنتاجية الكافية عن كافة مراحل سلسلة القيمة تساهم في سرعة اتخاذ القرار في الوقت المناسب. (Countryman, 2019) فالمنصات الرقمية المصحوبة بتقنيات تحليل البيانات المتطورة وتقنية التواصل عن بعد تقدم للشركات الصناعية رؤية شاملة حول المخاطر المحتملة، وتمنحها القدرة على الاستجابة السريعة في اتخاذ الإجراءات الاحترازية لتفادي حدوث تلك المخاطر أو التخفيف من آثارها إن حدثت. (Abbal, 2020)

## 2-10: تطبيق إجراءات الصحة والسلامة المهنية وحماية البيئة

إن من أهم عوامل تعزيز ربحية صناعة التكرير والبتروكيماويات هي النجاح في تطبيق متطلبات الصحة والسلامة المهنية، وإدارة عمليات توقيف وتشغيل الوحدات، وتطبيق برامج الصيانة الوقائية والدورية، والحد من التوقفات غير المبرمجة. وهذه العوامل لا يمكن تحقيقها إلا من خلال اختيار القرارات الصحيحة في الوقت المناسب، والتي يمكن تنفيذها بالشكل الأمثل اعتماداً على إنترنت الأشياء الصناعي IIOT. كما تحظى إجراءات الصحة والسلامة المهنية وحماية البيئة اهتماماً بالغاً من القائمين على صناعة التكرير والبتروكيماويات نظراً لخطورة المواد التي تتعامل معها هذه الصناعة وصرامة التشريعات التي تفرض اشتراطات باهظة التكلفة، وهذا يستدعي إجراء تقييم مستمر لحالة المعدات والتأكد من صحة عملها، والتدخل السريع لتصحيح أي انحراف قبل أن يتسبب في وقوع أعطال ينتج عنها إحداث ضرر بالبيئة أو بالعاملين في المصفاة. فعلى سبيل المثال، بلغت تكلفة انفجار مصنع للبتروكيماويات في جمهورية التشيك عام 2015 حوالي 177 مليون دولار، بينما بلغت تكلفة حدث مماثل في كندا في عام 2005 حوالي 870 مليون دولار. (Phukan, 2020)

تشير الخبرة العملية إلى أن العديد من الحوادث التي وقعت في صناعة التكرير والبتروكيماويات كانت نتيجة خطأ بشري، وأن هذا الخطأ يمكن أن يقع من أكثر الأشخاص مهارة وخبرة، وهذا ما يؤكد على أهمية تطبيق التقنيات الرقمية مثل المستشعرات العالية الجودة، والتقنيات اللاسلكية، والتطبيقات التي تعتمد على الفضاء السحابي لتجميع وتحليل البيانات الآتية من الأجهزة والمعدات في موقع الوحدة الإنتاجية بحيث يمكن للمشغل أن يقوم بإجراءات استباقية لتفادي وقوع العطل.

تساهم عملية التحول الرقمي في تمكين صناعة التكرير والبتروكيماويات من تلبية متطلبات تشريعات الصحة والسلامة المهنية وحماية البيئة من خلال تسهيل الاتصال بين العاملين، وتطبيق العمليات الذاتية Autonomous operations في الأماكن الخطرة، والمساهمة في الحد من الحوادث التي ينتج عنها إطلاق انبعاثات ملوثة للبيئة، وتوفير إمكانية تشغيل الوحدات والمعدات الخطرة ومراقبة ظروف تشغيلها عن بعد. كما توفر التكنولوجيات الرقمية فرص تطوير أجهزة الكشف عن تسرب المواد الهيدروكربونية من المعدات وخطوط الأنابيب، بحيث تنبه المشغل عن وجود خطر ليقوم باتخاذ الإجراءات التصحيحية لتفادي انسكاب المواد الخطرة إلى البيئة. (YOKOGAWA, 2020)

من جهة أخرى تساهم التقنيات الرقمية في تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من خلال متابعة وتحليل انبعاثات الكربون التي توفر إمكانية اتخاذ الإجراءات المناسبة لخفض النفايات واستخدام الموارد واستهلاك الطاقة، وإعادة استخدام الموارد والأدوات، إضافة إلى خفض انبعاثات وسائل النقل من خلال تطبيق نظم الاتصال المرئي لفرق العمل بدلاً من اللقاءات المباشرة.

## 2-11: تعزيز التعاون بين العاملين

في السنوات القليلة الماضية كان الهدف من استخدام التقنية السحابية لتحسين كفاءة الشركات وتخفيض تكاليف تكنولوجيا المعلومات IT. أما في الوقت الحالي فقد أصبحت تقنية السحابية تستخدم لتعزيز سرعة تنفيذ الأعمال والتعاون والتنسيق بين العاملين وخصوصاً بعد انتشار عمل معظم العاملين في الشركة عن بعد نتيجة انتشار جائحة كورونا. (LUISS, 2019)

تساعد التقنيات الرقمية في تعزيز قدرة العاملين على إنجاز أعمالهم بسرعة أعلى، وتشجيعهم على الابتكار، وخصوصاً في هذه الأيام التي تتجه نحو عصر الذكاء الاصطناعي. (YOKOGAWA, 2020)

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

كما أثبتت التجربة العملية أن الشركات التي تستخدم التكنولوجيات الرقمية في تعزيز التنسيق والتعاون بين العاملين عن بعد، وتطبق إدارة العمليات افتراضياً Virtual Process Management يمكنها مواجهة انعكاسات الأزمات بسرعة وسهولة أكبر. وهذا ما يعزز الثقة لدى الزبائن بقدرة الشركة على تجاوز العقبات التي قد تعترض سير العملية الإنتاجية، والمحافظة على استمرار التزامها بتوريد منتجاتها في الوقت المناسب دون تأخير. (Abbal, 2020)

## 2-12: تعظيم الاستفادة من فرص التكامل بين المصافي المتجاورة

يساهم تطبيق تقنيات التحول الرقمي في تعظيم الفائدة من فرص التكامل فيما بين مصافي تكرير النفط، وفيما بين مصافي النفط ووحدات إنتاج البتروكيماويات، وذلك من خلال الاستفادة من مواطن القوة التي تمتلكها في مواجهة نقاط الضعف التي تعاني منها المصافي أو الوحدات الأخرى التابعة للشركة.

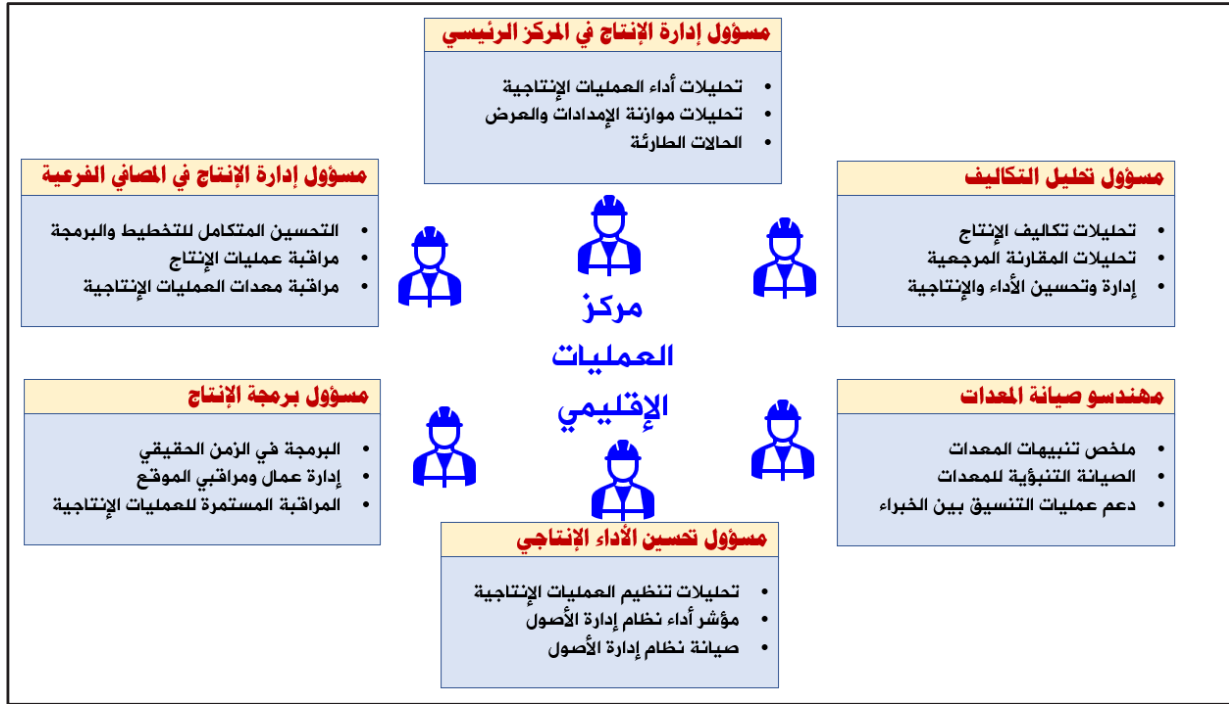
أحد التطبيقات الرقمية المستخدمة في تعظيم التكامل بين المصافي المتجاورة والفروع التابعة لها تطبيق مركز العمليات الإقليمي (Regional Operations Center (ROC الذي يهدف إلى خلق بيئة عمل تعاونية تدمج جميع الموارد اللازمة لتحسين العمليات الإنتاجية وتعزيز الربحية، وذلك من خلال أدوات تحليل البيانات ودعم القرار التي يوفرها التطبيق لمسؤولي إدارة الإنتاج والقائمين على جدولة العمليات الإنتاجية، ومسؤولي نظم التحكم، ومهندسي الصيانة، ومحلي التكاليف.

يقوم مركز العمليات الإقليمي بعدة أدوار، حيث يتركز الدور الأول في تحسين العمليات الإنتاجية من خلال توفير البيانات ذات الصلة بعمليات الإنتاج في الوقت المناسب، بما في ذلك كمية مدخلات النفط الخام، وكمية المنتجات، ومستوى المخزون، وبيانات عمليات صيانة المعدات، ومعدل استهلاك الطاقة، وإجراءات السلامة وحماية البيئة، واتجاهات السوق. (Qing Wu, Q., & Zhang, D., 2018)

أما الدور الثاني فهو تقديم تحليلات قياس الأداء، ومراقبة العمليات الإنتاجية. كما يتركز الدور الثالث في الحصول على توقعات الخطر وتحليلات حالات التشغيل الطارئة، وعمليات الصيانة، وحالة المخزون، وظروف الإنتاج غير الطبيعية. بينما يهدف الدور الرابع إلى التحسين الشامل لسلسلة التوريد من خلال تنظيم

عمليات شراء المواد وبيع المنتجات. يبين الشكل 2-9 وظائف مركز العمليات الإقليمي للتكامل بين المصافي المتجاورة.

### الشكل 2-9: وظائف مركز العمليات الإقليمي للتكامل بين المصافي المتجاورة



المصدر: (Qing Wu, Q., & Zhang, D., 2018)

فعلى سبيل المثال، قامت شركة Irving Oil المالكة لأكبر مصفاة نفط في كندا وهي مصفاة "سانت جون" طاقتها التكريرية 320 ألف ب/ي، بشراء شركة تكرير شمال الأطلسي المحدودة North Atlantic Refining Limited (NARL) التي تعرضت لخسائر باهظة.

تتميز مصفاة "سانت جون" بقدرتها على تكرير أنواع عديدة من النفط الخام نظراً لارتفاع درجة تعقيدها التكنولوجي. أما مصفاة NARL فهي متوسطة الحجم طاقتها التكريرية 130 ألف ب/ي، وتعاني من مشكلة ارتفاع تكاليف التشغيل بسبب استخدامها النفط كوقود بدلاً من الغاز الرخيص الثمن، والمصفاة مصممة لتكرار النفط الخفيف والمتوسط، ولديها القدرة على إنتاج مشتقات نفطية بمواصفات عالية الجودة متوافقة مع النوع المطلوب في الأسواق الأوروبية.



# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

ولتعظيم الاستفادة من التكامل بين المصفايتين كان لابد من إنشاء بعض الوحدات الإنتاجية والخزانات التي تحتاج إلى استثمارات باهظة التكلفة، إلا أن الشركة قررت تطبيق التقنيات الرقمية لتفادي توظيف تلك الاستثمارات. وفيما يلي بعض تقنيات التحول الرقمي التي طبقت لتعظيم الفائدة من فرص التكامل بين المصفايتين.

## ● تطبيق الحوسبة السحابية للاستفادة من فائض زيت الوقود المنتج من مصفاة NARL

لحل مشكلة صعوبة تصدير فائض زيت الوقود المنتج من مصفاة NARL يجب نقله إلى مصفاة سانت جون لإعادة تكريره، وبالتالي يمكن الاستفادة من الطاقة الفائضة للوحدات التحويلية في المصفاة. ولتحقيق ذلك تحتاج مصفاة سانت جون إلى شراء نפט خام خفيف للمزج مع زيت الوقود الوارد من مصفاة NARL لتكوين مزيج ملائم ككقيم لوحدة المصفاة، وهذا يتطلب استخدام برنامج معقد يعتمد على مبدأ البرمجة الخطية Linear Programming، ولتفادي دفع تكاليف شراء البرنامج لجأت الشركة إلى استخدام الحوسبة السحابية والتي يستخدمها العديد من مصافي النفط في الولايات المتحدة الأمريكية.

## ● استخدام التحليلات المتقدمة في تعظيم عمليات مزج المنتجات

يمكن الاستفادة من قدرة مصفاة NARL على إنتاج مشتقات ذات مواصفات تفوق متطلبات الأسواق من خلال مزجها مع منتجات المصفاة الثانية، أو من خلال شراء منتجات رخيصة. واتخاذ القرار المناسب يحتاج لإجراء حسابات معقدة للعديد من المتغيرات التي تستغرق الكثير من الوقت والجهد، مثل معدلات الطلب على المنتجات، وحجم الناقلات، وتكلفة المزج، وسعة الخزانات المتوفرة، ومتغيرات أخرى عديدة يمكن الحصول عليها بسهولة ودقة باستخدام تقنية التحليلات المتقدمة.

## ● مزامنة عمليات الصيانة الدورية مع مواعيد توقيف الوحدات الإنتاجية

يمكن الاستفادة من التكامل بين المصفايتين في اختيار الوقت المناسب لتوقيف إحدى المصفايتين لإجراء الصيانة الدورية في الوقت الذي تقوم المصفاة الأخرى بتلبية طلبات الزبائن من المنتجات النفطية. وللاستفادة القصوى من هذه الميزة تم استخدام التقنيات الرقمية لتحليل الظروف الملائمة من حيث توفر المعدات اللازمة لإجراء عمليات الصيانة، ودراسة حجم الطلب على المنتجات النفطية وتقلبات الأسواق.

## الفصل الثالث

### إجراءات تطبيق التقنيات الرقمية في صناعة التكرير والبتروكيمياويات

#### 1-3: مقدمة

إن تطبيق التقنيات الرقمية لتحسين الأداء التشغيلي والاقتصادي في صناعة التكرير والبتروكيمياويات ليس جديداً، بل يعود إلى ثمانينيات القرن المنصرم، وخصوصاً في عمليات إدارة الموارد، وتحسين السلامة المهنية، ورفع الكفاءة الإنتاجية. كما تمتلك العديد من مصافي النفط ومصانع البتروكيمياويات تطبيقات تعتمد على مبادئ تحليل البيانات، إلا أنها تقدم إجابات قديمة على أسئلة قديمة، مثل "كيف يمكن تخفيض عدد أيام توقف الإنتاج بمقدار 4%، أو تخفيض النفقات بمقدار 2%، بينما تقدم التقنيات الرقمية إجابات أعمق عن العديد من الأسئلة. فعلى سبيل المثال، يمكن لمدرء المصافي استخدام كمية هائلة من البيانات لاستكشاف مشكلات تتعلق بإدارة أعمالهم لم يسبق لهم ان تعاملوا معها، او حتى سبق ان تعرفوا عليها.

#### 2-3: دوافع تطبيق التقنيات الرقمية في صناعة التكرير والبتروكيمياويات

يتركز اهتمام القائمين على صناعة التكرير والبتروكيمياويات نحو تحسين الأداء والربحية من خلال التوظيف الأمثل للبيانات الضخمة التي يتم تجميعها، والاستفادة منها في تحسين ظروف الصحة والسلامة المهنية، وحماية البيئة، والمحافظة على سلامة الأشخاص والمعدات.

تعد التقنيات الرقمية إحدى الأدوات الهامة المساعدة على تطوير أداء صناعة التكرير والبتروكيمياويات بكافة مراحلها، مثل تطبيقات إدارة سلامة الأصول، وتقليل زمن وعدد التوقفات غير المبرمجة باستخدام التحليلات في الوقت الفعلي، وبرامج الصيانة التنبؤية، وأتمتة عمليات التخطيط وعمليات الإنتاج، ومراقبة معدلات استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها.

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

يسعى القائمون على صناعة التكرير والبتروكيماويات إلى البحث عن طرق جديدة لتعزيز الاستفادة من تقنية تحليل البيانات في الوقت الحقيقي، وتحسين الأداء التشغيلي وزيادة العمر التشغيلي للمعدات، وذلك من خلال استبدال النظم اليدوية بالتقنيات الرقمية، وتطبيقها في المجالات الرئيسية كعمليات التشغيل والصيانة وتحسين الموثوقية والسلامة المهنية. وهذا يتطلب مواجهة الاعتبارات التقنية والثقافية التقليدية والقديمة. فعلى سبيل المثال، في معظم الحالات يجري تجميع البيانات وتحليلها على مستوى الأصول، أو الوحدات الإنتاجية، أو على مستوى المصفاة بشكل عام، بينما لم يكن من المتبع تجميع وتحليل البيانات على مستوى صناعة التكرير، أو حتى الصناعة البترولية بكافة مراحلها، حيث يمكن للشركات دراسة عوامل الارتباط بين الأجزاء أو الوحدات، وتحليلها بشكل متكامل، وبالتالي تمكين المحللين من البحث عن فرص التكامل بين كافة المنشآت التابعة للصناعة البترولية.

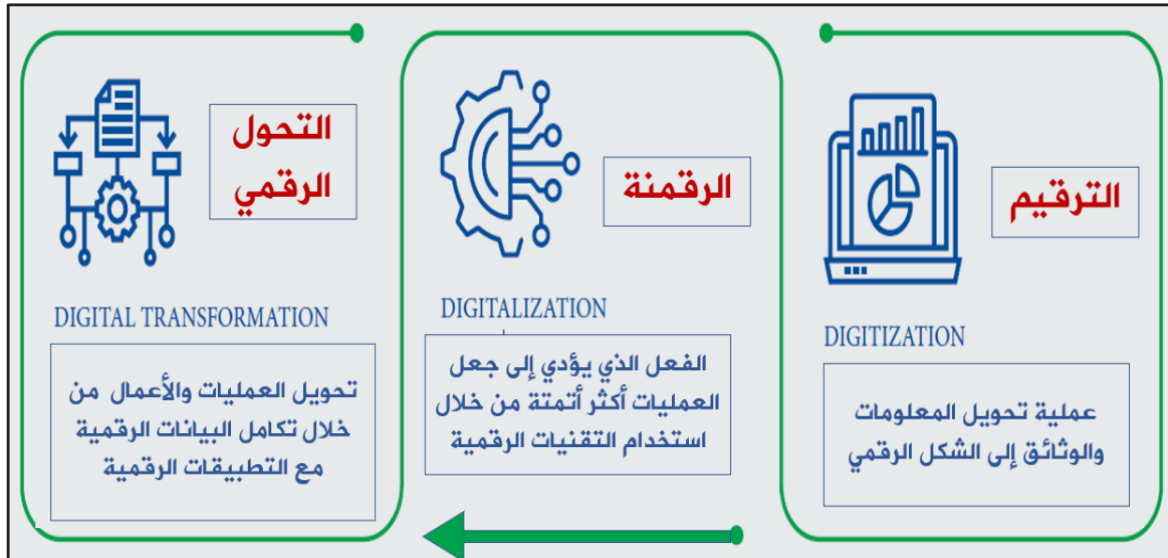
## 3-3: مراحل تطبيق التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيماويات

تعتمد طريقة تطبيق التحول الرقمي على حجم الشركة ونظرتها للوصول إلى التميز التشغيلي، فمنها ما يعتبر التميز التشغيل في زيادة الصادرات، ومنها ما يعتبره في زيادة الطاقة الإنتاجية، أو مدى تطبيق الابتكارات الرقمية، أو تقنيات المراقبة عن بعد، أو تطبيق العمليات الذاتية التحكم Autonomous operations (YOKOGAWA, 2020).

قد يكون من الأفضل تنفيذ مشروع التحول الرقمي في مرحلة واحدة وبوقت واحد، وذلك للحصول على أعلى فائدة ممكنة من التقنيات الرقمية، وذلك من خلال التركيز على كافة قضايا التشغيل على مستوى المصفاة. فبمجرد إجراء التحسينات لحل المشكلة الأولى، تنتقل الفائدة إلى العنصر التالي في القائمة، مما يؤدي في النهاية إلى تحسينات ملموسة على مستوى المصفاة. (Carugo, 2020)

إن التحول الرقمي ليس مجرد عملية يمكن إنجازها لفترة محددة، إنما هو نظام عمل دائم يتكون من ثلاث مراحل، على النحو المبين في الشكل 1-3.

### الشكل 3-0: المراحل الأساسية لعملية التحول الرقمي



المصدر: YOKOGAWA, 2020

تبدأ عملية التحول الرقمي بمرحلة الترقيم Digitization، وهي عملية تحويل المستندات الفيزيائية إلى وسائط رقمية، ويتم في هذه المرحلة إعداد العناصر الأساسية المكونة لاستراتيجية طويلة الأمد للتحول الرقمي. تأتي بعدها المرحلة الثانية، وهي مرحلة الرقمنة Digitalization التي تهدف إلى اختيار النظم والتكنولوجيات الرقمية التي يمكن أن تساهم في تحسين العمليات الإنتاجية. أما المرحلة الثالثة فهي مرحلة التحول الرقمي Digital transformation والتي تتضمن إعداد نماذج المحاكاة، وتطبيق التكنولوجيات الرقمية على العمليات الإنتاجية. (YOKOGAWA, 2020)

### 3-4: عوامل نجاح مشروع التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيماويات

تواجه عملية التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيماويات تحديات عديدة، من أهمها الخوف من الاستغناء عن الأيدي العاملة القديمة لتحل محلها الروبوتات والتقنيات ذاتية التحكم، وثقافة الخوف من التغيير، علاوة على مخاوف التعرض للهجمات الإلكترونية، أو حدوث أخطاء ناتجة عن عدم القدرة على التعرف على طبيعة وخصائص النظام الرقمي.

على الرغم من أهمية التكنولوجيا في عملية التحول الرقمي، إلا أنه لا يمكن الاعتماد عليها وحدها في إدارة أي مشروع يتضمن تطبيق تكنولوجيا المعلومات. فالاستثمار في التكنولوجيا وحدها أمر باهظ

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

التكلفة، ولا يحقق النتائج المرجوة، إذا لم يترافق مع تحديد دقيق وواضح لأهداف المشروع أو العائد على الاستثمار ROI بحيث يتمكن المستثمر من تحديد الجدوى الاقتصادية من المشروع أو الحصول على التمويل اللازم. وللحصول على الفائدة القصوى من تطبيق التحول الرقمي يجب الأخذ بالاعتبار العوامل التالية: (World Economic Forum, 2017)

- صياغة الأهداف المنشودة قبل البدء بالمشروع، وتحديد الأولويات التي تمثل للمصفاة أهمية وقيمة قصوى، مثل سلامة تشغيل عمليات التكرير، والتميز في إجراء أعمال الصيانة، وإدارة توريد المواد الخام، وتطبيق خدمات الصحة والسلامة والأمن والبيئة الذكية، ومكافحة الحرائق.
  - بناء قدرات العاملين وتمكينهم من التعامل مع تكنولوجيا التحول الرقمي في مختلف أنشطة الشركة، وخبرة التعامل مع البيانات والتحليلات، وهندسة التكنولوجيا، والأمن السيبراني.
  - إجراء تقييم للوضع الحالي لمستوى تطبيق التكنولوجيا الرقمية واختيار البرامج الأكثر ملاءمة لطبيعة عمل الشركة من حيث المرونة وقابلية التطبيق وتحقيق الاستفادة القصوى من البيانات المتوفرة.
  - دراسة الصعوبات والمعوقات التي يمكن أن تواجه عملية التنفيذ، وكيف يمكن التغلب عليها.
  - الأخذ بالاعتبار أن كل من الموارد البشرية والعمليات الإنتاجية، والتكنولوجيا هي منظومة واحدة متكاملة فيما بينها ومتوافقة مع رؤية الشركة وخطة عملها.
- أما أهم الشروط التي يجب توفرها لنجاح التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيماويات فتركز فيما يلي:

## 3-4-1: تقييم المستوى الحالي لتطبيق التقنيات الرقمية

إن أول مرحلة يجب على فريق العمل المسؤول عن تطبيق مشروع التحول الرقمي هي تحديد الوضع الحالي في الشركة، ومدى التقدم الذي تحقق في مجال تطبيق التقنيات الرقمية في كافة مجالات العمل. يبين الشكل 3-2 مستويات تطبيق التقنيات الرقمية في صناعة التكرير والبتروكيماويات.



### الشكل 3-2: مستويات تطبيق التقنيات الرقمية في صناعة التكرير والبتروكيماويات



### 3-4-2: إعداد خطة استراتيجية محكمة

قبل البدء بتنفيذ مشروع التحول الرقمي لابد من إعداد خطة عمل تبين أولويات المشروع، وتحدد الفوائد المتوقعة من تنفيذ المبادرات الرقمية المتعلقة بتحسين العمليات الإنتاجية وتعزيز نظام الأتمتة فيها. فعلى سبيل المثال، بفرض أن مصفاة قررت تنفيذ مشروع تحسين سلامة الأصول Asset Integrity Improvement، لا يمكن تبرير الاستثمارات اللازمة لتطبيق نظم الذكاء الصناعي المعتمد على النظام السحابي المتقدم، ومنصة التحليلات الرقمية دون إعداد دراسة تبين دور تطبيق التكنولوجيا في تخفيض تكاليف الصيانة. كما يجب ربط المبادرات الرقمية بشكل دائم مع الخطة الاستراتيجية الشاملة لأعمال الشركة، وأن تظهر القيمة التي ستضيفها إلى المصفاة. (Robert, 2020)

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

تعتبر عملية التخطيط الاستراتيجي من أهم عوامل نجاح تنفيذ المشاريع بالشكل الصحيح، ويمكن

تقسيم الخطة الاستراتيجية للتحول الرقمي إلى خمس خطوات، هي: (Burke, 2021)

- صياغة الرؤية
- تحليل السوق
- تقييم الوضع القائم
- تعديل البنية التحتية بما يتناسب مع متطلبات التحول الرقمي.

## 3-4-3: تحديد مؤشرات قياس الأداء الرئيسية

لضمان نجاح التحول الرقمي لابد من إعداد مؤشرات أداء رئيسية لقياس مدى نجاح تنفيذ المشروع، منها على سبيل المثال، مقدار خفض النفقات، ومعدل تحسين الإنتاجية، ونسبة تقليل عدد أيام التوقفات غير المخططة، وعدد الحوادث وإصابات العمل التي تقع في السنة.

تبدأ عملية إعداد مؤشرات الأداء الرئيسية بتوجيه الأسئلة التالية:

- ما الذي يجري قياسه حالياً؟ قد يكون مثلاً عدد أيام التوقفات الاضطرارية للعمليات الإنتاجية، أو عدد الإصابات في السنة، أو نسبة الإنتاج الفعلي إلى الطاقة التصميمية، أو معدل استهلاك الطاقة لكل برميل نפט مكرر....
- أين نحن الآن؟
- ما هو هدفنا المستقبلي؟

## 3-4-4: نشر الثقافة الرقمية بين العاملين

تعتبر ثقافة الشركة إحدى أكبر التحديات التي تواجه عملية التحول الرقمي، فعلى سبيل المثال، يسود اعتقاد خاطئ لدى العديد من إدارات شركات التكرير والبتروكيماويات هو أن مشروع التحول الرقمي يرتبط فقط بتطوير منظومة أجهزة التحكم أو تكنولوجيا عمليات التصنيع المطبقة في الشركة، بينما يغفل الكثيرون عن دور قدرة الشركة على التعامل مع هذه التغيرات.

تعتمد قدرة الشركة على التعامل مع التغيرات الحديثة على ثقافة الشركة وقيام الإدارة بالتواصل مع كافة العاملين في الشركة لتقصي طريقة تفكيرهم، وشرح أهمية تطبيق مشروع التحول الرقمي، والفوائد التي يمكن أن يقدمها للشركة ولهم شخصياً. حيث إنه من الطبيعي أن يعارض العاملون أي محاولة للتغيير في النظام إلا إذا أكدوا أن التغيير سينعكس بالفائدة عليهم. (LOMAS, 2019)

فعلى سبيل المثال، أظهرت نتائج تطبيق برنامج التحول الرقمي في مصفاة هينريك في Henrique في مدينة "سامباولو" البرازيلية، طاقتها التكريرية 252 ألف ب/ي، أهمية تعزيز دور العاملين في نجاح المشروع الذي يهدف إلى تعظيم الاستفادة من بيانات التشغيل في تحسين الأداء التشغيلي، وذلك من خلال تنفيذ الإجراءات التالية: (Silva & Laidens, 2020)

- أثناء تنفيذ برنامج التحول الرقمي أدركت إدارة المصفاة أن تعزيز التفاعل بين الإدارات وتسريع تدفق المعلومات والبيانات التي تساهم في اتخاذ قرارات صحيحة لا يمكن أن يتحقق باستخدام التكنولوجيات الرقمية دون الاهتمام بالكادر البشري الذي سيتولى تنفيذ المشروع. ولتحقيق هذه الغاية قامت إدارة الشركة بتشكيل مجموعات عمل لشرح أهمية برنامج التحول الرقمي بالنسبة للمصفاة بشكل عام والفائدة التي يمكن أن تنعكس عليهم بشكل خاص، ودور كل فرد منهم في تحقيق هذه الأهداف.
- القيام بحملات توعية لتحفيز مدراء الأقسام والعاملين في المصفاة وإقناعهم بأهمية تنفيذ برنامج التحول الرقمي من خلال توضيح النتائج التي ستتحقق من تنفيذ البرنامج في حل المشكلات القائمة التي تواجه سير العملية الإنتاجية، مع التركيز على المشكلات التي يتعاملون معها بشكل متكرر.
- توحيد البيانات الواردة من فرق العمل المشتركة، وجمعها في لوحة عرض واحدة تظهر للجميع مدى تفاعل فرق العمل المختلفة مع البيانات، وبالتالي تعزيز القناعة لدى الجميع بحقيقة الفوائد التي ستتحقق من تنفيذ البرنامج في كل مجال من مجالات نشاط المصفاة.
- التدرج في تنفيذ المشروع والبدء بإجراءات بسيطة، ثم الانتقال تدريجياً إلى الإجراءات الأكثر تعقيداً لإعطاء انطباع بأن العملية تسير بسهولة، وبالتالي تشجيع العاملين على المشاركة في تنفيذ البرنامج.

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

- إعداد خطط بديلة في حال عدم نجاح الخطط الأساسية لإجراءات تنفيذ البرنامج، وبالتالي إعطاء مرونة في تغيير الخطط حسب ما تتطلبه التطورات والأحداث غير المتوقعة.
- تمثيل إدارة تكنولوجيا المعلومات في فريق تنفيذ برنامج التحول الرقمي بهدف الاستفادة من خبراتهم في مجال تجميع وإدارة البيانات.
- إبراز اهتمام الإدارة العليا للمصفاة ببرنامج التحول الرقمي، وإدراج المشروع ضمن الاجتماعات الدورية، بهدف إعطاء انطباع لدى العاملين بأهمية المشروع.

## 3-4-5: البحث عن المبررات المالية

قد تبدو التكاليف الأولية لتأسيس عملية التحول الرقمي باهظة، لكنها ضرورية ومبررة عندما تدرك إدارة المصفاة مدى الفائدة التي يمكن الحصول عليها بعد إنجاز العملية ووضعها موضع التشغيل. ولذلك فمن الأهمية بمكان تحديد الجدوى الاقتصادية للمشروع ومبررات تخصيص التكاليف المتوقعة للتنفيذ في مرحلة التخطيط.

## 3-4-6: تأمين الكوادر المختصة بتكنولوجيا المعلومات

إن نقص الكوادر الفنية الماهرة والقادرة على التعامل مع تكنولوجيا المعلومات يعتبر من التحديات الكبيرة التي تعيق نجاح تطبيق مشروع التحول الرقمي. وحيث أن معظم إجراءات تنفيذ المشروع ستتم بمشاركة خبراء تكنولوجيا المعلومات فإن أي نقص في هذه الكوادر سيؤدي إلى إعاقة تنفيذ المشروع.

ولضمان عدم الوقوع في مشكلة نقص الكوادر المختصة اللازمة لتنفيذ مشروع التحول الرقمي يجب

اتخاذ الإجراءات التالية: (LOMAS, 2019)

- تقييم حجم الأعمال المطلوب تنفيذها من قبل فريق تكنولوجيا المعلومات العامل في الشركة، من خلال مراجعة المهام الموكلة لكل عضو من أعضاء الفريق، وبحث إمكانية أتمتة بعض المهام ما أمكن ذلك، وبحث إمكانية إسناد بعضها إلى أفراد آخرين، حسب الخبرات والمهارات المتاحة، بهدف اختصار الوقت والجهد الذي يبذلونه في تنفيذ المهام الموكلة لهم.

- تحديد النقص في الكوادر اللازمة لتنفيذ مشروع التحول الرقمي وإعداد خطة للتعاقد مع كوادر جديدة بالتعاون مع إدارة الموارد البشرية.
- إعداد خطة للتدريب وتأهيل العاملين وتزويدهم بالمهارات والخبرات الجديدة.

### 3-4-7: تخصيص الميزانية المالية الكافية

تعتبر عملية إعداد الميزانية المالية لتنفيذ مشروع التحول الرقمي من المهام الصعبة بالنسبة لمعظم مدراء الشركات، نظراً للحاجة إلى استثمار مبالغ مالية ضخمة للحصول على التكنولوجيا المناسبة وتأمين فريق العمل الذي يمتلك الخبرة الرقمية الكافية للتنفيذ. وقد يؤدي ذلك في البداية إلى انخفاض أرباح الشركة، ولكن على المدى الطويل، سيصبح هذا الاستثمار أحد الأسباب الرئيسية لنجاح العمل وتحسين الربحية. كما يؤثر عدم وضوح الميزانية على عملية صنع القرار، وقد يدفع المدراء على التراجع عن تنفيذ المشروع عندما يتعلق الأمر بتمويل التحول الرقمي.

وللتغلب على هذه المشكلة يجب وضع إستراتيجية دقيقة لإعداد الميزانية المالية لمشروع التحول الرقمي لتفادي مشكلة نقص التمويل أو خسارة المشروع. كما يجب الحرص على اتباع نهج تعاوني أثناء التخطيط للميزانية من خلال إشراك الإدارات الأخرى أو ممثلها، واتباع نموذج ميزانية مرنة لمواجهة التغيرات الطارئة المحتملة.

### 3-4-8: استمرار تطوير الخطة الاستراتيجية

إن التطور السريع للتطبيقات الرقمية يتطلب مراجعة مستمرة للخطة الاستراتيجية وتعديلها بما يتوافق مع المستجدات والتطورات، علاوة على تقييم مدى التقدم في إنجاز الإجراءات، وتحديد مواطن القصور، واقتراح الحلول المناسبة لتفاديها في المراحل اللاحقة.

### 3-4-9: السبق في تطبيق التكنولوجيات الرقمية الحديثة

تعتبر عملية التحول الرقمي إحدى القضايا الاستراتيجية التي تهدف إلى تحسين الأداء من خلال تطبيق تكنولوجيات تتعلق بأنشطة القياس، وتخزين البيانات، وإجراء التحليلات والتصورات Visualization.



# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

وهي الأنشطة التي كانت متبعة في صناعة التكرير والبتروكيماويات منذ عدة عقود مضت، إلا أن التطورات الرقمية الحديثة ساهمت في تسهيل تنفيذ هذه الأنشطة، فعلى سبيل المثال، تم تطوير طرق نقل إشارة الأجهزة الرقمية الذكية السلكية واللاسلكية، بحيث لم تعد مقتصرة على نقل بيانات ظروف التشغيل الأساسية، بل أصبحت تنقل المتغيرات الثانوية والمعلومات الأخرى المتعلقة بتشخيص الأعطال ومعايرة أجهزة التحكم. (Harrison, 2020)

## 3-4-10: التحدي المستمر لمنظومة الأمن الإلكتروني

إن النجاح في عملية التحول الرقمي يحتاج إلى توجيه الاهتمام الكافي لإجراءات ضمان الأمن الإلكتروني، حيث أن بعض الشركات الكبرى قد وقعت ضحية لهجمات سيبرانية نتيجة تساهلها في تنفيذ إجراءات الحماية.

بعض مدراء الشركات يعتبرون الهجمات السيبرانية من التحديات التي تبرر عدم المضي قدماً في مشروع التحول الرقمي، بينما يعتبرها آخرون أحد العوامل والأسباب التي تثبت أهمية تسريع مبادرات التحول الرقمي، والعمل على إعطاء الأولوية لاتخاذ الإجراءات الوقائية، والاستفادة من المزايا التي يمكن الحصول عليها من التقنيات الرقمية الحديثة. (Garibi, 2020)

إن ضخامة حجم البيانات التي نتجت عن التحول الرقمي في الصناعة بشكل عام، وفي صناعة التكرير والبتروكيماويات بشكل خاص، نظراً لدمج تكنولوجيا المعلومات مع تكنولوجيا التشغيل، أدى إلى ظهور تحديات جديدة يأتي في مقدمتها مشكلة الهجمات الإلكترونية التي يمكن أن تخترق البيانات وتستخدمها بطرق غير قانونية. (Siemens, 2020)

تحظى قضية الأمن السيبراني اهتماماً كبيراً من قبل الحكومات لحماية المعلومات الثمينة من الاختراق أو السرقة، أو الاستخدام غير القانوني. ومع تطور التقنيات الرقمية وانتشار استخدامها تزداد خطورة الهجمات السيبرانية التي يقوم بها قراصنة لأسباب مالية أو استراتيجية.

إن الشركة التي تتعرض لهجمات إلكترونية تتحمل خسائر هائلة ناتجة عن إفساد البيانات وتخريب المنظومات وضياع سمعة وهيبة الشركة وثقة الزبائن بها إلى الحد الذي يمكن أن يؤدي إلى إفلاسها. وهذا

ما دفع العديد من الشركات العامة والخاصة في العالم إلى إنفاق ملايين الدولارات خلال السنوات القليلة الماضية لتقوية دفاعاتها السيبرانية لحماية منظوماتها الرقمية من الاختراق، وخصوصاً المنظومات التي تعتمد على شبكة الإنترنت، وذلك من خلال ضمان الخصائص الأساسية التي يجب أن تحققها منظومة الأمن السيبراني للبيانات، وهي السرية، والحصانة، والجاهزية، والأصالة، وعدم التنصل، والخصوصية.

(Ustundag & Cevikcan, 2018)

- **السرية: Confidentiality** وهي القدرة على إخفاء المعلومات وحمايتها من الأشخاص غير المخولين بالاطلاع عليها.
  - **الحصانة: Integrity** وتعني أن البيانات محصنة من أخطار الولوج إليها وتعديلها من قبل الأشخاص غير المخولين بذلك.
  - **الجاهزية: Availability** وهي إمكانية الدخول إلى البيانات من أي مكان أو زمان يحتاج إليها المستخدم.
  - **الأصالة: Authenticity** وهي خاصية عدم السماح لأي شخص أو هيئة أن تقوم بإجراء أية عمليات على الشبكة دون الحصول على إذن.
  - **عدم التنصل: Nonrepudiation** يجب أن تتميز خدمات الإنترنت بعدم التنصل من مسؤولية أي خطأ يقع على الزبون.
  - **الخصوصية: Privacy** وهي حق الأشخاص والكيانات بمعرفة وتحديد الأشخاص أو الكيانات تتم مشاركة بياناتها معها.
- وللوقاية من أخطار التعرض للهجمات السيبرانية يمكن للشركة أن تتخذ بعض الإجراءات الاحترازية،

من أهمها: (Ervural, 2020)

- استخدام جدار ناري لتفادي السماح بالاتصال المباشر مع آلات شبكة التحكم سواء الشبكات الداخلية أو الإنترنت، حيث يمكن أن يجد قرصنة الهجمات الإلكترونية ثغرة للدخول إلى نظم التحكم بالتوصيلات الصناعية، والقيام بعمليات إتلاف للمعدات والأجهزة. ولهذا يجب إزالة أي

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

قنوات اتصال بين المركز وبين الأجهزة في منظومة التحكم أو الأجهزة الأخرى في الشبكة لتخفيض فرص الدخول إلى المنظومة.

- استخدام برمجيات الجدار الناري أو جهاز يقوم بفلتره الإشارات العابرة من وإلى الأجزاء المختلفة للشبكات الداخلية، أو ما بين الشبكات الداخلية والإنترنت.
- العمل على خفض عدد التفرعات في الشبكات الداخلية ما أمكن ذلك، وتطبيق بروتوكولات حماية لكافة التفرعات.
- مراقبة حركة عبور الاتصالات للكشف عن أية إشارات غير عادية يمكن أن تؤدي إلى معرفة مصدر الاختراق وتفادي انعكاساته.
- استخدام نظام منح الموافقة على الدخول إلى الشبكات للتأكد من سلامتها قبل الموافقة على إدخالها.
- تطبيق كلمة مرور قوية، وعدم استخدام البيانات الشخصية كتاريخ الميلاد أو رقم الهاتف الشخصي، والحرص على تغيير كلمة المرور باستمرار لإفشال محاولات القرصنة من الدخول إلى الشبكة من خلال البرامج التي تعتمد على اختبار ملايين المحاولات، فكلما قصرت الفترة الزمنية الفاصلة بين تغيير كلمة المرور تنخفض فرص نجاح القرصنة في استخدام تلك البرامج.
- تدريب العاملين حول طرق الوقاية من الاختراق الإلكتروني، إجراءات تعزيز أمن الشبكات من الهجمات الإلكترونية، وخصوصاً بالنسبة للأجهزة المحمولة كالهاتف النقال والكومبيوتر المحمول التي يمكن سرقتها بسهولة.

## 3-5: مستقبل التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيماويات

تصنف صناعة تكرير النفط بأنها إحدى أكثر الصناعات تطوراً من حيث استخدامها للتطبيقات الرقمية مقارنة بالصناعات الأخرى، حيث أن أتمتة عمليات التكرير في مصافي النفط بدأت منذ زمن بعيد. واليوم مع تركيز العالم على إنترنت الأشياء IOT يتوقع ان تدخل صناعة التكرير والبتروكيماويات عصرًا جديدًا من الابتكارات الرقمية.

أظهرت نتائج استبيان نظمته مؤسسة أكسينتشر Accenture الأمريكية في عام 2018 أن نسبة مصافي تكرير النفط التي صنفت نفسها على أنها قد وصلت إلى مرحلة النضج، أو أنها اقتربت من مرحلة النضج في تطبيق التكنولوجيا الرقمية ارتفعت إلى 48% مقارنة بنسبة 44% في عام 2017. كما أشار الاستبيان إلى أن المصافي لا تزال تستثمر في التكنولوجيات الأخرى مثل النظم المتقدمة لأجهزة التحكم بالعمليات، ونظم التحليلات، والإنترنت الصناعي للأشياء، وأدوات الأمن السيبراني، بينما لا يزال الاستثمار في مجال الذكاء الاصطناعي، واستخدام الروبوتات في عمليات التحكم الذاتي عن بعد لا يزال ضعيفاً. (Lorenz, Pfeiffer, Leingang, & Oppelt, 2020)

تعتبر عملية التحول الرقمي في صناعة التكرير رحلة نحو تطبيق العمليات الذاتية التحكم Autonomous processes. فالتكنولوجيات الحديثة مثل الروبوتات، والذكاء الاصطناعي، والواقع المعزز augmented reality كلها تساهم في تطوير عمليات الأتمتة، والعمليات التي تتم عن بعد، أو بدون تدخل الإنسان. فإبعاد الإنسان عن العمليات الخطرة يتطلب أتمتة كل من عمليات التشغيل والصيانة وإدارة الحوادث الطارئة. (Siemens, 2020)

تعرف العمليات الذاتية التحكم Autonomous بأنها منظومة تتكون من معدات وعمليات يمكن برمجتها لتمتلك قدرات تعلم وتكيف شبيهة بالإنسان، تسمح لها بالقيام بأعمال ومهام في مواقف لم تكن مبرمجة مسبقاً أو متوقعة في التصميم، ويمكن لهذه المنظومة القيام بجميع وظائف الوقاية من الأخطار دون تدخل المشغل. يتطلب تطوير العمليات الذاتية التحكم في مستقبل إنشاء بنية تحتية رقمية تغطي العملية بأكملها، وتؤمن دمج وتكامل البيانات والأجهزة الذكية والبرمجيات بالشكل الذي يحقق المستوى المطلوب من الكفاءة والمرونة والقدرة على التكيف. (Agnihotri, 2018)

كما تناول التطور أيضاً مجال التحليلات Analytics فقد كانت عملية تحليل البيانات تحتاج إلى إجراءات طويلة وعمليات يدوية يقوم بها خبراء تشغيل الوحدات الإنتاجية باستخدام أدوات غير فعالة كالسجلات الورقية. أما اليوم فقد توفرت تطبيقات تعتمد على برمجيات مصممة بشكل خاص لتقييم أداء المعدات وأجهزة العمليات الإنتاجية، يمكنها القيام بإجراء التحليلات بشكل آلي، مثل تقييم كفاءة المبادلات الحرارية والمضخات والضواغط، وحتى إمكانية تقييم كفاءة استخدام الطاقة على مستوى كافة وحدات

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

المصفاة، حيث أصبحت متاحة بشكل سهل ومن أي مكان في العالم من خلال أي جهاز يمكن الولوج فيه إلى متصفح الإنترنت، مثل أجهزة الهاتف النقال الذكي، والكومبيوترات اللوحية بعد أن كانت محصورة في غرفة التحكم. (Agnihotri, 2018)

كما يتوقع حدوث تطورات كبيرة في مجال تخفيض تكاليف تخزين البيانات نتيجة التقدم التكنولوجي في تطبيقات الحوسبة السحابية Cloud Computing.

تعمل كل هذه التطورات وغيرها على توسيع نطاق التحول الرقمي من أتمتة وتحسين عمليات الإنتاج الأساسية إلى تحقيق التميز التشغيلي، ورفع مستوى السلامة المهنية وجاهزية المعدات والوحدات الإنتاجية.

## 3-6: تطورات التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيماويات في الدول العربية

تصنف صناعة التكرير والبتروكيماويات في المنطقة العربية بأنها كانت بطيئة في التحول الرقمي مقارنة بشركات النفط العالمية، على الرغم من بعض الاستثناءات في بعض الدول التي تقوم بإنشاء مصاف جديدة، والتي تمتلك مجمعات تكرير مخصصة لتصدير المنتجات البترولية إلى الأسواق الخارجية. كما شهدت صناعة التكرير والبتروكيماويات في بعض الدول العربية عدداً من المبادرات نحو تطبيق التقنيات الرقمية في مجالات محدودة، كالمراقبة عن بعد، واستخدام الروبوتات والذكاء الاصطناعي، وعمليات الصيانة الدورية، والتخطيط والبرمجة، وتنظيم الدورات التدريبية الافتراضية، وذلك بهدف تحسين كفاءة العمليات الإنتاجية، وخفض الانبعاثات الملوثة للبيئة، وتحسين مستوى الالتزام بمتطلبات الصحة والسلامة المهنية، وعمليات صيانة المعدات المهمة. (GDA, 2019)

ومن هذه الشركات ما حقق تقدماً كبيراً في هذه المجال، نظراً لامتلاكها إدارات للبحث والتطوير والابتكار، مدفوعة بعوامل تحسين قدرتها على مواجهة التحديات الناتجة عن تنامي شدة المنافسة في الأسواق العالمية. وتتركز هذه الشركات في الدول الأعضاء في أوابك التي تعتمد على تصدير المنتجات النفطية إلى الأسواق الخارجية، مثل دولة الإمارات العربية المتحدة، ومملكة البحرين، ودولة قطر، والمملكة العربية السعودية، ودولة الكويت، وسلطنة عمان.



### 3-6-1: تجربة التحول الرقمي في شركة بترول أبو ظبي الوطنية "أدنوك"

نفذت شركة أبو ظبي الوطنية مشروع مركز بانوراما القيادة الرقمية Panorama Digital Command Center الذي يهدف إلى الحصول على رؤى شاملة حول سير العمليات الإنتاجية في الزمن الحقيقي، وفرص تحسين أداء العمليات الإنتاجية، وذلك من خلال تطبيق نموذج تخطيط الإنتاج المتكامل Integrated Production Planning الذي يدمج 14 وحدة تابعة للشركة تعمل في مجال النفط والغاز، بما في ذلك وحدات معالجة الغاز الطبيعي ومصافي تكرير النفط وصناعة البتروكيماويات. (Aveva, 2020)

من أهم الفوائد التي حصلت عليه الشركة نتيجة تنفيذ المشروع إعطاء المشغلين الثقة والقدرة على اتخاذ القرارات الخاصة بتعظيم الأداء التشغيلي، من خلال توفير إمكانية مراقبة مؤشرات الأداء الرئيسية عبر 120 لوحة عرض تظهر حوالي 200000 نقطة بيانات، بالإضافة إلى إجراء عمليات تحليل البيانات التنبؤية، والتخطيط والجدولة Planning and Scheduling، والحصول على إرشادات للمشغلين حول فرص ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها. ومن المتوقع أن يصل العائد من عملية تشغيل نموذج واحد إلى حوالي 60 - 100 مليون دولار أمريكي. (Martins, 2020)

### 3-6-2: تجربة التحول الرقمي في الهيئة الوطنية للنفط والغاز - مملكة البحرين

تولي الهيئة الوطنية للنفط والغاز اهتماما بالغا في تعزيز دور التحول الرقمي في قطاع النفط والغاز بمملكة البحرين، وذلك عبر استخدام البيانات الضخمة، والذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء الصناعي، وغيرها من التقنيات الحديثة التي سوف تحدث نقلة واسعة في العمليات الخاصة بالشركات النفطية المنضوية تحت إشراف الهيئة. فعلى سبيل المثال قامت شركة تطوير للبترول<sup>1</sup> بإنشاء أول منصة للبيانات الضخمة باستخدام الحوسبة السحابية من خلال جمع البيانات الخاصة بجميع المنصات المتعلقة بإنترنت الأشياء، وذلك لاستخدامه في عملية تعليم الآلة Machine Learning في مجال إصدار التقارير التنبؤية

<sup>1</sup> تعتبر شركة تطوير للبترول بمثابة ذراع الاستثمار والتطوير للهيئة الوطنية للنفط والغاز، وتساهم بدور أساسي في الإشراف على استثمارات الحكومة في الشركات التابعة لقطاع الطاقة.

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

بوجود الأعطال والقيام ببرمجة أعمال الصيانة قبل حدوث أي مشكلة، إضافة إلى مشروع الكشف عن وجود المستحلبات في النفط الخام بتطبيق تقنية الذكاء الاصطناعي.

## 3-6-3: تجربة التحول الرقمي في مجمع تكرير وبتروكيماويات توتال وأرامكو السعودية

### SATORP- المملكة العربية السعودية

يصنف مجمع تكرير وبتروكيماويات توتال وأرامكو السعودية "ساتورب"<sup>1</sup> بأنه أحد المجمعات التابعة لشركة أرامكو السعودية والذي يتمتع بتطبيق أعلى مستويات التكنولوجيا في مجال عمليات التكرير والتحكم بظروف التشغيل، واستخدام التقنيات الرقمية لتحقيق التميز التشغيلي.

بدأ تشغيل المجمع عام 2014 ويحتوي على مصفاة لتكرير النفط الثقيل المنتج في المملكة بطاقة تكريرية قدرها 440 ألف ب/ي، متكاملة مع وحدات لإنتاج ببتروكيماويات عالية الجودة، وهو شركة مشتركة بين أرامكو السعودية وشركة توتال الفرنسية.

من التقنيات الرقمية المطبقة لتحسين الأداء التشغيلي وخفض تكاليف التشغيل وتعظيم استرداد رأس المال في مجمع تكرير وبتروكيماويات توتال وأرامكو السعودية "ساتورب" برامج متابعة سلامة عمل الأصول، وتحسين إجراءات الصيانة الوقائية والتنبؤية والتصحيحية للوحدات الأساسية كوحدات تقطير النفط الخام، والتكسير الهيدروجيني واسترجاع الكبريت، ووحدة إنتاج العطريات، ووحدة التكسير بالعامل الحفاز، وخزانات النفط والمنتجات النفطية، والوحدات المساندة الأخرى، علاوة على استخدام تقنية الروبوتات في تنفيذ عمليات صيانة المعدات في الأماكن الخطرة. (Mostyn, 2019)

تجدر الإشارة إلى أن شركة أرامكو السعودية حققت تقدماً ملحوظاً في مجال تطبيق التقنيات الرقمية من خلال مركز الثورة الصناعية الرابعة التابع لها والذي يقدم فرصاً متميزة لتدريب الكوادر على تطوير تقنيات الذكاء الاصطناعي، وتعليم الآلة، والواقع المعزز، والواقع الافتراضي، والروبوتات والطائرات المسيرة، والتي توفر الحلول التقنية عبر مختلف مراحل سلسلة القيمة في صناعة النفط والغاز. كما يقوم

<sup>1</sup> Saudi Aramco Total Refining and Petrochemical Complex

المركز بتطوير فرص تطبيق تقنية البيانات الضخمة، والتحليلات المتقدمة لاستخدامها في البحث عن الحلول الابتكارية، وتوقعات أداء الأصول في المنشآت الصناعية التابعة لشركة أرامكو. فضلاً عن مراقبة المشاريع وإدارة المخزون، وغيرها الكثير من أجل الحد من التكاليف، وتعزيز الكفاءة، وتحسين الالتزام بمتطلبات الصحة والسلامة والبيئة .

### 3-6-4: تجربة التحول الرقمي في دولة قطر

في إطار خطتها لتنفيذ برنامج التحول الرقمي وبناء اقتصاد قائم على المعرفة، وتعزيز ثقافة الابتكار، وتشجيع المشتركة مع الشركات العالمية، وتحسين الاستفادة من الموارد الطبيعية، وقعت حكومة دولة قطر في عام 2019 عقد شراكة استراتيجية مع شركتي مايكروسوفت و Google لإنشاء مراكز بيانات سحابية إقليمية تمكنها من تقديم خدماتها السحابية. سيساهم المشروع في ترسيخ مكانة دولة قطر كمركز رقمي، وتمكين الشركات والمؤسسات والأفراد من الوصول إلى الخدمات السحابية، وتسهيل تنفيذها لمشاريع التحول الرقمي، فضلاً عن تعظيم الاستفادة من الموارد الطبيعية، وبشكل خاص موارد النفط والغاز، وتحسين أداء شركات قطاع الطاقة. (Gulf Time, 2021)

### 3-6-5: تجربة التحول الرقمي في مشروع الوقود النظيف - دولة الكويت

تشهد دولة الكويت توجهاً ملحوظاً نحو تطبيق تقنيات التحول الرقمي في صناعة التكرير والبتروكيماويات في إطار مشروع الوقود النظيف المكون من تطوير مصفاة "ميناء الأحمدية" و "ميناء عبد الله" القائمتين، لتمكينهما من إنتاج مشتقات بمواصفات متوافقة مع أحدث المعايير العالمية، وإنشاء مصفاة "الزور" الجديدة بطاقة تكريرية قدرها 615 ألف ب/ي، وإغلاق مصفاة "ميناء الشعبية" طاقتها التكريرية 200 ألف ب/ي، حيث ستطبق في مشروع التطوير أحدث التقنيات الرقمية التي تركز على تعزيز إجراءات الصحة والسلامة المهنية وحماية البيئة، وإعطاء تنبيهات في حال حدوث تغير في ظروف حتى يتمكن المشغل من اتخاذ الإجراءات التصحيحية في الوقت المناسب.

ومن الأمثلة الأخرى على تطبيق التقنيات الرقمية في دولة الكويت محطة تحميل وتفريغ الغاز الطبيعي الجديدة التي تتميز بدرجة عالية من تقنيات التحكم بظروف التشغيل والمحافظة على إجراءات

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

السلامة، من خلال مستشعرات ترسل تنبيهات إلى المشغل عبر لوحة المراقبة في حال وجود أي تغيرات غير عادية تستوجب تدخل المشغلين. (البعيجان، راشد، والمزيدي، 2021)

## 3-6-6: تجربة التحول الرقمي في مشروع الدقم المتكامل للطاقة والمياه - سلطنة عمان

وقعت سلطنة عمان عقداً طويل الأمد مع شركة سيمنز Siemens الألمانية في عام 2019، بقيمة 229 مليون دولار أمريكي. تتعهد الشركة بموجب العقد تزويد مشروع الدقم المتكامل للطاقة والمياه لمدة 25 سنة بالحلول الرقمية لضمان استقرار إمدادات الطاقة الكهربائية المتولدة من المشروع، وتأمين سلامة عمل معدات محطة توليد الطاقة الكهربائية بالدورة المشتركة Combined Cycle Power Plant التي تتكون من خمس توربينات غازية، وخمس توربينات بخارية، ومنظومة تحكم لتزويد مصافي التكرير ووحدات إنتاج البتروكيماويات بالطاقة الكهربائية والمياه في المنطقة الصناعية. كما يتضمن العقد تقديم حلول الأمن السيبراني لحماية الوحدة من الهجمات الإلكترونية، وضمان جاهزية الأصول، وفي نفس الوقت خفض تكاليف التشغيل والصيانة. (Duqm Magazine, 2019) يبين الشكل 3-3 مشروع الدقم المتكامل للطاقة والمياه في سلطنة عمان.

### الشكل 3-3: مشروع الدقم المتكامل للطاقة والمياه-سلطنة عمان



المصدر: (Duqm Magazine, 2019)

## الاستنتاجات والتوصيات

تشهد صناعة التكرير والبتروكيماويات إقبالاً ملحوظاً على تطبيق تكنولوجيا التحول الرقمي نظراً لما لهذه التكنولوجيا من تأثير على تحسين مستوى الأداء والإنتاجية، فيما إذا نفذت بالطريقة الصحيحة، وذلك من خلال دورها في زيادة عدد أيام التشغيل الفعلية، وتحسين مستوى السلامة المهنية، وتفاذي وقوع الحوادث الطارئة، علاوة خفض الانبعاثات الملوثة للبيئة، وتعزيز إجراءات ترشيد استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدامها. وفيما يلي أهم الاستنتاجات والتوصيات التي توصلت إليها الدراسة.

- لم تعد النظرة إلى التحول الرقمي على أنه محاولة للتجربة واكتشاف الفوائد، بل أصبح ضرورة حتمية لبقاء الشركات في بيئة أعمال يغلب عليها المنافسة الشديدة.
- ستساهم تكنولوجيا التحول الرقمي في التمييز بين الشركات بمقدار نجاحها وسرعة تطبيقها لهذه التكنولوجيا، وفيما يلي أهم الفوائد التي يمكن الحصول عليها من تطبيق التكنولوجيات الرقمية في صناعة التكرير والبتروكيماويات النفط.
  - تحسين الربحية من خلال تطبيق أنظمة التحسين في الزمن الفعلي التي تدمج نظم التحكم بالعمليات الإنتاجية بعملية تخطيط الإنتاج.
  - تحسين كفاءة عمليات الإنتاج من خلال تطبيق الذكاء الاصطناعي في نظم التحكم التقليدية.
  - تحسين موثوقية المعدات والوحدات الإنتاجية وبالتالي خفض فرص حدوث الأعطال، بفضل تطبيق حلول الصيانة التنبؤية التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي وتقنية تعليم الآلة.
  - تبسيط إجراءات ومعاملات تأمين التوريدات، والتخلص من الوسطاء وتسريع الحصول على المواد واللحائم وبتكاليف أدنى.
- تصنف تقنية التحليلات التنبؤية Predictive Analysis في مقدمة المجالات الهامة في صناعة التكرير والبتروكيماويات، وهي طريقة للتنبؤ بوقوع العطل في المعدات قبل حدوثه.
- تعتمد عملية التنبؤ بحدوث الأعطال على تحليل البيانات التاريخية، ليس فقط من موقع واحد، ولكن من مواقع متعددة، لهذا يتعين على الحكومات وضع تشريعات يمكن من خلالها مشاركة البيانات بين مصافي تكرير النفط والوحدات البتروكيميائية القائمة في الدول الأعضاء في أوابك.



# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

- تساهم الحلول الرقمية في تحسين كفاءة عملية إدارة الطاقة من خلال تخفيض معدل استهلاك الطاقة في العمليات الإنتاجية يصل إلى حوالي 7-12% تبعاً لحجم المصفاة وطاقتها التكريرية، علاوة على تخفيض حوالي 2-5% من تكاليف شراء الطاقة نتيجة تحسين عمليات التعاقد والشراء.
- من الفوائد غير المباشرة لتطبيق التقنيات الرقمية في صناعة التكرير والبتروكيماويات، خفض الانبعاثات الملوثة للبيئة نتيجة الكشف المبكر عن بدء حدوث مشكلات التآكل في المعدات والأنابيب التي تحتوي على مواد خطرة، بحيث يمكن اتخاذ الإجراءات الوقائية قبل أن تؤدي إلى تسريب المواد الهيدروكربونية إلى البيئة.
- على الرغم من أهمية التكنولوجيا في عملية التحول الرقمي، إلا أنه لا يمكن الاعتماد عليها وحدها في إدارة أي مشروع يتضمن تطبيق تكنولوجيا المعلومات. فالاستثمار في التكنولوجيا وحدها أمر باهظ التكلفة، ولا يحقق النتائج المرجوة، إذا لم يترافق مع تحديد دقيق وواضح لأهداف المشروع أو العائد على الاستثمار ROI بحيث يتمكن المستثمر من تحديد الجدوى الاقتصادية من المشروع أو الحصول على التمويل اللازم.
- لضمان نجاح النتائج وتحقيق الأهداف المرجوة يجب أن تكون خطة تنفيذ مشروع التحول الرقمي على جداول الأعمال الإستراتيجية لشركات التكرير والبتروكيماويات.
- يحتاج التحول الرقمي، مثل أي تغيير مهم آخر، إلى رعاية واهتمام الإدارة العليا للشركات. وهذا يشمل وضع رؤية واضحة، وتخصيص التمويل والموارد اللازمة، والعمل على نشر الثقافة الرقمية، ودعم ثقافة الابتكار والرغبة في التغيير لدى العاملين في الشركة.
- تعزيز التعاون والتنسيق بين الدول الأعضاء في أوابك، من خلال عقد الاجتماعات التنسيقية والندوات لبحث فرص تطبيق التقنيات الرقمية، وتبادل الآراء والخبرات حول تنفيذ مشاريع مشتركة لتخفيض أعباء التكاليف الاستثمارية المرتفعة التي يمكن أن تتحملها كل مصفاة منفردة.
- إن الافتقار إلى المواهب والكوادر المؤهلة يعوق تطبيق المبادرات الجديدة، وعلى الشركات أن تدرك احتياجاتها من الخبرات والمهارات من خلال تقييم قدرات الموظفين الحالية، وبناء خطة استراتيجية لمعالجة أي نقص في الكوادر بما يتناسب مع المشاريع المستقبلية التي ستنفذها.

## المصطلحات والمختصرات

- **أتمتة:** Automation عمل جهاز أو عملية أو نظام بطريقة آلية، كما تعرف الأتمتة بأنها عملية تطبيق التكنولوجيا في المراقبة والتحكم بعمليات التصنيع والإنتاج وتوصيل المنتجات والخدمات إلى الزبائن.
- **أمن سيبراني:** Cyber security إجراءات حماية النظم والبيانات من الاختراق أ الاستخدام غير القانوني من قبل القرصنة.
- **إنترنت الأشياء:** Internet of Things (IoT) قابلية تجميع البيانات من المعدات والآلات.
- **إنترنت الأشياء الصناعي:** Industrial Internet of Things (IIoT) تقنية توفر إمكانية مراقبة العمليات أو أداء المعدات عن بعد، وبالتالي تمنح مهندسي الصيانة فرص أكثر لإجراء التحليلات اللازمة لتحديد المشكلات والتحكم بها قبل حدوثها.
- **تحليلات تنبؤية:** Predictive Analysis طريقة للتنبؤ بوقوع الأعطال في المعدات قبل حدوثها.
- **رقمنة:** Digitalization عملية الانتقال إلى الأعمال الرقمية، أو استخدام التكنولوجيا الرقمية لتحسين إجراءات العمل والحصول على فرص لتعظيم القيمة والربحية.
- **ترقيم:** Digitization، تحويل المواد، سواءً كانت مرئية أو مسموعة أو مقروءة، إلى صيغ رقمية صالحة للتداول على الأجهزة الرقمية والإنترنت، والتخزين على الوسائط الحديثة.
- **التحول الرقمي:** Digital Transformation هي عملية الاستفادة من التكنولوجيا الحديثة بصورة من شأنها تطوير الطريقة التي يتم بها إنجاز المهام، وتحسين الثقافة السائدة في بيئة العمل.
- **حوسبة سحابية:** Cloud Computing تقنية قائمة على الشبكة العنكبوتية، حيث يتم تقديم خدمات عالية الجودة للمستخدمين بما في ذلك البيانات والبرامج من خلال خوادم موجودة في أماكن بعيدة. ويمكن تشبيه الحوسبة السحابية بعملية الاستعانة بخدمات من مصادر خارجية.
- **ذكاء اصطناعي:** Artificial Intelligence تعليم أجهزة الحاسوب لتقوم بأعمال مماثلة لما يقوم به الإنسان كالترجمة الآلية، والتعرف على الكلام، واتخاذ القرارات.

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

- محاكاة: Simulation أداة لمراقبة أداء العمليات الإنتاجية في ظروف مختلفة للمصنع، باستخدام البيئة الافتراضية.
- الواقع المعزز (AR) Augmented Reality أداة تحليل الوضع الحالي للمعدات تعتمد على التصوير المرئي وبثه إلى خبراء تحليل الأعطال.
- الفضاء السحابي: Cloud System إمكانية الوصول إلى البيانات والتطبيقات عبر الإنترنت بدلاً من الأجهزة المحلية، من خلال ما تحتويه من خدمات وتقنيات تقدمها شركات عالمية مثل مايكروسوفت وغوغل وغيرها. (YUKOGAWA, 2020)
- تحليلات صناعية Industrial Analytics هي استخدام البيانات في نظم الإنترنت الصناعي للأشياء بهدف التنبؤ بالأعطال.
- التحليلات الصناعية ذاتية الخدمة Self-service Industrial Analytics هي برنامج مصمم لمساعدة خبراء العمليات على تحليل بيانات ظروف التشغيل، واكتساب رؤى واضحة حول عمليات التصنيع تمكنهم من اتخاذ القرارات المناسبة. كما توفر التحليلات الذاتية الخدمة إمكانية مشاركة التحليلات والدروس المستفادة منها مع مصانع مماثلة على المستوى المحلي والعالمي.
- تعليم الآلة Machine Learning هو تطبيق للذكاء الاصطناعي يمنح أجهزة الكمبيوتر القدرة على التعلم، لكي تقوم بتصرفات مماثلة لما يفعله البشر، مع تحسين تعلمهم بمرور الوقت بطريقة ذاتية، من خلال تزويد هذه الأجهزة بالبيانات والمعلومات على شكل ملاحظات وتفاعلات في الزمن الحقيقي. ويتم ذلك باستخدام الخوارزميات التي يمكنها تحليل البيانات، والتعلم منها، ثم اتخاذ قرار، أو التنبؤ بوقوع حدث ما.
- التكنولوجيا: Technology مجموع التقنيات والمهارات والأساليب والعمليات المستخدمة في إنتاج البضائع أو الخدمات أو في تحقيق الأهداف، يمكن أن تكون التكنولوجيا هي المعرفة بالتقنيات والعمليات وما شابه ذلك، أو يمكن تضمينها في الآلات للسماح بالتشغيل دون معرفة تفصيلية لأعمالها.
- التقنية: Technique تمثل جانباً من جوانب التكنولوجيا وهو الجانب التطبيقي. (ويكيبيديا)



- **التوأم الرقمي: Digital Twin**، نسخة افتراضية تستخدم لتمثيل الأشياء المادية، ووصف حالتها وسلوكها بشكل دقيق باستخدام البيانات التي ترسلها المستشعرات. كما يمكن أن يتنبأ التوأم الرقمي بالأحداث المستقبلية، أو الأعطال المحتملة لنظيره المادي قبل حدوثها.
- **روبوت صناعي Robotic** يعتمد على مبدأ الجمع بين المعالجات الدقيقة Microprocessors والذكاء الاصطناعي بهدف القيام بأعمال تماثل ما يقوم به الإنسان.

## Abstract

Refining and petrochemical industries are faced with various challenges, such as changing, market scenarios, global competition, increased regulatory pressure, decreased oil products demand, and increase in operating and maintenance cost.

To cope with these challenges, refining and petrochemical industry is trying to improve its performance through looking for available methods to minimise costs and ensure high competitiveness.

The purpose of this study is to shed light on the role of digital transformation in achieving the operational excellence in refining and petrochemical industry.

The study includes three chapters. The first chapter reviews the most important digital technologies applied in the refining and petrochemical industry, such as the industrial Internet of Things, Digital Twin, Augmented Reality, Cloud Computing, Machine Learning, Artificial Intelligence and Robotics.

The second chapter explains the role of applying the digital technologies in improving the performance business operations of refining and petrochemical industry. These include predictive analytics to forecast equipment and asset health and optimize maintenance of critical equipment and AI-based technology to increase the efficiency of operations and facilitate lower carbon footprint.

The third chapter addresses the success factors behind developing a digital transformation strategy and build bridges in several areas, which are related with information, data, processes, technologies, human aspects and much more. The third chapter also reviews the states of applying digital transformation. The chapter also



addresses there are several initiatives emerging in the refining and petrochemical industry related to digital transformation in the Arab countries, most of these initiatives are centered in OAPEC member countries which have export oriented refining and petrochemical complexes. The objectives of these initiatives are enhancing the operational excellence to continue their role as strategic suppliers to the international markets, through improving plant availability, and minimizing unscheduled shutdown of the units, optimizing maintenance of critical equipment, and reducing the carbon footprint.

The study includes several case studies of applying digital technologies in refining and petrochemical industry in some world regions, and Arab countries. These case studies provide lessons learned from the experiences of others in applying digital transformation in its operational aspects.

The study concluded that the digital transformation could bring a significant benefit to the refining and petrochemical companies. One of the most important factors that enable refining companies to improve its performance is embedding digital capabilities in all aspects of their operations. Furthermore, digital technologies could help refiners to reduce costs, improve revenues and margins and make their work environments more efficient, reliable, and safe.

Also, the study recommends that the OAPEC's member countries must issue the necessary regulations for sharing historical data between different refining and petrochemical companies to be used for predictive analysis which can forecast equipment and asset health and helps the operator to predict the failure of an equipment before it happens.

## المراجع

- Abbal, F. (2020, March 26). Schneider Electric Blog. (F. Abbal, Producer) Retrieved from <https://blog.se.com/author/frederic-abbal/>
- Agnihotri, R. (2018). Digitalization for the Refinery and Plant of the Future. Hydrocarbon Processing.
- Anand, V. (2021, May). What Condition Monitoring Sensors tell us? Processing, 30-32. Retrieved from [www.processingmagazine.com](http://www.processingmagazine.com)
- AVEVA. (2020). 4 Steps to Profitability in a Volatile Energy Market. AVEVA Webcast. Retrieved from [www.aveva.com](http://www.aveva.com)
- AVEVA. (2020). Creating a Reliable Digital Twin, The importance of Intelligent Data Management and Digital Continuity. AVEVA Group plc.
- BCG. (2020, June 20). Boston Consulting Group. Retrieved from [www.bcg.com](http://www.bcg.com) › energy › center-digital-oil-gas › refining
- Berutti, M. (2019, February). Understanding The Digital Twin. Chemical Engineering.
- Burke, Z. (2021, March). Digital: ROI is the Secret Sauce for Sustainable Digital Transformation. Hydrocarbon Processing.
- Carugo, M. (2020, December). Executive Viewpoint: How Digital Transformation Improves Safety and Reduces Emissions. Hydrocarbon Processing.
- Chappell, J. H. (2020). Artificial Intelligence: from Predictive to Prescriptive and Beyond. AVEVA.
- Chew, N. (2021). Man vs Machine: Operational Excellence in the Oil & Gas. Asian Downstream Insight.
- Cortes, R. (2021, May). The Growing Demand For Digital Twins. Retrieved from <https://www.hazardexonthenet.net/article/184852/Virtually-there-bringing-worksites-to-life-with-digital-twins.aspx>, Hazardex.
- Countryman, T. (2019). Digital Strategy: Smart Moves. Accenture Petroleum Review, 23.
- DAVIES, B. (2020, Jan 11). Refinery of the Future: The Next Level in Digital Transformation. Retrieved June 22, 2020, from CBT: <https://www.cbtechinc.com>
- Dodd, T. (2020, Q 4). Digitalisation for Improved Operations. PTQ, pp. 115-117. Retrieved from [www.digitalrefining.com](http://www.digitalrefining.com)



- Eichelberger, N. (2019, December). Digital: Better Maintenance Through Better Data. Hydrocarbon Processing.
- Emerson. (2019). Emerson Digital Twin: A Key Technology for Digital Transformation. Emerson. Retrieved from [www.emerson.com/mimic](http://www.emerson.com/mimic)
- Ervural, E. (2020). Overview of Cyber Security in the Industry 4.0 Era
- European Union. (2019). Process Model For The Digitalization Transformation of SMEs.
- Faggella, D. (2021). What is Machine Learning? Retrieved from EMERJ: <https://emerj.com/ai-glossary-terms/what-is-machine-learning/>
- Flair Data. (2021). Flair Data. Retrieved 2021, from Features of Cloud Computing – 10 Major Characteristics of Cloud Computing: <https://data-flair.training/blogs/features-of-cloud-computing/>
- Garibi, C. (2020). Cybersecurity visibility and resilience: Keys to protecting HSE/margins in operations. Hydrocarbon Processing .
- GDA. (2029). Digital Refinery Survey, Gulf Downstream Association.
- Gartner. (2014). Taming the Digital Dragon: The 2014 CIO Agenda. USA: Gartner. Retrieved from [www.gartner.com/cioagenda](http://www.gartner.com/cioagenda)
- GE. (2019). APM Integrity from GE Digital.
- General Electric. (2021). Setting the Foundation of a Sustainable Mechanical Integrity Program with Risk-Based Inspection.
- Geissbauer, R., Salamat, J., & Pandey, A. (2019). Digitizing Downstream Oil and Gas Operations A Framework for Capturing Value. Retrieved July 23, 2020, from [www.strategyand.pwc.com/me](http://www.strategyand.pwc.com/me).
- Golightly, R. (2020). Prescriptive Maintenance: Transforming Asset Performance Management. Aspen Technology. Retrieved from [www.AspenTech.com](http://www.AspenTech.com)
- Gulf Time (2021) Investment in Qatar Digital Landscape at all time High. Retrieved from <https://m.gulf-times.com/story/696797/Investments-in-Qatar-digital-landscape-at-all-time-high>
- Hague, J. (2019). Maximize Safety, Sustainability and Productivity by Turning Unplanned Downtime Into Planned Downtime. Aspen Technology Inc.
- Harrison, S. B. (2020, April). The Business Case for Digitalisation in the Refining Sector. Digital Refining.
- Innovaptive. (2019). Digital Transformation: Overused Buzzword or Solid Business Strategy? Houston, USA: Innovaptive.

# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

- Jenkins, s. (2020, December). AI and Position-Sensing Drive Robotics Expansion. Chemical Engineering, p. 11.
- Lau, C. (2021, February). Reduce OPEX and Improve Sustainability Through Digital Energy Optimization Strategies. Hydrocarbon Processing.
- LOMAS, A. (2019). 5 Biggest Challenges to a Successful Digital Transformation. Retrieved from Net Solutions: [https://www.netsolutions.com/insights/author/akash\\_lomas/](https://www.netsolutions.com/insights/author/akash_lomas/)
- Lorenz, O., Pfeiffer, B.-M., Leingang, C., & Oppelt, M. (2020, Q 1). Evolution of a Digital Twin: Part 1: the Concepts. pp. 31-38. Retrieved from [www.eptq.com](http://www.eptq.com)
- Lou, H., Lou, H. H., & Gai, H. H. (2020). How AI Can Better Serve the Chemical Process Industry. Hydrocarbon Processing.
- Malhotra, A. (2020, Q 4). IIoT in Energy Optimisation. PTQ, pp. 83-87. Retrieved from [www.digitalrefining.com](http://www.digitalrefining.com)
- Malik, M. I., Wani, S. H., & Rashid, A. (2018, March-April ). Cloud Computing Technologies. International Journal of Advanced Research in Computer Science. Retrieved from [www.ijarcs.info](http://www.ijarcs.info)
- Martins, F. (2020, July). What if your plant were truly Digital. Hydrocarbon Processing, pp. 30-37. Retrieved from <https://www.hydrocarbonprocessing.com/magazine/2020/july-2020/special-focus-the-digital-plant/what-if-your-plant-were-truly-digital?id=73202044# 1/7>
- Menachery, M. (2020, July). Digital Twins are the Key to Operational Excellence in Refineries. Refining & Petrochemicals.
- Mostyn, T. (2019). Three year extension of KBR's GMS Contract for SATORP. Hydrocarbon Engineering.
- Nair, V. (2018). Cognitive Inspection Analytics in Asset Performance Management. Inspectioneering Journal.
- Neelam, P., Natarajan, V., & Diwanji, V. (2018). Is Your Organization Ready to Embrace a Digital Twins? NJ, USA: Cognizant.
- OILX. (2020, Jan 13). How Refiners are Using Digital Technologies to Become More Profitable. Retrieved from The Digital Oil Refinery – From Processing Crude to Processing Data: <https://oilx.co>



- OPEC. (2020). World Oil Outlook. Vienna: Organization of Petroleum Exporting Countries.
- Pawlewitz, J., & Doyle, A. (2020, February 11). Managing Dark Data and Visualizing Your Digital Twin. Hydrocarbon Processing.
- Petroleum Economist. (2020). Sparking digital Transformation in Oil and Gas. Petroleum Economist. Retrieved from [www.petroleum-economist.com](http://www.petroleum-economist.com)
- Petrosyan, N. (2021). Going Beyond the Data :How Self-service Analytics Plays a Critical Role in Plant Communication, Hydrocarbon Processing, 32-35.
- Phukan, P. (2020, February). Implementation Strategy and Opportunities with Industry 4.0. Hydrocarbon Processing.
- Plowman, O. (2021, February). Digital: Optimize Plant. Hydrocarbon Processing.
- Posey, B. (2021). Industrial Internet of Things (IIoT). Retrieved from: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Industrial-Internet-of-Things-IIoT?vgnextfmt=print>
- Qing, W. & Zhang, D. (2018). Digital Transformation of Refining & Chemical Enterprises Under the Contemporary Situation from Digital to Smart. The International Journal of Engineering and Science, Volume 7, Issue 9, p40-46.
- Robert, R,. (2020). Digital: Why an Effective Master Data Strategy is Key to Digital Transformation in Oil and Gas. Hydrocarbon Processing
- ROGERS, D. L. (2016). The digital Transformation Playbook, Rethink your business for the digital age. Columbia, USA: Colombia Business School Publishing.
- Reuters. (2021). Creating A Connected Workforce Through The Digitalization Of Maintenance.
- Sá, J. d., Diego , G., Francesco , C., & Tiziano , R. (2019). How Refiners Can Capture the Benefits of the Energy Transition and Digitalization. Milan: Bain & Company.
- Sendler, U. (2016). The Internet of Things, Industry 4.0 Unleashed. Springer.
- Siemens. (2020). The Industrial IT, OT, and IoT Challenge. Siemens.
- Silva, d., Laidens, C., (2020). Brazilian Refinery Digital Transformation Focuses on People Over Process. Oil & Gas Journal. November, 2020



# دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات

- Simonovich, L., & Sudarsan, S. (2020). AI-driven Cyber Defense for Endpoint Energy Assets. Houston, USA: Siemens Energy Inc.
- Sudarsan, S., & Simonovich, L. (2020). The Siemens-Spark Cognition. Houston: Siemens Energy Inc.
- Tellez-Schmill, R., & Vicent, E. (2020, Q 4). Mitigating Corrosion with a Digital Twin. PTQ, pp. 39-45.
- Tupras. (2020, June 17). Tupras . Retrieved from <https://www.tupras.com.tr>
- Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). Industry 4: Managing The Digital Transformation. Istanbul: Springer International Publishing.
- Walker, G. (2020, Q 1). Value from Data. PTQ, pp. 107-109.
- Weinelt, B. (2017). Digital Transformation Initiative: Oil and Gas Industry. Geneva: World Economic Forum.
- Welsh, T. (2019). AI: How AI and Machine Learning Benefit Refineries and Petrochemical Plants. Hydrocarbon Processing.
- World Economic Forum. (2017). Digital Transformation Initiative, Oil and Gas Industry.
- YOKOGAWA. (2020). Digital Transformation in Process Industries, A Journey Towards Autonomous Operations. Japan.
- YUKOGAWA & REUTERS. (2021). Three Pillars of Asset Performance Management: People, Process & Technology. USA: REUTERS EVENTS.
- Zornio, P., & Boudreaux, M. (2019). Offshore Technology Conference. Houston, Texas: One Petro.
- أوابك. (2019). منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول. تاريخ الاسترداد 2021، من [www.oapecorg.org](http://www.oapecorg.org)
- عبد العزيز جمال البعيجان، عبد الله محمد راشد، و سلمان هشام المزيدي. (2021). مشروع الكويت للغاز المسال. حلقة نقاشية حول مشروع الكويت للغاز المسال . الكويت: البترولية المتكاملة ، مؤسسة البترول الكويتية.
- مكي, عماد. ناصيف. (2021). مشكلات التآكل في صناعة التكرير والبتروكيماويات. الكويت: منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول أوابك.





منظمة الأقطار العربية المصدرة للبتروول  
أوابك