

جامعة ميدأوشن



كلية الإدارة

ماجستير إدارة مخاطر

أثر إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة في شبكات الكهرباء الذكية على
الحد من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة دراسة ميدانية على الشركة
السعودية للكهرباء.

إعداد الطالب/

محمد محييد العتيبي

252000749

إشراف/

د. الفيصّل عبد الحميد محمد حسن

د.فايز جراد

العام الدراسي:

2026 – 1447

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1 المقدمة

تشهد شبكات الكهرباء الذكية تطورًا متسارعًا في ظل الاعتماد المتزايد على تقنيات الاتصال والتحكم الحديثة، مما يفرض تحديات تشغيلية معقدة تتطلب إدارة مخاطر فعالة ومتكاملة، وتأتي أهمية الدراسة الحالية في ظل ازدياد الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة، وتنامي الفاقد الفني وغير الفني في شبكات الكهرباء، ما يستدعي تطبيق آليات متقدمة لرصد وتقييم المخاطر التشغيلية والتحكم بها بشكل استباقي، لضمان الاستمرارية وتحقيق الكفاءة، وقد أظهرت دراسة (الفهداوي وشعبان، 2023) أن فاعلية آليات التدقيق الداخلي تمثل أحد العوامل الجوهرية في الحد من المخاطر التشغيلية، من خلال تطوير نظم المعلومات وضمان دقة البيانات وتنفيذ الصيانة الدورية للتقنيات. (الفهداوي وشعبان، 2023)

ومن جهة أخرى، أثبتت تقنيات المراقبة المستمرة لتدفقات الطاقة، وخاصة في بيئة الشبكات الذكية، دورًا محوريًا في تقليل الخسائر الفنية واكتشاف الأعطال. حيث أظهرت دراسة (Alymov & Averbukh, 2024) أن مراقبة الطاقة ساعدت في خفض إجمالي الاستهلاك بنسبة 6%، كما ساهمت في الحد من الأعطال الفنية وتقليل تدخل العنصر البشري في العمليات التشغيلية، وهو ما يدعم الحاجة إلى نماذج إدارة مخاطر متقدمة تدمج بين الذكاء الصناعي والتشغيل الآلي (Alymov & Averbukh, 2024).

والأهمية التحول نحو التحليل القائم على المخاطر باستخدام محاكاة الأعطال وتقييم تكلفة الطاقة غير الموردة، حيث أشارت إلى أن استخدام تقنيات مثل FLISR و DSM ضمن إطار تحليلي ذكي يساهم في رفع مرونة الشبكات وتقليل احتمالية الانقطاع، وهو توجه جوهري في بيئة الطاقة الحديثة التي تتطلب تدخلات ذكية استباقية (Kheirkhah et al., 2023).

و بينت دراسة (Shoqirat et al., 2025) أن الاعتماد على الأنظمة التقليدية في تحديد الأعطال يساهم في تأخير الاستجابة وتقليل كفاءة الشبكة، في حين أن تكامل أنظمة مثل Siemens Spectrum 7

و ADMS أدى إلى تحسين عمليات المراقبة الفورية وتقليل زمن الانقطاعات، مما يؤكد أهمية أنظمة إدارة المخاطر المتقدمة في تعزيز الأداء التشغيلي (Shoqirat et al., 2025).

وبناءً على ما سبق، تهدف الدراسة الحالية إلى تسليط الضوء على دور إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة في بيئة الشبكات الذكية بالشركة السعودية للكهرباء، وقياس مدى تأثيرها على خفض الفواقد الفنية وتعزيز الكفاءة التشغيلية، وذلك من خلال تحليل ميداني يستند إلى أحدث التطبيقات والممارسات في مجال الطاقة الذكية.

2.1 مشكلة الدراسة

تشهد شبكات الكهرباء الحديثة، خصوصاً تلك المرتبطة بأنظمة الطاقة المتجددة، تحديات تشغيلية متزايدة تتمثل في ارتفاع معدلات الفاقد الفني وغير الفني، وتكرار الانقطاعات، وتنامي مشكلات مراقبة الشبكة وتحليل البيانات التشغيلية، و في ظل هذه التحديات أصبحت الحاجة ملحة إلى أنظمة متقدمة لإدارة المخاطر التشغيلية، تكون قادرة على التنبؤ بالأعطال والتحكم في تداعياتها قبل حدوثها، بما ينعكس إيجاباً على كفاءة الأداء. وقد بينت دراسة (Alymov & Averbukh, 2024) أن مراقبة تدفقات الطاقة ساعدت في خفض الاستهلاك بنسبة 6% وتقليل التدخل البشري، مما يدل على أهمية حلول متقدمة في إدارة المخاطر لتقليل الفاقد الفني وتحقيق كفاءة تشغيلية.

ورغم وجود أنظمة تحكم ومراقبة في العديد من شبكات التوزيع، لا تزال نسبة كبيرة من المحطات غير مجهزة بأنظمة كشف الأعطال أو إرسال إشارات التوقف، مما يؤدي إلى تأخير الاستجابة للاختلالات التشغيلية. وقد أوضحت دراسة (Shoqirat et al., 2025) أن اعتماد شركة طاقة في مدينة العين على الشكاوى الواردة من العملاء لتحديد الأعطال في المحطات غير المراقبة تسبب في إضعاف كفاءة الشبكة، مما يوضح فجوة حقيقية في الاستجابة السريعة للمخاطر التشغيلية.

كما أن الاعتماد على أدوات تقليدية في إدارة الشبكة، وعدم استثمار الإمكانيات الذكية بشكل متكامل، يحد من قدرة المؤسسات على التنبؤ بالمخاطر وتفاذي الخسائر، في حين أظهرت دراسة

(Kheirkhah et al., 2023) أن تطبيق إطار تحليلي قائم على محاكاة الأعطال وتقييم تأثيرها يساعد في دعم القرارات الاستثمارية ويزيد من مرونة الشبكة، الأمر الذي يجعل من إدارة المخاطر عنصراً جوهرياً في استدامة الشبكة الذكية.

من جهة أخرى، لا تزال بعض المؤسسات تفتقر إلى التكامل بين أنظمة العدادات الذكية والخوارزميات التحليلية التي يمكن أن تُوظف في رصد الفواقد والتصرفات غير المشروعة في استهلاك الطاقة. وقد أوصت دراسة (Li et al., 2023) بدمج المنهج النمذجي والبياني لتحسين دقة تقييم الفاقد الكهربائي، مما يُبرز أهمية بناء أنظمة تحليلية تستند إلى مؤشرات ذكية وبيانات تشغيلية حقيقية تُمكن من اتخاذ قرارات استباقية فعالة.

استناداً إلى ما سبق، تتحدد مشكلة الدراسة في وجود قصور واضح في توظيف أدوات إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة في بعض شبكات الكهرباء الذكية، مما ينعكس سلباً على الكفاءة التشغيلية واستمرار الخسائر الفنية. وبناءً عليه، تُطرح الإشكالية التالية: ما أثر إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة على الحد من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية في شبكات الكهرباء الذكية؟

3.1 أهمية الدراسة:

تعتمد أهمية هذه الدراسة على إسهاماتها النظرية والتطبيقية فيما يلي:

أولاً: الأهمية العلمية:

- تساهم الدراسة في إثراء الأدبيات المتعلقة بإدارة المخاطر التشغيلية في شبكات الكهرباء الذكية، من خلال تقديم نموذج تطبيقي متكامل قائم على أدوات تحليلية متقدمة.
- تقدم إطاراً تحليلياً علمياً يمكن من خلاله فهم العلاقة بين تطبيقات إدارة المخاطر وتقليل الفاقد الفني وتحسين الكفاءة التشغيلية، وهو ما يمثل إضافة نوعية في مجالات الطاقة الذكية.

- تساعد على توسيع المفاهيم النظرية المرتبطة بإدارة المخاطر في البيئة التكنولوجية المعقدة، وخاصة في قطاع الطاقة، مما يعزز تكامل التخصصات بين الإدارة والهندسة والطاقة.
- تفتح آفاقاً بحثية مستقبلية من خلال اقتراح آليات قياس ومؤشرات أداء جديدة لإدارة المخاطر التشغيلية في بيئات شبكية تعتمد على الاتصال اللحظي والبيانات الذكية.
- تمثل الدراسة جسراً بين النظرية والتطبيق، حيث تجمع بين المنهج الوصفي التحليلي والنماذج التشغيلية الذكية، وهو ما يتيح للباحثين فرصة التوسع في الدراسات التجريبية والكمية ذات الصلة.

ثانيًا: الأهمية العملية:

- تساعد الدراسة في تحسين كفاءة تشغيل شبكات الكهرباء الذكية من خلال تقليل الفواقد الفنية وغير الفنية عبر آليات استباقية في إدارة الأعطال والمخاطر.
- تقدم حلولاً عملية قابلة للتطبيق في مؤسسات الطاقة، وخاصة في الشركات الكبرى مثل الشركة السعودية للكهرباء، بما يساهم في رفع موثوقية الخدمة الكهربائية وتحقيق الاستدامة.
- تمكن صانعي القرار في قطاع الطاقة من اتخاذ قرارات مبنية على تحليل دقيق للمخاطر، عبر أدوات ذكية ومحاكاة تعتمد على البيانات الفعلية، مما يحد من التكاليف التشغيلية ويحسن من كفاءة الاستجابة.
- تعزز قدرة الفرق الفنية والهندسية على توظيف تقنيات الشبكات الذكية والأنظمة المساعدة في اكتشاف الأعطال ومعالجتها بفعالية، وتقليل الاعتماد على التدخل البشري التقليدي.
- تساهم في تحسين تجربة المستفيد النهائي من الخدمة الكهربائية من خلال تقليل الانقطاعات وزيادة الاستقرار في الشبكة، وهو ما ينعكس إيجاباً على رضا العملاء وجودة الخدمة.

4.1 أهداف الدراسة:

هدفت هذه الدراسة التعرف على أثر إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة في شبكات الكهرباء الذكية على الحد من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية ، وتتفرع من هذا الهدف العام عدة أهداف فرعية، وهي:

- تحليل دور أدوات وأساليب رصد وتقييم المخاطر التشغيلية في تقليل الفاقد الفني في شبكات الكهرباء الذكية.
- التعرف على أثر تطبيق استراتيجيات الاستجابة للمخاطر على تحسين كفاءة الشبكة وتقليل الأعطال.
- دراسة العلاقة بين كفاءة نظم الصيانة الوقائية والمراقبة الذكية وتقليل الاعتماد على التدخلات اليدوية.
- تقييم مدى مساهمة التكامل بين تقنيات إدارة المخاطر والتكنولوجيا الذكية في دعم استدامة الشبكات الكهربائية.

5.1 تساؤلات الدراسة

السؤال الدراسة الرئيسي: ما أثر إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة في شبكات الكهرباء الذكية على الحد من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية؟ وتتفرع منه عدة أسئلة فرعية:

- ما مدى فعالية أدوات تقييم المخاطر التشغيلية في تقليل الفاقد الفني في الشركة السعودية للكهرباء؟
- كيف تسهم استراتيجيات الاستجابة للمخاطر في تحسين الأداء التشغيلي للشبكة في الشركة السعودية للكهرباء ؟
- إلى أي مدى تؤثر المراقبة الذكية والصيانة الاستباقية على تقليل الأعطال في الشركة السعودية للكهرباء ؟
- ما مدى مساهمة استخدام تقنيات الذكاء الصناعي في دعم استمرارية وكفاءة الشبكات الكهربائية الذكية في الشركة السعودية للكهرباء ؟

6.1 فروض الدراسة:

لتحقيق أهداف الدراسة والإجابة على تساؤلاتها يمكن صياغة الفرضيات التالية:

الفرضية الرئيسة: لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) لإدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة على الحد من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية في شبكات الكهرباء الذكية.

الفرضيات الفرعية:

- لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) لأدوات تقييم المخاطر التشغيلية على تقليل الفاقد الفني في الشبكة في الشركة السعودية للكهرباء.
- لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) لاستراتيجيات الاستجابة للمخاطر على تحسين كفاءة الشبكة الكهربائية في الشركة السعودية للكهرباء.
- لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتقنيات المراقبة الذكية والصيانة الوقائية على تقليل الأعطال التشغيلية في الشركة السعودية للكهرباء.
- لا يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى دلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتكامل تقنيات إدارة المخاطر والذكاء الاصطناعي على تحسين استدامة الشبكة الذكية في الشركة السعودية للكهرباء.

7.1 الدراسات السابقة:

➤ دراسة (Shoqirat et al., 2025)

هدفت الدراسة إلى التعرف على تأثير التحول من أساليب الكشف التقليدية للأعطال إلى الأساليب الذكية بأبعادها) نظام SCADA ، محطات الرصد RTUs ، نظام إدارة التوزيع المتقدم ADMS ، والتطبيقات الداعمة (على تحسين كفاءة كشف الأعطال وتقليل زمن الانقطاعات في شبكة توزيع الكهرباء التابعة لشركة طاقة – مدينة العين، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

أبرزت النتائج أن أكثر من 90% من المحطات تفتقر للقدرة على إرسال إشارات الأعطال أو الانفصال، مما يُجبر الشركة على الاعتماد على شكاوى العملاء عبر مركز الاتصال لتحديد مواقع الانقطاع، وهو ما يؤدي إلى تأخيرات كبيرة في الاستجابة وتأثر الأداء العام للشبكة.

وتوصلت الدراسة إلى أن دمج القدرات المتقدمة لنظام Siemens Spectrum 7 مع ADMS والتطبيقات الداعمة يمكن من تقليل الاعتماد على البلاغات اليدوية، ويُعزز الكفاءة التشغيلية من خلال تحسين رصد الأعطال بشكل آني، ما يُقلص زمن الاستجابة ويعزز موثوقية الشبكة.

وأوصت الدراسة بضرورة توسيع تطبيق نظام المراقبة الذكي ليشمل المحطات غير المراقبة، والاستثمار في تقنيات الإنذار والكشف التلقائي للأعطال، إلى جانب تحسين تكامل الأنظمة لرفع جودة الخدمة وتقليل الخسائر التشغيلية.

➤ دراسة (عزام وآخرون، 2025)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر الخدمات المصرفية الإلكترونية بأبعادها (أنواع الخدمات المصرفية الإلكترونية، المزايا الخاصة بالخدمات المصرفية الإلكترونية، الأمان والثقة، وسهولة الاستخدام) على المخاطر التشغيلية في البنوك التجارية المصرية بمحافظة المنوفية، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

توصلت النتائج إلى وجود اختلافات جوهرية ذات دلالة إحصائية في أبعاد الخدمات المصرفية الإلكترونية والمخاطر التشغيلية تبعًا للمتغيرات الديموغرافية (الوظيفة، المؤهل العلمي، سنوات الخبرة)، كما أظهرت النتائج وجود علاقة ارتباط عكسية بين أبعاد الخدمات المصرفية الإلكترونية والمخاطر التشغيلية، مما يشير إلى أن زيادة كفاءة وتنوع الخدمات الإلكترونية تقلل من المخاطر التشغيلية بالبنوك التجارية.

وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز الاستثمار في أنظمة الأمان الإلكترونية وتطوير مهارات العاملين في إدارة الخدمات المصرفية الإلكترونية، مع التركيز على رفع جودة الخدمة وثقة العملاء لتقليل المخاطر التشغيلية وتعزيز الأداء المصرفي المستدام.

➤ دراسة (بالقط وبن العربية، 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر استخدام الأنظمة الخبيرة بأبعادها (جمع وتحليل البيانات، دعم اتخاذ القرار، اكتشاف الأخطاء والمخاطر، وتحسين جودة التدقيق) على المخاطر التشغيلية في مهنة التدقيق، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

أظهرت نتائج الدراسة أن تبني الأنظمة الخبيرة في مهنة التدقيق يسهم في تحسين دقة وموضوعية نتائج التدقيق، وتقليل احتمالية وقوع الأخطاء التشغيلية، وتعزيز موثوقية التقارير المالية. كما تبين أن العوامل الخارجية والأحداث البيئية قد تؤثر في مهنة التدقيق، إلا أن استخدام الأنظمة الخبيرة يساعد المدققين على مواجهة هذه المخاطر بفعالية أعلى.

وأوصت الدراسة بضرورة توسيع استخدام الأنظمة الخبيرة في بيئات التدقيق، وتدريب المدققين على استغلال إمكاناتها التقنية في تحليل البيانات والتنبؤ بالمخاطر، بما يسهم في رفع جودة المخرجات وتقليل مستويات المخاطر التشغيلية في المؤسسات.

➤ دراسة (Alymov & Averbukh, 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر مراقبة تدفقات الطاقة الكهربائية بشكل مستمر بأبعاده (رصد استهلاك الطاقة، اكتشاف الفاقد غير المشروع، التحكم في الجهد، وتحسين كفاءة التشغيل) على تقليل الفواقد الفنية وغير الفنية وتحسين كفاءة الشبكات الكهربائية منخفضة الجهد المرتبطة بمصادر الطاقة المتجددة، واستخدمت الدراسة المنهج التطبيقي التحليلي.

وقد أظهرت نتائج الدراسة أن النظام المقترح أسهم في خفض إجمالي استهلاك الطاقة بنسبة تقارب 6% من خلال اكتشاف ومنع الهدر غير المشروع للطاقة، بالإضافة إلى معالجة الأعطال والمشكلات الفنية. كما ساهم في تقليل الحاجة لتدخل الفنيين في العمليات التشغيلية بمعدل وصل إلى عشرين مرة أقل، مما أدى إلى زيادة كبيرة في ربحية الشبكات الكهربائية.

وأوصت الدراسة بضرورة توسيع تطبيق أنظمة المراقبة الذكية لتشمل مزيداً من شبكات التوزيع، وتكاملها مع برامج العدادات الذكية، لما لها من تأثير مباشر على تحسين الكفاءة التشغيلية وتقليل الخسائر وتحقيق الاستدامة في أنظمة الطاقة الحديثة.

➤ دراسة (عبدالنبي وابن نامي، 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على تأثير التخطيط الاستراتيجي الجيد بأبعاده (صياغة الرؤية والرسالة، تحليل البيئة الداخلية والخارجية، وضع الأهداف الاستراتيجية، تنفيذ الخطط، متابعة وتقييم الأداء) على جودة الأداء المؤسسي في مؤسسات القطاع التقني في المملكة العربية السعودية، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

وقد أظهرت نتائج الدراسة أن التخطيط الاستراتيجي له أثر ذو دلالة إحصائية على جودة الأداء المؤسسي، كما أن كل بعد من أبعاد التخطيط الاستراتيجي (الرؤية، الرسالة، تحليل البيئة، الأهداف، التنفيذ، التقييم) يسهم بشكل مباشر وفعال في تعزيز الأداء المؤسسي في المؤسسات التقنية.

وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز ثقافة التخطيط الاستراتيجي داخل المؤسسات التقنية، وتخصيص الموارد اللازمة لتنفيذ الخطط الاستراتيجية بفاعلية، وربط ممارسات التخطيط بالمكافآت والحوافز، واعتماد مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) كأداة لقياس وتحسين جودة الأداء المؤسسي باستمرار.

➤ دراسة (الفهداوى وشعبان، 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور لجان التدقيق بأبعادها (تشكيل اللجان، استقلالية اللجان، كفاءة الأعضاء، وإشراف اللجان) في الحد من المخاطر التشغيلية في المؤسسات الحكومية العراقية. استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

أظهرت نتائج الدراسة أن لجان التدقيق لها أثر ذو دلالة إحصائية في الحد من المخاطر التشغيلية داخل المؤسسات الحكومية، وأن التدقيق الخارجي يسهم بشكل ملموس وأخلاقي في تقليل تلك المخاطر من خلال الحد من الأخطاء التشغيلية، وتطوير نظم المعلومات، وضمان دقة البيانات، وتنفيذ الصيانة الدورية للتقنيات المستخدمة.

وأوصت الدراسة بضرورة التزام المدقق الخارجي بمعايير الإفصاح والشفافية والنزاهة المحاسبية، مع الإلمام بأساليب إدارة الأرباح ونماذج التحريف المالي، إضافةً إلى تعزيز ضوابط تشكيل لجان التدقيق من خلال الاختيار الدقيق للأعضاء وتنظيم مهامهم بما يضمن فاعلية عملهم في الحد من المخاطر التشغيلية.

➤ دراسة (العشيبي والوكيل، 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على الإفصاح عن المخاطر المالية والتشغيلية بأبعاده (عائد حقوق الملكية، العائد على الأصول، مخاطر السيولة، مخاطر الائتمان، مخاطر كفاية رأس المال، المؤشر الأساسي، المؤشر المعياري، المؤشر القياسي المتقدم) على مستوى الشفافية وجودة التقارير السنوية في المصارف التجارية الليبية، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

وقد توصلت النتائج إلى أن مستوى الإفصاح عن المخاطر في التقارير السنوية للمصارف ضعيف جداً، حيث بلغ فقط (5.51%)، مما يشير إلى قصور واضح في التزام المصارف بتوصيات بازل المتعلقة بالإفصاح والشفافية وإدارة المخاطر، كما لم يظهر التزام فعلي باستخدام أدوات القياس المقترحة من بازل.

وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز مستويات الإفصاح عن المخاطر المالية والتشغيلية بالتقارير السنوية، ورفع مستوى الوعي بأهمية متطلبات لجنة بازل كمرجعية عالمية، مع الدعوة إلى إجراء المزيد من الدراسات المحاسبية التي تتناول الإفصاح عن المخاطر في التقارير المالية للمصارف التجارية.

➤ دراسة (تجانيه وآخرون، 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على إدارة مخاطر التدفقات النقدية التشغيلية بأبعادها (تحديد المخاطر، تقييم المخاطر، استراتيجيات الاستجابة للمخاطر، والرقابة على المخاطر) على تحقيق الكفاءة الاقتصادية والمصدقية الشرعية في البنوك والمؤسسات المالية الإسلامية في الجزائر، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

وتوصلت النتائج إلى أن إدارة المخاطر التشغيلية تسهم بفاعلية في تعزيز الثقة بمنتجات الصيرفة الإسلامية، والحد من مخاطر التدفقات النقدية التشغيلية، وتحقيق الكفاءة الاقتصادية والمصدقية الشرعية. كما أكدت الدراسة أن الإدارة الفعالة لهذه المخاطر تُعد عاملاً أساسياً في استدامة المؤسسات المالية الإسلامية وتحقيق أهدافها.

وأوصت الدراسة بضرورة تحليل مؤشرات صافي التدفقات النقدية للتمويلات الإسلامية بصفة دورية لدعم أداء الشبابيك الإسلامية ذات النتائج الإيجابية، ومعالجة أوجه القصور لدى تلك ذات الأداء الضعيف من خلال تشخيص أسباب الاختلال وتحسين أساليب إدارة المخاطر التشغيلية في أنشطة التمويل الإسلامي.

➤ دراسة (احمد وآخرون، 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور الرقابة الداخلية بأبعادها (إجراءات التدقيق الداخلي، المتابعة والتقويم، الالتزام بالضوابط، والاستجابة للانحرافات) على الحد من المخاطر التشغيلية في المصارف بمحافظة دهوك في إقليم كردستان العراق، حيث شملت الدراسة مصارف: الرافدين، الرشيد، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

وقد أظهرت نتائج الدراسة أن هناك اعتماداً كبيراً على إجراءات الرقابة والتدقيق الداخلي في المصارف المدروسة، وأن هذه الإجراءات تسهم بشكل واضح في التخفيف من المخاطر التشغيلية، حيث تساعد في تصحيح الانحرافات، ورصد المخاطر، وتعزيز الانضباط المؤسسي.

وأوصت الدراسة بضرورة مواجهة التحديات والمخاطر المتجددة التي تواجه البيئة المصرفية، ومراقبة مستويات الخطر، ووضع إجراءات رقابية مرنة وفعالة للحد من التأثيرات السلبية التي قد تعيق الأداء التشغيلي.

➤ دراسة (الدرود، 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على كفاءة الرقابة الداخلية بأبعادها (البيئة الرقابية، تقييم المخاطر، الأنشطة الرقابية، المعلومات والتواصل، وأنشطة المتابعة) على تحسين الأداء المالي في المؤسسات الحكومية، من خلال بيان مدى تأثير تطبيق معايير الرقابة الداخلية على قدرة المؤسسات على اكتشاف الأخطاء والغش وتحقيق السلامة المالية.

واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، حيث تم التركيز على تحليل الإطار المفاهيمي للرقابة الداخلية وأهميتها في دعم نظام المحاسبة وتطبيقه بأسس علمية، إلى جانب دورها في تفعيل إدارة المخاطر وضبط الأداء المالي من خلال الحد من فرص التصرف الفردي دون موافقات تنظيمية.

وقد أظهرت النتائج أن وجود رقابة داخلية فعّالة ومنتظمة يسهم في تحسين كفاءة الأداء المالي للمؤسسات الحكومية، ويؤدي إلى زيادة موثوقية المركز المالي من خلال تتبع الأخطاء بشكل مستمر ومعالجتها فوراً، كما تساعد الرقابة الداخلية في الالتزام بالقوانين والتعليمات وتعزز من استقرار المؤسسة أمام التحديات والمخاطر.

وأوصت الدراسة بضرورة تحديث القوانين واللوائح المتعلقة بالرقابة الداخلية، وتعزيز مهارات العاملين بها، وتطوير الأنظمة الرقابية بما يتماشى مع متطلبات إدارة المخاطر الحديثة، إلى جانب اعتماد

تقييم مستمر ومنظم لطبيعة المخاطر التي قد تواجه المؤسسات الحكومية لضمان فاعلية الأداء الرقابي وزيادة كفاءة المتابعة والتقييم.

➤ دراسة (عبدالحكيم، 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على مدى مساهمة التدريب بأبعاده (تحديد الاحتياجات التدريبية، تصميم البرامج التدريبية، تنفيذ التدريب، وتقييم أثر التدريب) في تحسين كفاءة الموارد البشرية بمؤسسة اتصالات الجزائر - تقرت، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن التدريب يمثل عنصراً أساسياً وفعالاً في تطوير كفاءة الموارد البشرية، حيث يساهم في ترشيد وتوجيه أداء العاملين، وتحسين مهاراتهم بما ينعكس إيجاباً على أداء المؤسسة ككل.

وأوصت الدراسة بضرورة الاهتمام المستمر بتطوير البرامج التدريبية بناءً على التحليل الدقيق لاحتياجات الموظفين، إلى جانب تفعيل آليات تقييم أثر التدريب بشكل دوري لضمان تحقيق أقصى استفادة منه على المستوى الفردي والمؤسسي.

➤ دراسة (حسين و ابراهيم، 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على مدى تأثير الذكاء الاصطناعي بأبعاده (أدوات الذكاء الاصطناعي في التصميم، القدرات الإبداعية، كفاءة الأداء، والتفاعل مع المستخدم) على العملية التصميمية في مجال التصميم الداخلي ومستقبل دور المصمم الداخلي، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

وتوصلت النتائج إلى أن أدوات الذكاء الاصطناعي تُعد وسيلة مساندة تساهم في تحفيز الإبداع وتوفير تغذية بصرية غنية، كما تساهم في تحسين الكفاءة التصميمية من خلال تسريع العمليات وتقديم بدائل تصميمية مبتكرة، لكنها لا تمثل بديلاً عن المصمم الداخلي. وأكدت الدراسة أن الذكاء الاصطناعي يعزز من دور المصمم كمفكر ومبتكر، وليس كمنفذ تقني فقط.

وأوصت الدراسة بضرورة مواكبة المصممين للتطورات التكنولوجية والاطلاع على أدوات الذكاء الاصطناعي الحديثة، وتضمينها في العملية التعليمية والمهنية، مع التأكيد على الحفاظ على البعد الإنساني والإبداعي للمصمم الداخلي باعتباره جوهر العملية التصميمية.

➤ دراسة (تركمان وآخرون ،2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على العلاقة بين ممارسات الموارد البشرية بأبعادها (الاختيار والتعيين، التدريب) على كفاءة العاملين في جامعة تشرين، وذلك باعتبار الكفاءة من أبعاد الأداء التنظيمي في بيئة التعليم العالي ، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي.

وقد أظهرت نتائج الدراسة أن مستوى ممارسات الاختيار والتعيين والتدريب في جامعة تشرين منخفض، كما أن كفاءة العاملين كذلك كانت عند مستوى منخفض. كما كشفت النتائج عن وجود علاقة ذات دلالة معنوية بين ممارسات الموارد البشرية وكفاءة العاملين، مما يؤكد أن تحسين ممارسات الموارد البشرية يساهم في رفع كفاءة العاملين في الجامعة.

وأوصت الدراسة بضرورة تطوير إجراءات الاختيار والتعيين لتكون أكثر فاعلية وشفافية، وتحسين عملية تحديد الاحتياجات التدريبية، إلى جانب وضع معايير دقيقة تضمن استقطاب الكفاءات المناسبة ورفع كفاءة العاملين بما يواكب متطلبات العمل الأكاديمي والإداري.

➤ دراسة (Li et al., 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على فعالية استخدام منهج "النموذج المعتمد + البيانات المعتمدة" بأبعاده (الذكاء الجمعي، تعددية أساليب التقييم، خوارزمية الغابات العشوائية، واختبار ارتباط سبيرمان) على تقييم مستوى إدارة فواقد الطاقة الكهربائية في مؤسسات شبكات الكهرباء، واستخدمت الدراسة المنهج التحليلي التطبيقي.

وقد تم تطبيق النموذج على بيانات 61 مؤسسة شبكة كهربائية على مستوى البلديات، وأظهرت النتائج أن دمج المنهج النموذجي القائم على النماذج مع المنهج البياني القائم على البيانات يحقق كفاءة أعلى ودقة أفضل في تقييم إدارة الفاقد الكهربائي مقارنةً بالأساليب التقليدية، من خلال الاستفادة المثلى من القيمة المعلوماتية للمؤشرات، وربطها بالعلاقات السببية والترابطية داخل البيانات.

وأوصت الدراسة بضرورة تبني هذا النموذج المتكامل في مؤسسات الطاقة لتطوير أنظمة التقييم الداخلية وزيادة موثوقية نتائج قياس أداء إدارة الفاقد، مع توسيع نطاق تطبيقه ليشمل تقييمات تشغيلية أخرى تعتمد على مؤشرات متعددة ومعقدة.

➤ دراسة (Kheirkhah et al., 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر تطبيق إطار تحليل قائم على المخاطر بأبعاده (تقدير احتمالية الأعطال، محاكاة الأعطال باستخدام مونت كارلو، تقييم تكلفة الطاقة غير الموردة، وتقييم تقنيات الشبكات الذكية) على تعزيز مرونة شبكات توزيع الطاقة الكهربائية، واستخدمت الدراسة المنهج التحليلي التطبيقي

وقد أظهرت نتائج الدراسة، من خلال التجريب على النموذج المعدل لشبكة IEEE ذات 136 نقطة توزيع، أن الإطار التحليلي المقترح فعال في مساعدة مشغلي شبكات التوزيع على اتخاذ قرارات استثمارية مدروسة تعزز من مرونة النظام، مع تركيز واضح على تقليل المخاطر التشغيلية.

وأوصت الدراسة بضرورة اعتماد هذا الإطار التحليلي المبني على المخاطر كأداة استباقية لتحديد النقاط الضعيفة داخل شبكات التوزيع، وتطبيق التدخلات المناسبة للتقليل من الانقطاعات المحتملة، بما يعزز من موثوقية واعتمادية البنية التحتية الكهربائية.

8.1 الفجوة البحثية:

تتفق الدراسة الحالية مع ما ورد في دراسة (تجانيه وآخرون، 2023)، من حيث التأكيد على أهمية إدارة المخاطر التشغيلية في تحقيق الكفاءة الاقتصادية وتعزيز الثقة بالنظام، إذ تناولت تلك الدراسة المخاطر التشغيلية في التمويلات الإسلامية، وأبرزت دور تقييم المخاطر والاستجابة لها في تحسين الأداء، وبالمثل، تسعى الدراسة الحالية إلى توظيف نفس المفهوم ولكن في سياق مختلف وهو شبكات الكهرباء الذكية. (تجانيه وآخرون، 2023)

وتختلف الدراسة الحالية عن دراسة (الفهداوي وشعبان، 2023) من حيث المجال التطبيقي، حيث ركزت تلك الدراسة على أثر لجان التدقيق في المؤسسات الحكومية العراقية، بينما تركز هذه الدراسة على تطبيقات تقنية متقدمة مثل أنظمة المراقبة الذكية وتحليل البيانات في شركة طاقة. ورغم ذلك، يتفق الطرفان في أن الإدارة الفعالة للمخاطر التشغيلية تؤدي إلى تقليل الأخطاء وتحسين كفاءة النظام. (الفهداوي وشعبان، 2023)

وأغلب الدراسات السابقة، مثل (العشيري والوكيل، 2023)، تناولت المخاطر التشغيلية في سياقات مصرفية، وخاصة فيما يتعلق بالإفصاح والشفافية، دون التطرق إلى الجوانب الفنية المعقدة لشبكات الكهرباء الذكية. وهنا تبرز الفجوة البحثية، إذ إن الدراسة الحالية تسعى لسد هذا النقص من خلال تسليط الضوء على الجوانب التقنية والميدانية المرتبطة بإدارة المخاطر في بيئة تشغيلية تعتمد على التكنولوجيا الذكية. (العشيري والوكيل، 2023)

وعلى الرغم من أن دراسة (بالقط وبن العربية، 2024) تناولت أثر الأنظمة الخبيرة في تقليل المخاطر التشغيلية في بيئات التدقيق، إلا أنها لم تتطرق إلى البيئة التشغيلية لشبكات الطاقة أو إلى تكامل الأنظمة الذكية مثل ADMS و SCADA مع أدوات إدارة المخاطر، وإن الدراسة الحالية، فتسعى إلى سد هذه الفجوة من خلال الربط المباشر بين أدوات المراقبة الذكية وإجراءات تقليل الفاقد وتحسين الكفاءة. (بالقط وبن العربية، 2024)

9.1 المنطلقات النظرية للدراسة:

1. مفهوم المخاطر التشغيلية في الشبكات الكهربائية

تُعرف المخاطر التشغيلية في شبكات الكهرباء بأنها الأحداث أو الإخفاقات المحتملة التي قد تؤدي إلى انقطاعات في الخدمة، أو فقدان للطاقة، أو تدهور في كفاءة التشغيل، نتيجة لخلل بشري أو تقني أو بيئي، ومع تعقد البنية التحتية للشبكات الذكية، ازدادت أهمية معالجة هذه المخاطر من خلال آليات وقائية واستباقية تعتمد على التكنولوجيا والتحليل الذكي للبيانات.

تُعتبر الشبكات الذكية بيئة تشغيلية معقدة، تتميز بكثافة البيانات وسرعة التفاعل، مما يجعل التعامل مع المخاطر فيها أكثر حساسية مقارنة بالشبكات التقليدية. و فكل عطل غير مرصود قد يؤدي إلى فقدان كميات ضخمة من الطاقة، وتأخير في إعادة الخدمة، وخسائر مالية كبيرة، وهو ما يستدعي نظامًا إداريًا مرناً ومستندًا إلى البيانات. (Kheirkhah et al., 2023)

2. إدارة المخاطر التشغيلية: المبادئ والمراحل

تمر إدارة المخاطر التشغيلية بعدة مراحل تبدأ بتحديد المخاطر المحتملة، مرورًا بتحليل احتمالية حدوثها وتأثيرها، ثم وضع خطط الاستجابة المناسبة، وانتهاءً بعملية المتابعة والتقييم المستمر. في الشبكات الذكية، تتطلب هذه الدورة دمج أدوات تحليلية وتقنيات ذكاء صناعي تساعد على التنبؤ المبكر بالمخاطر والتفاعل معها آليًا.

وقد بينت الأدبيات أن الإدارة الفعالة للمخاطر تتطلب بناء ثقافة مؤسسية تدمج بين التخصصات الفنية والتحليلية، إلى جانب تطبيق معايير دولية مثل ISO 31000، وتكامل الأنظمة التشغيلية مع نظم تحليل المخاطر. (تجانيه وآخرون، 2023)

3. الشبكات الكهربائية الذكية: الخصائص والتحديات التشغيلية

تتميز الشبكات الذكية بقدرتها على التفاعل اللحظي مع الأحمال، وتحليل بيانات الاستهلاك، وإعادة توزيع الطاقة آليًا، ولكن في المقابل، تظهر تحديات تتعلق بارتفاع عدد نقاط الاتصال، وتنوع مصادر الطاقة، وحساسية الشبكة تجاه الأعطال، مما يزيد من حجم المخاطر التشغيلية. ومن هنا تنشأ الحاجة إلى أدوات مراقبة وتحكم أكثر ذكاءً ودقة.

وقد أظهرت دراسة تطبيقية حديثة أن دمج تقنيات FLISR (تحديد الأعطال التلقائي، العزل، واستعادة الخدمة) مع إدارة الطلب من جانب المستهلك (DSM) ساهم في تحسين مرونة الشبكة وتقليل زمن الاستجابة للانقطاعات. (Kheirkhah et al., 2023)

4. تقنيات المراقبة الذكية ودورها في تقليل الخسائر الفنية

تُعد أنظمة SCADA وADMS (أنظمة إدارة التوزيع المتقدمة) من أهم التقنيات التي تعتمد عليها المؤسسات الحديثة لمراقبة أداء الشبكة في الوقت الفعلي، واكتشاف الأعطال ومواقعها، وتحسين كفاءة توزيع الأحمال، وتساهم هذه الأنظمة في تقليل الفواقد الفنية من خلال تقليل الانقطاعات غير المرصودة، وزيادة فعالية الصيانة الاستباقية.

وقد أظهرت دراسة حالة على شركة طاقة في مدينة العين أن الاعتماد على الشكاوى لتحديد الأعطال تسبب في تأخير الاستجابة، بينما مكّنت الأنظمة الذكية من تحسين آلية الكشف الفوري وتقليل الخسائر التشغيلية بشكل كبير. (Shoqirat et al., 2025)

5. دور الأنظمة الذكية والذكاء الاصطناعي في إدارة الأعطال

يشمل الذكاء الاصطناعي في شبكات الكهرباء استخدام خوارزميات تعلم الآلة لاكتشاف الأنماط الشاذة، وتوقع الأعطال قبل حدوثها، وتحديد النقاط الضعيفة في البنية التحتية للشبكة، ويُعد دمج هذه التقنيات خطوة نحو تقليل التدخل البشري وتحقيق الكفاءة التشغيلية القصوى.

وأوضحت نتائج دراسة ميدانية على شبكات توزيع تستخدم مراقبة مستمرة للطاقة أن هذا النظام ساهم في خفض استهلاك الطاقة بنسبة 6%، وتقليل حاجة الفنيين إلى التدخل المباشر بمعدل عشرين مرة، مما أدى إلى تعزيز الربحية والموثوقية في نفس الوقت.(Alymov & Averbukh, 2024)

6. الخسائر الفنية في الشبكات: الأسباب والتداعيات

تنتج الخسائر الفنية عادة عن مقاومة الأسلاك، ضعف جودة المعدات، ارتفاع درجة حرارة المحولات، وضعف الاتزان بين الأحمال. كل هذه العوامل تزداد حدة في الشبكات ذات الكثافة العالية والمتصلة بأنظمة متجددة، ومع تزايد استهلاك الطاقة في المدن الحديثة، تمثل هذه الخسائر عبئًا ماليًا وفنيًا ضخماً.

تشير الدراسات إلى أن الفشل في إدارة هذه الخسائر يُعد أحد أبرز أسباب انخفاض كفاءة الشبكة، وهو ما يستدعي تطوير أدوات متقدمة للقياس والرصد اللحظي، مع استراتيجيات صيانة ذكية تعتمد على البيانات لا على التقدير.(Li et al., 2023)

7. التكامل بين إدارة المخاطر والكفاءة التشغيلية

إن العلاقة بين إدارة المخاطر التشغيلية والكفاءة التشغيلية علاقة طردية؛ فكلما تحسنت قدرة المؤسسة على التنبؤ بالمخاطر والتعامل معها، كلما زادت الكفاءة في استغلال الموارد، وانخفضت الخسائر، وتحسنت موثوقية الخدمة، ومن هذا المنطلق، تسعى الشركات الحديثة إلى تبني فلسفة قائمة على التحليل الاستباقي والوقاية بدلاً من ردّ الفعل.

وقد أكدت إحدى الدراسات أن المؤسسات التي تبنت أدوات تحليل المخاطر بشكل ممنهج شهدت انخفاضاً في الخسائر الفنية وتحسناً في معدلات الأداء، نتيجة تحسين عمليات اتخاذ القرار واعتماد سياسات مبنية على بيانات واقعية.(بالقط وبن العربية، 2024)

8. ممارسات الشركة السعودية للكهرباء في تطوير الشبكات الذكية

تُعد الشركة السعودية للكهرباء من أبرز المؤسسات في المنطقة التي تتجه نحو التحول الذكي في شبكاتها، من خلال مشروعات العدادات الذكية، وتوسيع استخدام SCADA، وربط المحطات بأنظمة التحكم المركزي، ورغم ذلك، لا تزال تواجه تحديات في تقليل الفاقد الفني بشكل ملحوظ، وهو ما يبرز أهمية هذه الدراسة في تحليل الأثر الفعلي لإدارة المخاطر المتقدمة على أداء الشبكة.

الدراسة الحالية تسعى لتقديم نموذج ميداني يعكس التفاعل الحقيقي بين أدوات إدارة المخاطر والأداء الفني، ويقيس مستوى الكفاءة المحقق فعليًا في بيئة تشغيلية نشطة ومعقدة.

10.1 المنهجية وطرق البحث:

سيتم اعتماد المنهج الوصفي التحليلي، لكونه الأنسب لطبيعة الدراسة التي تهدف إلى وصف الظاهرة محل الدراسة (إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة في الشبكات الذكية)، وتحليل علاقتها بالخسائر الفنية وكفاءة الأداء، اعتمادًا على البيانات الميدانية وآراء المستجيبين.

☒ مجتمع الدراسة

سوف يتكوّن مجتمع الدراسة من موظفي الشركة السعودية للكهرباء العاملين في مجالات التشغيل، الصيانة، التحكم، وإدارة المخاطر.

وسيتم اختيار عينة عشوائية طبقية من الموظفين في الإدارات ذات العلاقة المباشرة بالشبكات الذكية.

☒ عينة الدراسة

سيتم اختيار عينة الدراسة من بين العاملين في الشركة السعودية للكهرباء، تحديدًا في الأقسام والإدارات ذات العلاقة المباشرة بإدارة المخاطر التشغيلية، وتشغيل وصيانة الشبكات الذكية، مثل:

- إدارة التشغيل والتحكم
- إدارة الصيانة الكهربائية
- إدارة المخاطر والجودة
- مركز البيانات والتحول الرقمي
- الفرق الميدانية المسؤولة عن الشبكات الذكية والمحطات

ستُعمد الطريقة العشوائية التطبيقية في اختيار العينة، بحيث يتم تمثيل كل إدارة أو قسم بنسبة متوازنة تتناسب مع حجمها، وذلك لضمان شمولية النتائج وتمثيلها الواقعي للبيئة الداخلية للشركة.

من المتوقع أن يتراوح حجم العينة بين 200 إلى 300 موظف، وذلك بما يتناسب مع حجم المجتمع المستهدف، ويكفي لتحقيق دلالة إحصائية قوية باستخدام أدوات التحليل الإحصائي المناسبة، مثل تحليل الارتباط والانحدار.

وسيتوزع الاستبيانات إلكترونياً و/أو ورقياً حسب ما تتيحه ظروف العمل بالشركة، مع الالتزام التام بسرية الإجابات وعدم استخدامها إلا لأغراض البحث العلمي فقط.

☑ أداة الدراسة

سيتم استخدام استمارة استبيان كأداة رئيسية لجمع البيانات من عينة الدراسة. سيتضمن الاستبيان محاور تغطي أبعاد المتغير المستقل (إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة)، وأبعاد المتغير التابع (الخسائر الفنية وكفاءة التشغيل)، وستُصمم بنظام Likert خماسي لقياس آراء واتجاهات المشاركين لتغطية أبعاد المتغيرين الأساسيين على النحو الآتي:

المتغير المستقل: إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة، وتشمل الأبعاد الآتية:

- تحديد المخاطر
- تحليل وتقييم المخاطر

- استراتيجيات الاستجابة للمخاطر
- الرصد والمراقبة الذكية للمخاطر

المتغير التابع: تحسين الكفاءة وتقليل الخسائر الفنية، ويتضمن الأبعاد التالية:

- تقليل الفاقد الفني في الشبكة
- تحسين الكفاءة التشغيلية
- تقليل زمن الأعطال والانقطاعات
- رفع موثوقية واستدامة الشبكة الكهربائية.

11.1 الأساليب الإحصائية المستخدمة

سيتم استخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية المناسبة لتحليل البيانات باستخدام برنامج

SPSS، ومن أبرز هذه الأساليب:

- التكرارات والنسب المئوية لوصف الخصائص الديموغرافية
- المتوسطات الحسابية والانحراف المعياري لتحليل الإجابات
- معامل ارتباط بيرسون لقياس العلاقة بين المتغيرات
- تحليل الانحدار البسيط والمتعدد لاختبار الفرضيات
- اختبار T-Test و ANOVA لتحليل الفروق بناء على المتغيرات الديموغرافية

12.1 حدود الدراسة:

- حدود موضوعية: تركز على أثر إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة دون التطرق لبقية أنواع المخاطر.
- حدود مكانية: أجريت الدراسة في المملكة العربية السعودية، في الشركة السعودية للكهرباء.
- حدود زمنية: سيتم إجراء الدراسة خلال العام الأكاديمي 2025.
- حدود بشرية: تشمل الموظفين المختصين في إدارات التشغيل والمخاطر والتقنية.

الفصل الثاني: الإطار النظري

المبحث الأول: إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة في شبكات الكهرباء الذكية

1.1.2 تمهيد

تُمثّل إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة أحد المرتكزات الأساسية التي تقوم عليها المنظمات المعاصرة في حماية عملياتها الداخلية من التهديدات المتنامية والمتشعبة. وقد شهد هذا الحقل تحولات جذرية في العقود الأخيرة، انتقل خلالها من النمط التقليدي القائم على ردّ الفعل والاستجابة اللاحقة للأحداث، إلى نمط استباقي يعتمد على التنبؤ والتحليل المتقدم والاستشراف المنهجي لمصادر الخطر قبل تحقّقها. وتبرز هذه التحولات بصورة خاصة في القطاعات ذات البنية التحتية الحرجة، وفي مقدمتها قطاع الطاقة الكهربائية الذي تُعدّ فيه استمرارية التشغيل واستقرار الشبكة متطلبات لا تحتمل التأجيل أو التهاون. وفي ظلّ التوسع المتسارع في تبني تقنيات الشبكات الذكية وإنترنت الأشياء الصناعي وأنظمة التحكم الرقمي، باتت المخاطر التشغيلية أكثر تعقيداً وتداخلاً، مما فرض الحاجة إلى أطر إدارية ومنهجية متقدمة تتجاوز الأساليب التقليدية في التعرف على المخاطر وتقييمها والاستجابة لها.

ويتناول هذا المبحث المتغير المستقل للدراسة الحالية، وهو إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة، من خلال خمسة محاور مترابطة تبدأ بالتأصيل المفاهيمي وصولاً إلى الأبعاد التفصيلية. فيُعالج المحور الأول مفهوم إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة من خلال عرض تعريفات الباحثين والمقاربات الفكرية المتعددة، ثم ينتقل المحور الثاني إلى أهمية هذا المتغير في السياق المؤسسي والتشغيلي، فيما يتناول المحور الثالث أهداف إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة، ويستعرض المحور الرابع الاستراتيجيات المعتمدة في هذا الحقل، ليختتم المبحث بالمحور الخامس الذي يتناول أبعاد المتغير المستقل بالتفصيل والتحليل.

2.1.2 مفهوم إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة

شغل مفهوم إدارة المخاطر التشغيلية حيزاً واسعاً من اهتمام الباحثين والممارسين على حدٍ سواء، وقد تباينت التعريفات المطروحة له تبعاً للمنظور النظري الذي ينطلق منه كل باحث ولطبيعة القطاع التطبيقي الذي يدور فيه البحث. ويرتبط هذا التباين بتعدد الأبعاد التي ينطوي عليها المفهوم، إذ يمتد ليشمل جوانب تنظيمية وتقنية وبشرية وبيئية، مما يجعل الإحاطة به من زاوية واحدة أمراً غير كافٍ لاستيعاب مضامينه المتشعبة.

وفي هذا الإطار، تناول عبدالمجيد (2020) إدارة المخاطر التشغيلية بوصفها المنظومة الإدارية والرقابية المتكاملة التي تستهدف التعرف على مصادر الخطر الكامنة في العمليات الداخلية للمؤسسة وقياسها ومراقبتها والسيطرة عليها، بحيث تشمل المخاطر الناجمة عن قصور الأنظمة الداخلية أو الأخطاء البشرية أو الإخفاقات في الإجراءات أو الأحداث الخارجية غير المتوقعة. ويلاحظ أن هذا التعريف يُركّز على البُعد الرقابي والعملياتي، ويضع المخاطر التشغيلية في إطار شامل يتجاوز النظرة الضيقة التي تحصرها في الأعطال الفنية فحسب.

ومن منظور مغاير يُركّز على العلاقة بين المخاطر التشغيلية والبيئة المؤسسية الأوسع، أشار باقر وآخرون (2020) إلى أن إدارة المخاطر في المشاريع الهندسية تُمثّل عملية ديناميكية تتفاعل فيها عوامل التخطيط والتنفيذ والرقابة ضمن سياق ثقافي ومنظمي محدد، حيث لا يمكن فصل كفاءة إدارة المخاطر عن طبيعة الثقافة المنظمة السائدة التي قد تُعزّز أو تُعيق ممارسات تحديد المخاطر والاستجابة لها. ويُضيف هذا المنظور بُعداً سلوكياً وثقافياً مهماً لم يتناوله التعريف السابق، إذ يُبرز أن إدارة المخاطر التشغيلية لا تقتصر على الأدوات والإجراءات الفنية، بل تتأثر بعمق بالقيم التنظيمية ومستوى الوعي المؤسسي بأهمية المخاطر.

وفي اتجاه يُعلي من شأن التقنيات الحديثة في إعادة تشكيل مفهوم إدارة المخاطر التشغيلية، أوضح بالقط وبن العريّة (2024) أن استخدام الأنظمة الخبيرة في بيئة التدقيق قد أدى إلى توسيع نطاق مفهوم إدارة المخاطر التشغيلية ليشمل قدرة المنظمة على توظيف أدوات الذكاء الاصطناعي والأنظمة

الخبرة في اكتشاف أنماط المخاطر وتصنيفها وترتيبها وفق أولويات محسوبة. ويعكس هذا التوجه تحولاً نوعياً في المفهوم ذاته، إذ لم تعد إدارة المخاطر التشغيلية عملية يدوية تعتمد على الخبرة الشخصية والحكم الذاتي فحسب، وإنما باتت منظومة تقنية-إدارية تُوظف القدرات الحاسوبية في معالجة كمّيات ضخمة من البيانات التشغيلية واستخلاص مؤشرات إنذار مبكر.

كما تناول بوعبدالله وعلمي (2022) المفهوم من زاوية مؤشرات المخاطر الرئيسية، حيث عرّف إدارة المخاطر التشغيلية بوصفها القدرة المؤسسية على بناء منظومة مؤشرات استباقية تُمكن من رصد التغيرات في مستويات المخاطر قبل أن تتحول إلى خسائر فعلية، وذلك من خلال الربط المنهجي بين مؤشرات الأداء الرئيسية ومؤشرات المخاطر الرئيسية. ويؤثر هذا التعريف المفهوم بإضافة البُعد الاستباقي والتنبؤي الذي يُميّز الإدارة المتقدمة للمخاطر عن نظيرتها التقليدية.

أما على صعيد المنظور الدولي، فقد أشار Araz وآخرون (2020) إلى أن إدارة المخاطر التشغيلية في عصر البيانات الضخمة تُعرّف بوصفها التوظيف المنهجي لتحليلات البيانات المتقدمة في دعم عملية صنع القرار المتعلق بالمخاطر، بحيث تُحوّل البيانات التشغيلية الخام إلى رؤى قابلة للتنفيذ تُساهم في تحسين جودة القرارات الاستباقية. ويُركّز هذا التعريف على المخاطر بوصفها مشكلة معلوماتية في جوهرها، يمكن معالجتها بالأدوات التحليلية المناسبة.

وفي السياق ذاته، أوضح Santorry (2024) أن إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة في المؤسسات المعاصرة تُشير إلى التكامل بين الابتكارات التقنية وممارسات إدارة المخاطر التقليدية، بحيث تُوظف التقنيات الناشئة كالذكاء الاصطناعي وسلاسل الكتل وإنترنت الأشياء في إعادة هندسة عمليات تحديد المخاطر وتقييمها والاستجابة لها. ويُضيف هذا التعريف بُعد الابتكار التقني كمكوّن أصيل في المفهوم المتقدم لإدارة المخاطر التشغيلية.

ومن جانب سلاسل الإمداد والعمليات، أشار Munir وآخرون (2020) إلى أن إدارة المخاطر التشغيلية تتضمن القدرة على تحقيق التكامل بين مختلف حلقات سلسلة العمليات بما يُعزّز المرونة

التشغيلية ويُقلّل من احتمالية الانقطاعات غير المخطط لها، مما يعني أن المفهوم يتجاوز حدود المنظمة الواحدة ليشمل شبكة العلاقات التشغيلية الأوسع.

كما قدّم Alvarez-Alvarado و Jayaweera (2020) تعريفاً متخصصاً في قطاع الطاقة، حيث عرّفا تقييم المخاطر التشغيلية بوصفه العملية المنهجية لتحديد احتمالات إخفاق مكونات منظومة توليد الطاقة وتقدير آثارها على موثوقية النظام الكهربائي ككل، مع الأخذ بعين الاعتبار دور الصيانة الذكية في تعديل مستويات المخاطر التشغيلية.

ويرى الباحث استناداً إلى التعريفات السابقة أن إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة في شبكات الكهرباء الذكية يمكن تعريفها بوصفها: "المنظومة الإدارية والتقنية المتكاملة التي تعتمد على أدوات التقييم الكمي والنوعي واستراتيجيات الاستجابة المرنة وتقنيات المراقبة الذكية وتطبيقات الذكاء الاصطناعي، بهدف التعرف الاستباقي على مصادر المخاطر الكامنة في العمليات التشغيلية لشبكات الكهرباء الذكية، وتحليلها وقياسها وترتيبها وفق أولويات محسوبة، ووضع خطط استجابة مناسبة للحد من آثارها على كفاءة الشبكة واستدامتها". ويستند هذا التعريف الإجرائي إلى التوليف بين المنظورات المتعددة التي طرحها الأدبيات، مع تكييفها لتلائم خصوصية قطاع شبكات الكهرباء الذكية في بيئة الشركة السعودية للكهرباء.

3.1.2 أهمية إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة

تنبثق أهمية إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة من طبيعة التحديات المتصاعدة التي تواجهها المنظمات المعاصرة في بيئة تتسم بالتعقيد والتغيّر المتسارع وتزايد الاعتماد على التقنيات الرقمية في تسير العمليات الجوهرية. وتتعاظم هذه الأهمية في قطاع الطاقة الكهربائية بوجه خاص، حيث يترتب على أي إخفاق تشغيلي تداعيات واسعة النطاق تمتد من الخسائر المالية المباشرة إلى التأثيرات الاجتماعية والاقتصادية على المستفيدين من الخدمة. وقد عزّز التحول نحو الشبكات الذكية من حدة المخاطر التشغيلية وتنوعها، إذ أضاف طبقات جديدة من التعقيد الناجم عن التكامل بين الأنظمة الفيزيائية والرقمية، مما جعل إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة ضرورة استراتيجية لا مجرد خيار إداري.

ويُشير عبدالمجيد (2020) إلى أن أهمية إدارة المخاطر التشغيلية تتجلى في عدة جوانب جوهرية، أبرزها: أولاً، حماية أصول المنظمة المادية والمعنوية من الخسائر الناجمة عن الأحداث التشغيلية غير المتوقعة، وهو ما يكتسب بُعداً خاصاً في قطاع الكهرباء حيث تُقدّر قيمة البنية التحتية بمليارات الريالات. ثانياً، تعزيز ثقة أصحاب المصلحة في قدرة المنظمة على إدارة عملياتها بكفاءة وموثوقية، وهو أمر بالغ الأهمية في المنظمات التي تقدم خدمات عامة كالكهرباء حيث يرتبط رضا المستفيدين ارتباطاً وثيقاً باستمرارية الخدمة وجودتها. ثالثاً، الامتثال للمتطلبات التنظيمية والرقابية التي تفرضها الجهات المنظمة لقطاع الطاقة، والتي تشترط وجود أطر محكمة لإدارة المخاطر كشرط لممارسة النشاط. رابعاً، توفير قاعدة معلوماتية موثوقة لصنع القرار الاستراتيجي والتشغيلي على حدٍ سواء، حيث تُسهم مخرجات عمليات إدارة المخاطر في ترشيد تخصيص الموارد وتحديد أولويات الاستثمار في البنية التحتية.

ويرى بوعظمت وأخرون (2022) أن أهمية إدارة المخاطر التشغيلية تتعزّز من خلال دور المراجعة الداخلية في الكشف عن مواطن الضعف التشغيلي ومعالجتها، حيث تُسهم المراجعة الداخلية الفعّالة في رفع مستوى الشفافية المؤسسية وتقليل فجوات المعلومات بين المستويات الإدارية المختلفة بشأن حجم المخاطر التشغيلية وطبيعتها. وتكمن أهمية هذا المنظور في كونه يربط بين إدارة المخاطر التشغيلية ومنظومة الحوكمة المؤسسية الأوسع، مما يُظهر أن الأهمية لا تقتصر على الجانب الفني بل تمتد إلى الجانب المؤسسي والإداري.

ويُضيف الفهداوي وشعبان (2023) بُعداً آخر لأهمية إدارة المخاطر التشغيلية يتمثل في دور لجان التدقيق بوصفها آلية حوكمة رئيسية في الحدّ من المخاطر التشغيلية للمؤسسات، حيث تُسهم هذه اللجان في ضمان فاعلية الضوابط الرقابية وكفاية إجراءات تحديد المخاطر وتقييمها، مما يُبرز أهمية البُعد المؤسسي والتنظيمي في منظومة إدارة المخاطر.

ويرى بوعبدالله وعلي (2022) أن أهمية إدارة المخاطر التشغيلية تتبلور كذلك في قدرتها على تحويل مؤشرات المخاطر الرئيسية من أرقام إحصائية جامدة إلى أدوات إنذار مبكر فاعلة، تُمكن الإدارة

من اتخاذ إجراءات وقائية قبل تفاقم المخاطر، وهذا يعني أن الأهمية تتجاوز البُعد الوقائي إلى البُعد الاستباقي الذي يمنح المنظمة ميزة زمنية حاسمة في التعامل مع التهديدات التشغيلية.

وعلى الصعيد الدولي، يُشير Araz وآخرون (2020) إلى أن أهمية إدارة المخاطر التشغيلية قد تضاعفت مع دخول عصر البيانات الضخمة، حيث أصبح بإمكان المنظمات استخلاص رؤى تنبؤية من كميات هائلة من البيانات التشغيلية، مما يُحوّل إدارة المخاطر من ممارسة تاريخية تنظر إلى الوراء إلى ممارسة استشرافية تستبقي الأحداث. ويكتسب هذا البُعد أهمية استثنائية في شبكات الكهرباء الذكية التي تُنتج كميات ضخمة من البيانات التشغيلية في الوقت الحقيقي عبر أجهزة الاستشعار والعدادات الذكية وأنظمة المراقبة.

ويؤكد Chowdhury وآخرون (2023) أن أهمية إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة تتجلى أيضاً في قدرتها على تعزيز الشفافية والتتبع في سلاسل العمليات من خلال تقنيات مبتكرة كتقنية سلسلة الكتل، مما يُتيح رصدًا دقيقاً لتدفق العمليات وتحديد نقاط الضعف بشكل آني. وتبرز هذه الأهمية في شبكات الكهرباء الذكية حيث تتعدد حلقات سلسلة الإمداد الكهربائي من التوليد إلى النقل والتوزيع، وأي خلل في إحدى هذه الحلقات ينعكس سلباً على كفاءة المنظومة ككل.

ويضيف Alvarez-Alvarado و Jayaweera (2020) أن أهمية إدارة المخاطر التشغيلية في قطاع الطاقة تحديداً تنبع من الارتباط المباشر بين تقييم المخاطر وموثوقية منظومة التوليد والنقل والتوزيع، حيث يُساهم التقييم الدقيق للمخاطر في تحسين استراتيجيات الصيانة وتقليل فترات التوقف غير المخطط لها وتعظيم العمر الافتراضي للمعدات، وهو ما ينعكس مباشرة على جودة الخدمة المقدمة للمستفيدين والتكاليف التشغيلية الإجمالية.

4.1.2 أهداف إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة

تسعى إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف المتكاملة التي تتراوح بين الأهداف الوقائية قصيرة المدى والأهداف الاستراتيجية بعيدة المدى، وتتباين هذه الأهداف من حيث نطاقها ومستوى تأثيرها تبعاً لطبيعة القطاع والسياق المؤسسي. وقد تناول الباحثون هذه الأهداف من زوايا متعددة يمكن استعراضها على النحو الآتي:

يرى عبدالماجد (2020) أن أهداف إدارة المخاطر التشغيلية تتمحور حول ثلاثة أهداف رئيسية: الهدف الأول هو بناء منظومة رقابية شاملة تُمكن المؤسسة من التعرف على كافة أنواع المخاطر التشغيلية وتصنيفها وفق مصفوفة واضحة تُحدّد مستوى كل خطر من حيث الاحتمالية والأثر. والهدف الثاني هو تطوير آليات قياس كمية ونوعية توفّر تقديرات موثوقة لحجم التعرّض للمخاطر التشغيلية، مما يسهم في ترشيد قرارات تخصيص الموارد الرقابية. والهدف الثالث هو ضمان الامتثال المستمر للمتطلبات التنظيمية والمعايير الدولية ذات الصلة بإدارة المخاطر.

ويُشير أحمد وآخرون (2023) إلى أن من أبرز أهداف إدارة المخاطر التشغيلية تحجيم الآثار السلبية للمخاطر من خلال تعزيز دور التدقيق الداخلي كخط دفاع ثالث يُوفّر تأكيداً مستقلاً بشأن فاعلية ضوابط المخاطر التشغيلية، فضلاً عن التمييز الدقيق بين المخاطر التشغيلية والمخاطر الاستثمارية لتجنّب التداخل في آليات المعالجة.

ويُضيف ضاحي وآخرون (2021) أن إدارة المخاطر التشغيلية تهدف إلى تحقيق الشفافية المعلوماتية من خلال أساليب محاسبية منفتحة تُتيح لأصحاب المصلحة الاطلاع على حقيقة التعرّض للمخاطر التشغيلية، مما يُعزّز مستوى المساءلة ويسهم في تحسين جودة القرارات المتخذة بشأن معالجة المخاطر.

ومن المنظور الدولي، يرى Munir وآخرون (2020) أن إدارة المخاطر التشغيلية تهدف إلى تحقيق التكامل بين مكونات سلسلة العمليات بما يضمن انسيابية التدفقات التشغيلية ويُقلّل من احتمالية

الانقطاعات، وهو ما يُترجم في سياق شبكات الكهرباء إلى هدف تحقيق التكامل بين منظومات التوليد والنقل والتوزيع لضمان استقرار الإمداد الكهربائي.

ويرى (Santorry (2024) أن إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة تهدف إلى تسخير الابتكارات التقنية في رفع كفاءة عمليات إدارة المخاطر ذاتها، بحيث تصبح عملية تحديد المخاطر وتقييمها والاستجابة لها أسرع وأدق وأقل تكلفة، مما يُحقق وفورات تشغيلية ويُعزز القدرة التنافسية للمنظمة.

ويُضيف Chowdhury وآخرون (2023) هدفاً استراتيجياً يتعلق بتعزيز مرونة المنظمة في مواجهة الصدمات التشغيلية غير المتوقعة، بحيث تمتلك المنظمة القدرة على استعادة عملياتها الطبيعية في أقصر وقت ممكن بعد وقوع أي حدث مخاطر، وهو ما يُعرف بمفهوم المرونة التشغيلية الذي يُعدّ من الأهداف المتقدمة لإدارة المخاطر في المنظمات الحديثة.

5.1.2 استراتيجيات إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة

تتطلب إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة تبني استراتيجيات متعددة المستويات تتكامل فيما بينها لتشكّل منظومة دفاعية شاملة ضد التهديدات التشغيلية. وتتراوح هذه الاستراتيجيات بين التجنّب والتخفيف والنقل والقبول المحسوب، وتُختار كل استراتيجية بناءً على طبيعة الخطر ومستوى حدّته والتكلفة المرتبطة بمعالجته. وفي سياق شبكات الكهرباء الذكية، تكتسب هذه الاستراتيجيات أبعاداً تقنية وهندسية تتداخل مع الأبعاد الإدارية والمالية التقليدية.

وتُمثّل استراتيجية التقييم المستمر والمنهجي للمخاطر الركيزة الأولى في البناء الاستراتيجي لإدارة المخاطر التشغيلية. وفي هذا الصدد، أوضح بوعبدالله وعلي (2022) أن بناء منظومة مؤشرات المخاطر الرئيسية يُعدّ استراتيجية محورية تُمكن المنظمة من الانتقال من نمط الاستجابة التفاعلية إلى نمط الإدارة الاستباقية، حيث تُوفّر هذه المؤشرات إشارات إنذار مبكر تُنبّه إلى تغيّرات في بيئة المخاطر التشغيلية قبل أن تتحول إلى أحداث خسارة فعلية.

وتأتي استراتيجية تعزيز خطوط الدفاع الداخلية كاستراتيجية ثانية ذات أهمية محورية. فقد أشار الفهداوي وشعبان (2023) إلى أن تفعيل لجان التدقيق بوصفها آلية رقابية عليا يُعدّ استراتيجية فعّالة في ضمان سلامة إجراءات إدارة المخاطر التشغيلية ومراقبة مدى التزام الإدارة التنفيذية بالسياسات والإجراءات المعتمدة. ويتكامل هذا المنظور مع ما أشار إليه بوعظمت وأخرون (2022) حول دور المراجعة الداخلية بوصفها استراتيجية رقابية تُسهم في الكشف عن مواطن الضعف في منظومة الضبط الداخلي ومعالجتها قبل أن تتفاقم.

وتُشكّل استراتيجية التحول الرقمي في إدارة المخاطر توجهاً استراتيجياً متنامياً يُعيد تشكيل ممارسات إدارة المخاطر التشغيلية. وفي هذا الإطار، أشار الدغبي والعيطان (2024) إلى أن الشمول المالي الرقمي قد أفرز تحديات جديدة في إدارة المخاطر التشغيلية تستلزم تبني استراتيجيات رقمية متقدمة لمواجهتها، مما يُبرز العلاقة الجدلية بين التحول الرقمي والمخاطر التشغيلية حيث يكون التحول الرقمي مصدراً للمخاطر وأداةً لإدارتها في الوقت ذاته.

ومن المنظور الدولي، يُشير Araz وآخرون (2020) إلى أن استراتيجية توظيف التحليلات المتقدمة والبيانات الضخمة تُمثّل تحولاً نوعياً في إدارة المخاطر التشغيلية، حيث تُتيح هذه الاستراتيجية اكتشاف أنماط المخاطر الخفية والعلاقات المعقدة بين متغيرات المخاطر المتعددة التي يصعب رصدها بالأساليب التقليدية.

ويُضيف Chowdhury وآخرون (2023) أن استراتيجية تبني التقنيات اللامركزية كتقنية سلسلة الكتل تُسهم في تعزيز الشفافية والتتبع في سلاسل العمليات، مما يُوفّر طبقة إضافية من الحماية ضد المخاطر التشغيلية الناجمة عن التلاعب أو القصور في تدفق المعلومات بين الأطراف المتعددة في سلسلة العمليات.

كما يُشير Munir وآخرون (2020) إلى استراتيجية التكامل في سلسلة الإمداد بوصفها أداة فعّالة لتخفيف المخاطر التشغيلية، حيث يُسهم التنسيق والتكامل بين مراحل العمليات المختلفة في تقليل نقاط الضعف وتعزيز قدرة المنظومة على امتصاص الصدمات التشغيلية.

6.1.2 أبعاد إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة

تم تحديد أبعاد إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة في هذه الدراسة بناءً على المراجعة المعمّقة للأدبيات العلمية ذات الصلة، ولا سيما دراسة Alvarez-Alvarado و Jayaweera (2020) التي تناولت تقييم المخاطر التشغيلية مع الصيانة الذكية لمولدات الطاقة، ودراسة Araz وآخرين (2020) التي استعرضت دور التحليلات المتقدمة في إدارة المخاطر التشغيلية، ودراسة Santorry (2024) التي قيّمت أثر الابتكارات التقنية على إدارة المخاطر التشغيلية في المؤسسات، فضلاً عن دراسة بوعبدالله وعلي (2022) حول مؤشرات المخاطر الرئيسية ودراسة بالقط وبن العرية (2024) حول توظيف الأنظمة الخبيرة في إدارة المخاطر التشغيلية. وقد أفضت هذه المراجعة إلى تحديد أربعة أبعاد رئيسة تُشكّل في مجملها الإطار التشغيلي المتكامل لإدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة في شبكات الكهرباء الذكية، وفيما يلي عرض تفصيلي لكل بُعد:

➤ البُعد الأول: أدوات تقييم المخاطر التشغيلية

يُمثّل هذا البُعد الأساس المنهجي الذي تنطلق منه منظومة إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة، إذ لا يمكن إدارة ما لا يمكن قياسه وتقييمه. وتتضمن أدوات تقييم المخاطر التشغيلية مجموعة متنوعة من الأساليب الكمية والنوعية التي تهدف إلى تحديد مصادر المخاطر وتقدير احتمالاتها وحساب آثارها المحتملة على العمليات التشغيلية. وفي سياق شبكات الكهرباء الذكية، تكتسب هذه الأدوات أبعاداً تقنية متخصصة تتعلق بتحليل موثوقية المكونات الكهربائية ونمذجة سيناريوهات الإخفاق وتقدير فترات التوقف المتوقعة.

وقد أوضح بوعبدالله وعلي (2022) أن مؤشرات المخاطر الرئيسية تُعدّ من أبرز أدوات التقييم الاستباقي للمخاطر التشغيلية، حيث تُوفّر مقاييس كمية ونوعية تُمكن من رصد التغيرات في بيئة المخاطر بشكل مستمر. وتتضمن هذه المؤشرات في سياق شبكات الكهرباء معدلات الأعطال ومتوسط زمن الإصلاح ومتوسط زمن بين الأعطال ومعدلات الحمل الزائد ومؤشرات جودة الجهد. ويتطلب بناء منظومة فعّالة

لمؤشرات المخاطر الرئيسية تحديداً دقيقاً لعتبات الإنذار ومستويات التصعيد وآليات الاستجابة المرتبطة بكل مستوى من مستويات الخطر.

وتتنوع أدوات التقييم بين الأساليب الكمية التي تعتمد على النمذجة الإحصائية والرياضية كتحليل القيمة المعرضة للخطر ومحاكاة مونت كارلو وتحليل شجرة الأعطال وتحليل أنماط وأثار الإخفاق، والأساليب النوعية التي تستند إلى الأحكام الخبيرة وتحليل السيناريوهات ومصفوفات المخاطر. وقد أشار محبوب وسنوسي (2020) إلى أهمية القياس الكمي للمخاطر التشغيلية من خلال تقنيات إحصائية متقدمة تُمكن من المقارنة بين المؤسسات وتقييم مستوى استقرارها التشغيلي، حيث تناولوا استخدام مؤشرات كمية متخصصة في قياس مستوى التعرض للمخاطر التشغيلية.

ويُعدّ التقييم الذاتي للمخاطر والرقابة أداة أخرى تتيح لوحدة العمل المختلفة تحديد مخاطرها التشغيلية وتقييم كفاية ضوابط الرقابة الداخلية بصورة دورية، وهو ما يتسق مع ما أشار إليه أحمد وآخرون (2023) حول أهمية التدقيق الداخلي في توفير تقييم مستقل لمدى فاعلية إجراءات إدارة المخاطر التشغيلية. وفي شبكات الكهرباء الذكية، يتخذ التقييم الذاتي أبعاداً تقنية تتعلق بفحص جاهزية الأنظمة الرقمية ومراجعة بروتوكولات الأمن السيبراني واختبار خطط الاستمرارية والتعافي.

● البعد الثاني: استراتيجيات الاستجابة للمخاطر

يتعلق هذا البعد بالكيفية التي تتعامل بها المنظمة مع المخاطر التشغيلية المحددة والمقيّمة، ويُشكّل الحلقة الوسطى في سلسلة إدارة المخاطر بين التقييم والمراقبة. وتتضمن استراتيجيات الاستجابة للمخاطر أربعة خيارات رئيسة تتمثل في تجنب الخطر بإلغاء النشاط المسبّب له، وتخفيف الخطر بتقليل احتمالية وقوعه أو حجم أثره أو كليهما، ونقل الخطر بتحويله إلى طرف ثالث كشركات التأمين أو المقاولين، وقبول الخطر عندما تكون تكلفة المعالجة أعلى من الخسارة المتوقعة. وفي سياق شبكات الكهرباء الذكية، يُعدّ التجنب الكامل للمخاطر خياراً غير واقعي في كثير من الحالات نظراً لطبيعة النشاط الحرجة، مما يجعل استراتيجيات التخفيف والنقل هي الخيارات الأكثر شيوعاً وتطبيقاً.

وقد تناول باقر وآخرون (2020) استراتيجيات الاستجابة للمخاطر في المشاريع الهندسية مُبرزين أهمية التكيف المرن مع طبيعة كل خطر بدلاً من تبني استراتيجيات استجابة موحدة، حيث يستلزم كل نوع من أنواع المخاطر التشغيلية أسلوب استجابة مختلفاً يتناسب مع خصائصه ومستوى خطورته وسياقه التنظيمي. ويتسق هذا المنظور مع طبيعة شبكات الكهرباء الذكية التي تتنوع فيها المخاطر التشغيلية بين مخاطر فنية ومخاطر سيبرانية ومخاطر بيئية ومخاطر بشرية، وكل نوع منها يتطلب استراتيجيات استجابة مصممة خصيصاً.

ويُبرز تجانية وآخرون (2023) أهمية استراتيجيات إدارة مخاطر التدفقات التشغيلية في ضمان استمرارية العمليات، حيث يتطلب الحفاظ على التوازن التشغيلي وضع خطط استجابة مرنة تأخذ بعين الاعتبار الطبيعة الديناميكية للتدفقات التشغيلية وتقلباتها. وفي سياق شبكات الكهرباء، يُترجم هذا إلى ضرورة وجود خطط استجابة لحالات الحمل الذروي وانقطاع مصادر التوليد وأعطال خطوط النقل والتوزيع تضمن استمرارية الإمداد الكهربائي.

ويُعدّ تصميم استراتيجيات الاستجابة في شبكات الكهرباء الذكية عملية معقدة تتطلب الموازنة بين عدة اعتبارات متناقضة أحياناً، منها التكلفة الاقتصادية للاستجابة مقابل حجم الخسارة المتوقعة، وسرعة الاستجابة مقابل دقة التشخيص، ومركزية القرار مقابل لامركزيته. وقد أدى التحول نحو الشبكات الذكية إلى توفير خيارات استجابة جديدة لم تكن متاحة في الشبكات التقليدية، كإعادة التوجيه التلقائي للأحمال والعزل الذكي للأعطال والتحكم الموزّع في الشبكة، مما يُثري مجموعة استراتيجيات الاستجابة المتاحة لمديري المخاطر.

● البُعد الثالث: تقنيات المراقبة الذكية والصيانة الوقائية

يُمثل هذا البُعد الذراع التقنية لمنظومة إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة، حيث تُوفّر تقنيات المراقبة الذكية والصيانة الوقائية البنية التحتية المعلوماتية اللازمة لرصد حالة الشبكة الكهربائية في الوقت الحقيقي واكتشاف المؤشرات المبكرة للأعطال قبل وقوعها. وتشمل تقنيات المراقبة الذكية منظومات الاستشعار عن بُعد وأجهزة القياس المتقدمة وأنظمة الإشراف والتحكم وجمع البيانات

المعروفة بأنظمة سكادا، فضلاً عن تقنيات التصوير الحراري ومراقبة الاهتزازات وتحليل الغازات المذابة في الزيوت العازلة للمحولات.

وقد تناول Alvarez-Alvarado و (2020) Jayaweera العلاقة بين تقييم المخاطر التشغيلية والصيانة الذكية لمولدات الطاقة من منظور يُدمج بين تحليل الموثوقية واستراتيجيات الصيانة، حيث يُسهم التقييم المستمر لحالة المعدات في تحديد التوقيت الأمثل لعمليات الصيانة بما يُقلل من تكاليف الصيانة الزائدة ومن مخاطر الأعطال المفاجئة في الوقت ذاته. ويُمثل هذا المنظور تحولاً نوعياً من الصيانة الدورية المبنية على جداول زمنية ثابتة إلى الصيانة المبنية على الحالة الفعلية للمعدات.

وتتضمن الصيانة الوقائية في شبكات الكهرباء الذكية عدة مستويات تبدأ بالصيانة الزمنية المجدولة وتمتد إلى الصيانة التنبؤية القائمة على تحليل بيانات أجهزة الاستشعار. وتتميز الصيانة التنبؤية بقدرتها على التنبؤ بالعمر المتبقي للمكونات الكهربائية وتحديد المكونات الأكثر عرضة للإخفاق، مما يُتيح تخصيص موارد الصيانة بكفاءة أعلى والحد من التوقفات غير المخطط لها. ويعتمد هذا النوع من الصيانة على تقنيات التعلم الآلي وتحليل السلاسل الزمنية ونماذج التدهور التي تُعالج البيانات المتدفقة من أجهزة الاستشعار المثبتة على المعدات الرئيسية في الشبكة.

ويُسهم التكامل بين تقنيات المراقبة الذكية والصيانة الوقائية في بناء ما يُعرف بمنظومة الوعي الظرفي للشبكة، وهي المنظومة التي تُوفّر للمشغلين صورة شاملة وآنية عن حالة جميع مكونات الشبكة الكهربائية، بما يُمكنهم من اتخاذ قرارات تشغيلية مستنيرة في الوقت المناسب. وتعتمد هذه المنظومة على دمج البيانات من مصادر متعددة تشمل العدادات الذكية ومحطات الطقس وأنظمة تحديد المواقع وسجلات الصيانة التاريخية، ومعالجتها وتحليلها وعرضها في لوحات تحكم تفاعلية تُسهّل عملية المراقبة واتخاذ القرار.

كما تُسهم تقنيات المراقبة الذكية في تحسين إدارة الأصول من خلال توفير بيانات دقيقة وشاملة عن حالة كل مكون في الشبكة ومستوى أدائه ومعدل تدهوره، مما يُمكن من وضع خطط استبدال وتجديد

مبنية على بيانات فعلية بدلاً من افتراضات نظرية. وينعكس ذلك إيجاباً على كفاءة تخصيص الموارد المالية وتعظيم العائد على الاستثمار في البنية التحتية للشبكة.

٢ البُعد الرابع: تكامل تقنيات إدارة المخاطر والذكاء الاصطناعي

يُمثل هذا البُعد القمة التطورية لإدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة، حيث يُوظف تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي والتعلم العميق في تعزيز قدرات التنبؤ بالمخاطر واكتشاف الأنماط الشاذة وأتمتة عمليات الاستجابة. وقد فرض التعقيد المتزايد لشبكات الكهرباء الذكية وتضاعف حجم البيانات التشغيلية المتولدة الحاجة إلى تجاوز القدرات التحليلية البشرية والاستعانة بأدوات ذكية قادرة على معالجة ملايين نقاط البيانات في زمن حقيقي واستخلاص رؤى قابلة للتنفيذ.

وقد أشار بالقط وبن العرية (2024) إلى أن توظيف الأنظمة الخبيرة في مجال التدقيق على المخاطر التشغيلية يُمثل نقلة نوعية في قدرة المنظمات على اكتشاف أنماط المخاطر المعقدة والعلاقات الخفية بين متغيرات المخاطر المتعددة، حيث تتمتع هذه الأنظمة بقدرة على محاكاة الخبرة البشرية في تحليل المواقف التشغيلية المعقدة واقتراح الاستجابات المناسبة بسرعة ودقة تفوقان القدرات البشرية التقليدية. ويستفيد هذا البُعد من هذا المنظور في تأصيل دور الذكاء الاصطناعي كُمكّن استراتيجي لإدارة المخاطر وليس مجرد أداة تقنية مساعدة.

ويُشير (Santorry 2024) إلى أن تكامل تقنيات إدارة المخاطر والذكاء الاصطناعي يُسهم في إعادة هندسة دورة إدارة المخاطر بأكملها، من خلال أتمتة عمليات جمع البيانات وتحليلها وتوليد التقارير، فضلاً عن تطوير نماذج تنبؤية قادرة على استشراف المخاطر المستقبلية بناءً على الأنماط التاريخية والمتغيرات البيئية الآنية. ويكتسب هذا التكامل أهمية خاصة في شبكات الكهرباء الذكية حيث تتقاطع مخاطر متعددة المصادر وتتفاعل فيما بينها بطرق غير خطية يصعب نمذجتها بالأساليب الإحصائية التقليدية.

وتتعدد تطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة المخاطر التشغيلية لشبكات الكهرباء الذكية لتشمل: التنبؤ بالأحمال الكهربائية باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية، واكتشاف الأعطال وتصنيفها وتحديد موقعها باستخدام خوارزميات التصنيف الذكية، وتحسين جداول الصيانة باستخدام خوارزميات

التحسين التطوري، وتحليل بيانات العدادات الذكية لاكتشاف الفاقد غير الفني، فضلاً عن اكتشاف التهديدات السيبرانية باستخدام أنظمة كشف التطفل المبنية على التعلم الآلي.

ويُعدّ مفهوم التوأم الرقمي من التطبيقات الواعدة للذكاء الاصطناعي في إدارة مخاطر شبكات الكهرباء الذكية، حيث يُتيح بناء نموذج رقمي مطابق للشبكة الفعلية يمكن من خلاله محاكاة سيناريوهات المخاطر المختلفة وتقييم آثارها واختبار خطط الاستجابة دون تعريض الشبكة الفعلية لأي مخاطر. ويُمكن هذا المفهوم من تحسين عملية صنع القرار في ظروف عدم اليقين وتدريب فرق التشغيل على التعامل مع السيناريوهات الطارئة.

ويتطلب التكامل الفعّال بين تقنيات إدارة المخاطر والذكاء الاصطناعي توفير عدة متطلبات أساسية تشمل: جودة البيانات التشغيلية وسلامة بنيتها التحتية الرقمية، وتوفير الكفاءات البشرية القادرة على تطوير نماذج الذكاء الاصطناعي وتشغيلها وتفسير مخرجاتها، فضلاً عن وجود إطار حوكمة واضح يُنظّم استخدام الذكاء الاصطناعي في عمليات صنع القرار المتعلق بالمخاطر ويضمن شفافية الخوارزميات وقابلية تفسيرها.

7.1.2 العلاقة التكاملية بين أبعاد إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة

لا تعمل الأبعاد الأربعة لإدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة بصورة منعزلة عن بعضها، وإنما تترابط ضمن منظومة تكاملية تتفاعل فيها مخرجات كل بُعد مع مدخلات الأبعاد الأخرى. فأدوات تقييم المخاطر التشغيلية تُوفّر الأساس المعلوماتي الذي تُبنى عليه استراتيجيات الاستجابة، واستراتيجيات الاستجابة تُحدّد متطلبات المراقبة الذكية والصيانة الوقائية، وتقنيات المراقبة الذكية تُغذي نماذج الذكاء الاصطناعي بالبيانات اللازمة لتحسين دقة التنبؤ بالمخاطر، بينما يُسهّم الذكاء الاصطناعي بدوره في تطوير أدوات تقييم أكثر تقدماً ودقة. وهذا التكامل الدائري يُنشئ حلقة تحسين مستمرة تُرتقي بأداء منظومة إدارة المخاطر التشغيلية بصورة تراكمية.

وفي سياق الشركة السعودية للكهرباء، يكتسب هذا التكامل أهمية مضاعفة نظراً لاتساع رقعة الشبكة الكهربائية وتنوع بيئاتها التشغيلية وتعدد مصادر المخاطر فيها، مما يستلزم منظومة إدارة مخاطر تشغيلية متقدمة ومتكاملة الأبعاد تُمكن من تحقيق أعلى مستويات الموثوقية والكفاءة في تقديم الخدمة الكهربائية.

8.1.2 النظريات والمداخل الفكرية المؤسّسة لإدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة

يستند مفهوم إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة إلى عدة أطر نظرية ومداخل فكرية أسهمت في تشكيل ملامحه الحالية. ويُعدّ مدخل خطوط الدفاع الثلاثة من أبرز الأطر التنظيمية التي تُبنى عليها ممارسات إدارة المخاطر التشغيلية، حيث يفترض هذا المدخل وجود ثلاث طبقات رقابية متكاملة: خط الدفاع الأول المتمثل في الإدارة التشغيلية المسؤولة عن تحديد المخاطر والسيطرة عليها يومياً، وخط الدفاع الثاني المتمثل في وظائف إدارة المخاطر والامتثال التي تُشرف على فاعلية الخط الأول، وخط الدفاع الثالث المتمثل في التدقيق الداخلي الذي يُوفّر تأكيداً مستقلاً بشأن كفاءة المنظومة الرقابية ككل. وقد تناول كل من الفهداوي وشعبان (2023) وأحمد وآخرين (2023) وبوعظّمات وآخرين (2022) جوانب مختلفة من هذا المدخل في سياقات تطبيقية متنوعة، مما يُؤكّد رسوخه في الفكر الإداري المعاصر.

كما يُسهم المدخل القائم على الموارد في تفسير العلاقة بين كفاءة إدارة المخاطر التشغيلية والأداء المؤسسي، حيث يفترض هذا المدخل أن امتلاك المنظمة لقدرات متقدمة في إدارة المخاطر يُشكّل مورداً استراتيجياً يصعب تقليده ويُسهم في تحقيق ميزة تنافسية مستدامة. وقد أشارت المعاينة والمخادمة (2023) إلى العلاقة بين إدارة المخاطر التشغيلية ودعم الميزة التنافسية، مما يُؤكّد أن إدارة المخاطر لا تقتصر على البُعد الدفاعي الوقائي وإنما تمتد لتشكّل مصدراً للتمييز المؤسسي.

ويُقدّم المدخل النظري إطاراً مفيداً لفهم التفاعلات المعقدة بين مكونات منظومة إدارة المخاطر التشغيلية، إذ ينظر إلى الشبكة الكهربائية الذكية بوصفها نظاماً معقداً تتفاعل فيه مكونات فيزيائية ورقمية وبشرية وتنظيمية، وأي خلل في أحد هذه المكونات قد يُفضي إلى تداعيات متسلسلة تمتد عبر

المنظومة بأكملها. ويُبرّر هذا المنظور النظري الحاجة إلى إدارة مخاطر تشغيلية شاملة ومتكاملة تأخذ بعين الاعتبار الترابطات والتبعيات بين مختلف مكونات الشبكة.

9.1.2 التحديات المعاصرة لإدارة المخاطر التشغيلية في شبكات الكهرباء الذكية

تواجه إدارة المخاطر التشغيلية في شبكات الكهرباء الذكية جملة من التحديات المعاصرة التي تزيد من تعقيد المهمة وتفرض الحاجة إلى مقاربات متقدمة ومبتكرة. ومن أبرز هذه التحديات التوسع في مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح، مما يُضيف عنصر عدم اليقين إلى معادلة التوازن بين العرض والطلب ويستلزم أدوات تنبؤ وإدارة مخاطر أكثر تطوراً. كذلك يُفرز التكامل بين الأنظمة الفيزيائية والرقمية في الشبكات الذكية تحديات تتعلق بالأمن السيبراني، حيث تتحوّل نقاط الاتصال الرقمية إلى منافذ محتملة للاختراق قد تُعرّض استقرار الشبكة بأكملها للخطر.

وقد أشار عزام وآخرون (2025) إلى أن التوسع في الخدمات الإلكترونية يُؤدّد أنماطاً جديدة من المخاطر التشغيلية لم تكن معروفة في البيئات التقليدية، مما يستلزم تطوير أُطر إدارة مخاطر مرنة وقابلة للتكيف مع المستجدات التقنية المتسارعة. كما يُشكّل تقادم أجزاء من البنية التحتية للشبكة الكهربائية تحدياً إضافياً، حيث يتعيّن على مديري المخاطر إدارة منظومة هجينة تجمع بين مكونات قديمة وأخرى حديثة، مع ما يترتب على ذلك من تعقيد في تقييم المخاطر والاستجابة لها.

ويُضيف العشيري والوكيل (2023) تحدي مستوى الإفصاح عن المخاطر التشغيلية، حيث تُواجه المنظمات صعوبة في تحقيق التوازن بين الشفافية المطلوبة من أصحاب المصلحة وحماية المعلومات الحساسة التي قد يُستغلّ الكشف عنها من قبل أطراف معادية، لا سيما المعلومات المتعلقة بنقاط الضعف في البنية التحتية الحرجة.

10.1.2 خلاصة المبحث الأول

تناول هذا المبحث المتغير المستقل للدراسة المتمثل في إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة من خلال التأصيل المفاهيمي الذي كشف عن تعدد المنظورات النظرية في تعريف هذا المفهوم وتطوره من

الإطار التقليدي الضيق إلى الإطار المتقدم الشامل. كما عُرضت أهمية هذا المتغير في السياقين المؤسسي والتشغيلي، وأهدافه المتراوحة بين الأهداف الوقائية والاستراتيجية، واستراتيجياته المتنوعة. وتم تفصيل أبعاده الأربعة المتمثلة في أدوات تقييم المخاطر التشغيلية، واستراتيجيات الاستجابة للمخاطر، وتقنيات المراقبة الذكية والصيانة الوقائية، وتكامل تقنيات إدارة المخاطر والذكاء الاصطناعي، مع إبراز العلاقات التكاملية بينها والأطر النظرية المؤسسية والتحديات المعاصرة. ويُيِّ هذا المبحث الأرضية النظرية الضرورية لاستيعاب العلاقة بين إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة والمتغير التابع المتمثل في الحد من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية في شبكات الكهرباء الذكية، وهو ما يتناوله المبحث الثاني.

المبحث الثاني: الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية في شبكات الكهرباء الذكية

1.2.2 تمهيد

يُشكّل الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية هاجساً مركزياً يشغل المؤسسات العاملة في قطاع الطاقة الكهربائية على المستويين الإقليمي والدولي، إذ ترتبط هذه المسألة ارتباطاً عضوياً بالاستدامة الاقتصادية للمنظمة وجودة الخدمة المقدمة للمستهلكين وبالأهداف البيئية الأوسع المتعلقة بترشيد استهلاك الموارد وخفض الانبعاثات. وتتمثّل الخسائر الفنية في الفرق بين الطاقة الكهربائية المولّدة أو المحقونة في الشبكة والطاقة المستلمة فعلياً من قِبل المستهلكين النهائيين، وهي خسائر حتمية ترتبط بالطبيعة الفيزيائية لمكونات الشبكة غير أن حجمها قابل للتقليل من خلال التصميم الأمثل والتشغيل الكفء والصيانة الفعّالة. وقد أضافت الشبكات الذكية أدوات وتقنيات غير مسبقة لرصد هذه الخسائر وتحليل مصادرها ومعالجتها بصورة منهجية، مما فتح آفاقاً جديدة لتحسين الكفاءة التشغيلية الشاملة لمنظومة الإمداد الكهربائي.

وتبرز أهمية هذا المتغير في سياق الشركة السعودية للكهرباء التي تُشغّل شبكة كهربائية واسعة النطاق تمتد عبر مساحات جغرافية شاسعة ذات ظروف مناخية قاسية تُسهم في تسريع تدهور المعدات وزيادة الخسائر الفنية، مما يجعل الحدّ من هذه الخسائر وتحسين الكفاءة التشغيلية أولوية استراتيجية تتقاطع مع أهداف رؤية المملكة العربية السعودية 2030 في تحقيق كفاءة الطاقة واستدامة قطاع الكهرباء.

ويتناول هذا المبحث المتغير التابع للدراسة الحالية من خلال خمسة محاور مترابطة، يُعالج المحور الأول مفهوم الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية من خلال عرض تعريفات الباحثين والمقاربات المتعددة، ثم ينتقل المحور الثاني إلى أهمية هذا المتغير في السياق المؤسسي والاقتصادي، فيما يتناول المحور الثالث الأهداف المنشودة، ويستعرض المحور الرابع الاستراتيجيات المعتمدة، ليختتم المبحث بالمحور الخامس الذي يتناول أبعاد المتغير التابع بالتفصيل والتحليل.

2.2.2 مفهوم الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية

حظي مفهوم الكفاءة التشغيلية والحدّ من الخسائر الفنية باهتمام أكاديمي متزايد، وتباينت تعريفاته تبعاً للتخصص العلمي الذي ينطلق منه الباحث وطبيعة القطاع المستهدف بالدراسة. ويعود هذا التباين إلى أن المفهوم ذاته ينطوي على شقين متلازمين لكنهما متمايزين منهجياً: الشقّ الأول يتعلق بالحدّ من الخسائر الفنية بوصفه عملية تقنية-إدارية تستهدف تقليص الفاقد في الطاقة، والشقّ الثاني يتعلق بتحسين الكفاءة التشغيلية بوصفه مفهوماً إدارياً أشمل يتجاوز الخسائر الفنية ليטال الأداء الكلي للمنظومة التشغيلية.

وفي هذا الإطار، تناول Parvizi وآخرون (2025) مفهوم الخسائر الفنية في شبكات الطاقة بوصفها الطاقة الكهربائية المفقودة بصورة حتمية أثناء عمليات النقل والتوزيع نتيجة الخصائص الفيزيائية لمكونات الشبكة، وتشمل خسائر المقاومة في الموصلات وخسائر القلب الحديدي في المحولات وخسائر العزل الكهربائي وخسائر التيارات الدوامية وخسائر التأثير الإكليلي في خطوط النقل عالية الجهد. ويبرز هذا التعريف الطبيعة الفيزيائية الحتمية للخسائر الفنية مع التأكيد على إمكانية تقليصها إلى الحدود الدنيا المقبولة من خلال آليات التخفيف والتصميم الأمثل، وليس إلغاءها كلياً.

ومن منظور إداري أوسع، أشارت عبدالنبي وابن نامي (2024) إلى أن الكفاءة التشغيلية تُعرّف بوصفها قدرة المنظمة على تحقيق مخرجاتها المستهدفة بأقل قدر ممكن من المدخلات والموارد، بحيث يتحقق التوازن الأمثل بين جودة المخرجات وتكلفة تحقيقها. ويوسع هذا التعريف نطاق المفهوم ليتجاوز البعد التقني المحض ويشمل أبعاداً تنظيمية وإدارية ومالية تتعلق بكفاءة تخصيص الموارد وفاعلية العمليات الإدارية الداعمة للعمليات التشغيلية الأساسية.

وتناول Leach وآخرون (2020) مفهوم الكفاءة التشغيلية من زاوية تحسين أداء المنظومات التقنية وتقليل هدر الطاقة، حيث ربطوا بين الكفاءة التشغيلية والأثر البيئي الناجم عن الفاقد في الطاقة، مما يضيف بُعداً بيئياً واستدامياً للمفهوم يتجاوز البعد الاقتصادي المباشر. ويُلقي هذا المنظور الضوء على

العلاقة الوثيقة بين الكفاءة التشغيلية وأهداف التنمية المستدامة، حيث يترتب على كل وحدة طاقة مفقودة في الشبكة تكلفة بيئية تُضاف إلى التكلفة الاقتصادية.

ومن زاوية تقنية متخصصة في شبكات الكهرباء الذكية، أوضح Alymov و (2024) Averbukh أن مراقبة تدفقات الطاقة للتحكم الكفاء في الكهرباء تستلزم فهماً دقيقاً لمفهوم الكفاءة التشغيلية بوصفها القدرة على إدارة تدفقات الطاقة عبر الشبكة بأقل قدر من الفاقد وأعلى مستوى من الموثوقية، مع الأخذ بعين الاعتبار التغيرات اللحظية في أنماط الحمل ومصادر التوليد. ويُبرز هذا التعريف البُعد الديناميكي للكفاءة التشغيلية في الشبكات الذكية، حيث لا تُقاس الكفاءة بنقطة زمنية واحدة وإنما عبر مسار زمني متصل يتغير فيه أداء الشبكة تبعاً لتقلبات العرض والطلب.

وفي سياق مكمل، تناول Li وآخرون (2023) مفهوم الإدارة الرشيدة لفاقد الخطوط في شبكات الكهرباء من منظور التقييم الشامل المبني على البيانات الضخمة، حيث عرّفوا الكفاءة التشغيلية بوصفها المحصلة التراكمية لجهود تقليل فاقد الخطوط عبر جميع مراحل سلسلة الإمداد الكهربائي من التوليد إلى الاستهلاك النهائي، مع التأكيد على أن تحقيق هذه الكفاءة يستلزم مقاربة شمولية تتجاوز المعالجات الجزئية لتطال المنظومة بأكملها.

كما أشار تركمان وآخرون (2023) إلى أن تحسين الكفاءة يرتبط ارتباطاً وثيقاً بممارسات تنمية الموارد البشرية ورفع كفاءة العاملين، إذ لا يمكن تحقيق كفاءة تشغيلية حقيقية دون امتلاك كوادر بشرية مؤهلة وقادرة على تشغيل الأنظمة التقنية المتقدمة والتعامل مع الحالات الطارئة بكفاءة. ويُثري هذا المنظور المفهوم بإضافة البُعد البشري الذي كثيراً ما يُغفل في التعريفات ذات الطابع التقني البحت.

وأوضح Kheirkhah وآخرون (2023) أن تحسين المرونة التشغيلية في شبكات التوزيع يرتبط مفهوماً بالقدرة على تقليل المخاطر الكمية من خلال توظيف تقنيات الشبكة الذكية، حيث تتلائم الكفاءة التشغيلية مع المرونة في مواجهة الاضطرابات بوصفهما وجهين لعملة واحدة تستهدف ضمان جودة الخدمة واستمراريتها.

أما حسين وإبراهيم (2023) فقد تناولتا مفهوم تحسين الكفاءة من زاوية دور الذكاء الاصطناعي في اختزال العمليات وتحسين جودتها، حيث يُسهم الذكاء الاصطناعي في إعادة تصميم العمليات التشغيلية بصورة تُقلّل من الهدر وتُعظّم الاستفادة من الموارد المتاحة، وهو ما ينطبق على سياق شبكات الكهرباء الذكية حيث يُوظّف الذكاء الاصطناعي في تحسين إدارة الأحمال وتقليل الفاقد الفني وأتمتة عمليات التشغيل والصيانة.

ويرى الباحث بناءً على استعراض التعريفات السابقة أن مفهوم الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية في شبكات الكهرباء الذكية يمكن تعريفه إجرائياً بوصفه: "القدرة المؤسسية والتقنية المتكاملة على تقليص الفاقد الفني في مراحل نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية إلى أدنى حدوده الممكنة اقتصادياً وفنياً، وتحسين الأداء الكلي لمنظومة التشغيل من حيث الموثوقية والمرونة والاستدامة، من خلال التوظيف الأمثل للموارد المادية والبشرية والتقنية المتاحة بما يُحقّق التوازن بين جودة الخدمة الكهربائية وكفاءة التكلفة التشغيلية". ويجمع هذا التعريف بين الشقّين التقني والإداري للمفهوم، ويُراعي خصوصية بيئة شبكات الكهرباء الذكية وتحدياتها الفريدة في سياق الشركة السعودية للكهرباء.

3.2.2 أهمية الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية

تنبثق أهمية الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية في شبكات الكهرباء الذكية من تقاطع اعتبارات اقتصادية وتقنية وبيئية واجتماعية تُشكّل في مجملها حافزاً قوياً يدفع المنظمات العاملة في قطاع الطاقة إلى إيلاء هذا المتغير أولوية قصوى في خططها الاستراتيجية والتشغيلية. وتتعاظم هذه الأهمية في ظل التحولات الجارية في أسواق الطاقة العالمية والتوجه نحو اقتصاد الكربون المنخفض وتزايد توقعات المستفيدين بشأن جودة الخدمة الكهربائية وموثوقيتها.

ويُشير Parvizi وآخرون (2025) إلى أن أهمية الحدّ من الخسائر الفنية تتجلى في عدة أبعاد مترابطة: أولاً، البُعد الاقتصادي المتمثل في أن كل نقطة مئوية يتم تقليصها من الخسائر الفنية تُترجم مباشرة إلى وفورات مالية كبيرة على مستوى المنظمة، لا سيما في الشبكات الكبيرة التي تتعامل مع كميات ضخمة من الطاقة حيث تبلغ قيمة الفاقد أرقاماً مالية بالغة الضخامة. ثانياً، البُعد البيئي المتمثل في أن

تقليل الخسائر الفنية يعني تقليل كمية الطاقة المطلوب توليدها لتلبية الطلب ذاته، مما يسهم في خفض الانبعاثات الكربونية واستهلاك الوقود الأحفوري. ثالثاً، البُعد الفني المتمثل في أن الخسائر المرتفعة تُؤثر على وجود مشكلات هيكلية في تصميم الشبكة أو تشغيلها تستلزم معالجة جذرية. رابعاً، البُعد التنظيمي المتمثل في أن الجهات المنظّمة لقطاع الطاقة تضع عادةً حدوداً مرجعية للخسائر المقبولة وتُحاسب الشركات المشغلة على تجاوزها.

ويرى Leach وآخرون (2020) أن أهمية تحسين الكفاءة التشغيلية تتعرّز في ضوء الضغوط المتزايدة لتقليل الأثر البيئي لمنظومات الطاقة، حيث يُمثّل رفع الكفاءة التشغيلية المسار الأقل تكلفة لتحقيق أهداف خفض الانبعاثات مقارنة بالاستثمار في مصادر توليد جديدة، مما يُكسب تحسين الكفاءة أهمية مضاعفة في السياسات الطاقوية المعاصرة.

ويُضيف Alymov و Averbukh (2024) أن أهمية الرقابة الكفؤة على تدفقات الطاقة في الشبكات منخفضة الجهد تتأتى من كون هذه الشبكات تُمثّل الحلقة الأخيرة في سلسلة الإمداد الكهربائي والأكثر عرضة للخسائر الفنية بسبب طول خطوطها وتشعّبها وتنوّع أحمالها، مما يجعل تحسين كفاءتها ذا أثر مباشر ومحسوس على جودة الخدمة المقدمة للمستهلك النهائي.

ويرى الدردور (2023) أن أهمية تحسين الكفاءة التشغيلية ترتبط بعلاقة وثيقة بكفاءة الرقابة الداخلية وأثرها على الأداء المالي للمنظمة، حيث تُسهم الرقابة الداخلية الفعّالة في اكتشاف مواطن الهدر والقصور في العمليات التشغيلية ومعالجتها، مما يُفضي إلى تحسين المؤشرات المالية وتعزيز الاستدامة الاقتصادية للمنظمة. ويكتسب هذا البُعد المالي أهمية خاصة في ظل التحولات الجارية في قطاع الكهرباء السعودي نحو نماذج تشغيلية أكثر استقلالية وتنافسية.

ويؤكد عبدالحكيم (2023) أن أهمية تحسين الكفاءة التشغيلية تمتد إلى البُعد البشري، حيث يسهم الاستثمار في تدريب العاملين ورفع كفاءاتهم في تحسين الأداء التشغيلي بصورة مباشرة، إذ تُعدّ الكفاءة البشرية مكوناً جوهرياً لا يمكن تعويضه بالكامل بالحلول التقنية. وتبرز هذه الأهمية في قطاع

الكهرباء حيث تتطلب عمليات التشغيل والصيانة مهارات تخصصية عالية يتوقف عليها أداء المنظومة بأكملها.

ويُشير Li وآخرون (2023) إلى أن أهمية الإدارة الرشيدة لفاقد الخطوط تتعاظم مع التوسع في استخدام تحليلات البيانات الضخمة التي تُتيح رؤية أكثر دقة وشمولاً لمصادر الخسائر وآليات تقليصها، مما يرفع سقف التوقعات بشأن مستويات الكفاءة الممكن تحقيقها ويُحفّز المنظمات على تبني مقاربات أكثر طموحاً في تقليل الفاقد.

كما يُبرز Kheirkhah وآخرون (2023) أن أهمية تحسين الكفاءة التشغيلية في شبكات التوزيع تتأتى من كونها شرطاً أساسياً لتحقيق المرونة التشغيلية المطلوبة لمواجهة التحديات المتصاعدة كالأحمال غير المتوقعة والظواهر المناخية الحادة وتزايد مصادر التوليد الموزّع، حيث لا يمكن بناء شبكة مرنة على أساس تشغيلي غير كفء.

4.2.2 أهداف الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية

تتعدد الأهداف التي يسعى إليها الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية في شبكات الكهرباء الذكية، وتتراتب هذه الأهداف بين أهداف تشغيلية مباشرة وأهداف استراتيجية بعيدة المدى، وقد تناولها الباحثون من زوايا متنوعة تعكس تعدد الأبعاد التي ينطوي عليها هذا المتغير.

يرى Parvizi وآخرون (2025) أن أهداف تقليل الخسائر الفنية تتمحور حول ثلاثة أهداف محورية: الهدف الأول هو تقليص الفجوة بين الطاقة المحقونة في الشبكة والطاقة المسلّمة للمستفيدين إلى أدنى مستوى ممكن اقتصادياً وفنياً، مع الأخذ بعين الاعتبار أن الإلغاء الكامل للخسائر مستحيل فيزيائياً وأن لكل شبكة مستوى أمثل من الخسائر يتحقق عنده التوازن بين تكلفة التقليل والعائد المتحقق منه. والهدف الثاني هو تحديد المكونات الأكثر مساهمة في الخسائر الفنية ومعالجتها بصورة مستهدفة تُحقّق أعلى عائد على الاستثمار في مشاريع تقليل الفاقد. والهدف الثالث هو تطوير منهجيات قياس ومراقبة

مستمرة لمستويات الخسائر الفنية تُتيح تقييم فاعلية إجراءات التقليل واتخاذ إجراءات تصحيحية في الوقت المناسب.

ويُشير Alymov و (2024) Averbukh إلى أن تحسين الكفاءة التشغيلية يهدف إلى تحقيق الرقابة الكاملة على تدفقات الطاقة في الشبكة بما يضمن توصيل الطاقة بالكمية والجودة المطلوبتين إلى كل نقطة استهلاك، مع تقليل الفواقد الناتجة عن عدم التوازن بين العرض والطلب أو عن القصور في إدارة الأحمال. ويرى الدردور (2023) أن تحسين الكفاءة التشغيلية يهدف إلى تعزيز الأداء المالي للمنظمة من خلال تقليل تكاليف التشغيل الناجمة عن الهدر والقصور في العمليات، وتحسين معدلات العائد على الأصول المستثمرة في البنية التحتية للشبكة، وتعظيم الإيرادات المتحققة من الطاقة المباعة فعلياً للمستفيدين.

ويُضيف تركمان وآخرون (2023) هدفاً يتعلق بالبُعد البشري يتمثل في رفع كفاءة العاملين في تشغيل المنظومة الكهربائية وصيانتها، بحيث يمتلك الفريق البشري المعرفة والمهارات اللازمة لتحقيق الأداء التشغيلي الأمثل والتعامل بفاعلية مع المواقف الطارئة.

ويرى عبدالنبي وابن نامي (2024) أن تحسين الكفاءة التشغيلية يهدف إلى تحقيق المواءمة بين التخطيط الاستراتيجي والأداء التشغيلي الفعلي، بحيث تُترجم الأهداف الاستراتيجية للمنظمة إلى مستهدفات تشغيلية قابلة للقياس والمتابعة، مما يُعزّز جودة الأداء المؤسسي الشامل.

ويُشير Shoqirat وآخرون (2025) إلى أن تحسين الكفاءة التشغيلية يهدف إلى التحكم المتقدم في انقطاعات الطاقة غير المخطط لها وتقليل آثارها على المستفيدين، من خلال تطوير أنظمة تنبؤية قادرة على استشراف الانقطاعات في المحطات غير المراقبة واتخاذ إجراءات وقائية استباقية.

ويرى Kheirkhah وآخرون (2023) أن تحسين الكفاءة التشغيلية يهدف إلى بناء شبكة توزيع تتمتع بالمرونة الكافية لاستيعاب المتغيرات التشغيلية المتسارعة كزيادة مصادر التوليد الموزّع ودخول السيارات الكهربائية وتغيّر أنماط الاستهلاك، دون المساس بجودة الخدمة أو استقرار الشبكة.

5.2.2 استراتيجيات الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية

تتطلب عملية الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية في شبكات الكهرباء الذكية تبني حزمة متكاملة من الاستراتيجيات التي تندرج من المعالجات الهندسية المباشرة إلى المقاربات الإدارية والتقنية الشاملة. ويفرض تنوع مصادر الخسائر الفنية واختلاف طبيعتها ضرورة المزج بين استراتيجيات متعددة تتكامل فيما بينها لتحقيق النتائج المرجوة.

وتمثل استراتيجية التحسين الهندسي لمكونات الشبكة إحدى الاستراتيجيات الأساسية في تقليل الخسائر الفنية. وقد أوضح Parvizi وآخرون (2025) أن هذه الاستراتيجية تتضمن استبدال الموصلات ذات المقاومة العالية بموصلات منخفضة المقاومة، واستخدام محولات عالية الكفاءة ذات خسائر قلب حديدي منخفضة، وإعادة تهيئة الشبكة لتقصير مسارات التغذية وتوزيع الأحمال بشكل متوازن، فضلاً عن تحسين معامل القدرة من خلال أجهزة التعويض المناسبة. وتعدّ هذه الاستراتيجية ذات طابع رأسمالي يتطلب استثمارات كبيرة لكنها تُحقّق عوائد طويلة الأجل من خلال التقليل المستمر للفاقد.

وتأتي استراتيجية المراقبة الآنية وإدارة الأحمال الذكية كاستراتيجية ثانية تعتمد على تقنيات الشبكة الذكية في تحقيق تحسينات تشغيلية دون الحاجة بالضرورة إلى استثمارات رأسمالية ضخمة. وقد أشار Alymov و Averbukh (2024) إلى أن مراقبة تدفقات الطاقة في الوقت الحقيقي تُتيح تحسين توزيع الأحمال بين مغذيات الشبكة وتقليل حالات التحميل الزائد التي تُسهم في زيادة الخسائر الفنية، فضلاً عن تحسين مستويات الجهد عبر نقاط الشبكة المختلفة.

وتُشكل استراتيجية التقييم الشامل المبني على البيانات الضخمة مقاربة متقدمة لإدارة الفاقد في شبكات الكهرباء. وقد تناول Li وآخرون (2023) هذه الاستراتيجية من منظور تطبيق نماذج تقييم شاملة تستند إلى تحليل البيانات الضخمة لتحديد المناطق والمكونات الأكثر مساهمة في الفاقد وترتيبها وفق أولويات المعالجة، مما يُرشّد عملية تخصيص الموارد ويُعظّم العائد على الاستثمار في مشاريع تقليل الخسائر.

كما تُمثّل استراتيجية تطوير الكفاءات البشرية ركيزة لا غنى عنها في تحسين الكفاءة التشغيلية. وقد أشار عبدالحكيم (2023) إلى أن التدريب المنهجي والمستمر للكوادر البشرية يُعدّ استراتيجية جوهرية في تحسين كفاءة المورد البشري، حيث تنعكس الكفاءة الفردية للعاملين على الأداء التشغيلي الجماعي للمنظمة. وفي سياق شبكات الكهرباء الذكية، يكتسب التدريب أهمية مضاعفة نظراً للتطور المتسارع في التقنيات المستخدمة والحاجة المستمرة لتحديث مهارات العاملين.

ويُضيف Shoqirat وآخرون (202) (5) استراتيجية التحكم المتقدم والتنبؤي بوصفها أداة فعالة في تحسين الكفاءة التشغيلية، حيث تُتيح أنظمة التحكم التنبؤي توقّع الانقطاعات في المحطات غير المراقبة واتخاذ إجراءات استباقية تُقلّل من مدة الانقطاعات وآثارها على المستخدمين. وتعتمد هذه الاستراتيجية على خوارزميات التنبؤ المتقدمة التي تُحلّل البيانات التاريخية والظروف الآنية لاستشراف الأحداث التشغيلية غير المرغوبة.

ويُبرز Munir وآخرون (2020) استراتيجية التكامل بين مراحل سلسلة العمليات بوصفها ممكناً جوهرياً لتحسين الكفاءة التشغيلية الشاملة، حيث يُسهّم التنسيق بين مراحل التوليد والنقل والتوزيع في تقليل حالات عدم التوازن وتحسين انسيابية تدفقات الطاقة عبر المنظومة بأكملها.

6.2.2 أبعاد الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية

تم تحديد أبعاد المتغير التابع في هذه الدراسة بناءً على المراجعة المنهجية المعمّقة للأدبيات العلمية ذات الصلة، ولا سيما دراسة Parvizi وآخرين (2025) التي قدّمت إطاراً شاملاً لآليات الخسائر الفنية واستراتيجيات تخفيفها وتوجهاتها المستقبلية في شبكات الطاقة، ودراسة Alymov و Averbukh (2024) التي تناولت مراقبة تدفقات الطاقة للتحكم الكفاء في شبكات الكهرباء الذكية منخفضة الجهد، ودراسة Li وآخرين (2023) التي استعرضت التقييم الشامل لفاقد الخطوط المبني على البيانات الضخمة، ودراسة Kheirkhah وآخرين (2023) التي تناولت تحسين المرونة التشغيلية في شبكات التوزيع من خلال تحليل المخاطر وتقنيات الشبكة الذكية، فضلاً عن دراسة Shoqirat وآخرين (2025) حول التحكم المتقدم

والتنبؤ في انقطاعات الطاقة. وقد أسفرت هذه المراجعة عن تحديد أربعة أبعاد رئيسة تُشكّل الإطار التحليلي للمتغير التابع، وفيما يلي عرض مستفيض لكل بُعد:

● البُعد الأول: تقليل الفاقد الفني في الشبكة

يُمثل تقليل الفاقد الفني في الشبكة البُعد الأكثر مباشرة والأوضح قياساً من بين أبعاد المتغير التابع، إذ يرتبط بمقادير كمية محددة يمكن رصدها وتتبعها عبر الزمن. ويُقصد بالفاقد الفني في الشبكة الكهربائية تلك الطاقة التي تُستنفد في مكونات الشبكة أثناء عمليات النقل والتحويل والتوزيع نتيجة الظواهر الفيزيائية الحتمية كتأثير جول في الموصلات وخسائر الهسترة والتيارات الدوامية في قلوب المحولات والمفاعلات، فضلاً عن خسائر التأثير الإكليلي والتسرب في العوازل. وتباين نسبة الفاقد الفني بين الشبكات الكهربائية تبعاً لعوامل عديدة تشمل مستوى الجهد وطول خطوط النقل والتوزيع ونوعية الموصلات المستخدمة وكفاءة المحولات وتوزيع الأحمال جغرافياً ومعامل القدرة ومستوى التحميل.

وقد أوضح Parvizi وآخرون (2025) أن الخسائر الفنية في شبكات الطاقة تتوزع بين مكونات الشبكة المختلفة بنسب متفاوتة، حيث تُسهم خطوط التوزيع بالنسبة الأكبر من إجمالي الفاقد نظراً لطولها وتشعبها وتدني مستوى الجهد فيها مقارنة بخطوط النقل، فيما تُسهم محولات التوزيع بنسبة معتبرة خاصة خسائر اللاحمل التي تتحقق على مدار الساعة بصرف النظر عن مستوى الحمل. كما تتضمن آليات الخسائر الفنية خسائر الموصلات التي تتناسب طردياً مع مربع التيار المار فيها، وخسائر المحولات التي تنقسم إلى خسائر نحاسية تعتمد على الحمل وخسائر حديدية ثابتة، وخسائر العزل التي تتزايد مع تقادم المكونات وتدهور خصائصها العازلة.

ويتطلب تقليل الفاقد الفني في الشبكة مقاربة منهجية تبدأ بالقياس الدقيق لمستويات الفاقد في كل جزء من أجزاء الشبكة وتحديد المكونات الأكثر مساهمة في الفاقد الإجمالي، ثم تحليل الأسباب الجذرية لارتفاع الفاقد في تلك المكونات، وصولاً إلى وضع خطط معالجة مستهدفة تراعي الأولويات الاقتصادية والفنية. وقد أشار Li وآخرون (2023) إلى أن تطبيق نماذج التقييم الشامل المبنية على البيانات الضخمة

يُمكن من تحقيق هذه المقاربة بدقة وكفاءة غير مسبوقتين، حيث تُتيح تحليلات البيانات الضخمة ربط بيانات الفاقد ببيانات تشغيلية وبيئية ومناخية متعددة المصادر لبناء نماذج تفسيرية وتنبؤية شاملة.

وتتعدد مؤشرات قياس الفاقد الفني في الشبكة لتشمل نسبة الفاقد الإجمالية ومعدل الفاقد لكل كيلومتر من خطوط الشبكة ومعدل الفاقد لكل وحدة طاقة منقولة وتوزيع الفاقد بين مراحل النقل والتوزيع، فضلاً عن مقارنة الفاقد الفعلي بالفاقد المعياري المحسوب نظرياً لتحديد الفجوة القابلة للتقليص. ويُسهّم التحول نحو الشبكات الذكية في تحسين دقة قياس الفاقد من خلال العدادات الذكية وأجهزة الاستشعار المنتشرة عبر الشبكة التي تُوفّر بيانات قياس آنية ومفصلة لم تكن متاحة في الشبكات التقليدية.

● البُعد الثاني: تحسين كفاءة الشبكة الكهربائية

يتجاوز هذا البُعد مسألة الفاقد الفني ليشمل الأداء التشغيلي الكلي للشبكة الكهربائية من حيث قدرتها على تلبية الطلب بالكمية والجودة المطلوبتين وبالتكلفة المثلى. ويتضمن مفهوم كفاءة الشبكة الكهربائية عدة جوانب تقنية وتشغيلية تتكامل فيما بينها لتُحدّد المستوى العام لأداء الشبكة، وتشمل كفاءة نقل الطاقة وكفاءة التحويل وكفاءة التوزيع وكفاءة إدارة الأحمال وكفاءة التحكم في جودة الطاقة.

وقد أشار Alymov و Averbukh (2024) إلى أن تحسين كفاءة الشبكة الكهربائية يستلزم مراقبة شاملة ومستمرة لتدفقات الطاقة عبر جميع نقاط الشبكة، بحيث يُمكن تحديد نقاط الاختناق ومعالجتها وتحسين توزيع الأحمال بين المغذيات المختلفة وتنظيم مستويات الجهد ضمن الحدود المعيارية المقبولة. ويتطلب ذلك بنية تحتية رقمية متقدمة تشمل أنظمة إدارة الطاقة ونظم إدارة التوزيع ومنصات تحليل البيانات التشغيلية.

ويرتبط تحسين كفاءة الشبكة الكهربائية ارتباطاً وثيقاً بمفهوم جودة الطاقة الذي يشمل مؤشرات الجهد والتردد والتوافقيات ومعامل القدرة والموثوقية. وتُعدّ هذه المؤشرات مقاييس مباشرة

لكفاءة الشبكة في تقديم خدمة كهربائية تُلبّي المواصفات الفنية المطلوبة، وأي انحراف عن الحدود المعيارية يُشير إلى قصور في الكفاءة التشغيلية يستلزم معالجة.

وقد أوضحت عبد النبي وابن نامي (2024) أن كفاءة الأداء المؤسسي تتطلب مواءمة بين التخطيط الاستراتيجي والعمليات التشغيلية اليومية، بحيث تُوجّه الجهود التشغيلية نحو تحقيق الأهداف الاستراتيجية المحددة. وفي سياق شبكات الكهرباء، يعني ذلك أن تحسين كفاءة الشبكة لا يقتصر على الإجراءات التقنية الميدانية وإنما يشمل التخطيط المهني لبرامج التحسين وتخصيص الموارد اللازمة ومتابعة التنفيذ وتقييم النتائج ضمن دورة تحسين مستمر.

كما يُسهم تحسين كفاءة الشبكة في تأخير الحاجة إلى الاستثمار في توسعة البنية التحتية، إذ يُمكن للتحسينات في كفاءة الشبكة القائمة أن تُوفّر طاقة إضافية تُعادل ما يُوفّره بناء مرافق توليد ونقل جديدة، وهو ما يُعرف بمفهوم "واط الكفاءة" بوصفه بديلاً اقتصادياً عن "واط التوليد". وتبرز أهمية هذا المنظور في سياق الشركة السعودية للكهرباء التي تواجه نمواً مضطرباً في الطلب على الطاقة يستلزم استثمارات ضخمة في التوسعة يمكن ترشيدها جزئياً من خلال رفع كفاءة الشبكة القائمة.

🕒 البُعد الثالث: تقليل الأعطال التشغيلية

يُعالج هذا البُعد أحد أكثر التحديات التشغيلية حدّة في شبكات الكهرباء الذكية، إذ تُشكّل الأعطال التشغيلية المصدر الرئيس لانقطاعات الخدمة الكهربائية التي تترتب عليها خسائر اقتصادية واجتماعية كبيرة. ويُقصد بالأعطال التشغيلية تلك الإخفاقات غير المخطط لها في مكونات الشبكة أو أنظمتها التي تؤدي إلى توقف جزئي أو كلي في تقديم الخدمة الكهربائية، وتتراوح في حدّتها بين أعطال موضعية تؤثر على عدد محدود من المستفيدين وأعطال واسعة النطاق قد تُعطل الخدمة عن مناطق جغرافية كبيرة.

وقد تناول Shoqirat وآخرون (2025) مسألة انقطاعات الطاقة غير المخطط لها في المحطات غير المراقبة من منظور التحكم المتقدم والتنبؤي، حيث أبرزوا أن تقليل هذه الانقطاعات يتطلب تطوير نماذج تنبؤية قادرة على استشعار الأعطال قبل وقوعها بوقت كافٍ لاتخاذ إجراءات وقائية. ويكتسب هذا المنظور

التنبؤي أهمية خاصة في الشبكات الكهربائية الممتدة على مساحات جغرافية واسعة كشبكة الشركة السعودية للكهرباء، حيث تتعدد المحطات البعيدة التي يصعب مراقبتها بالوسائل التقليدية.

وتتعدد أسباب الأعطال التشغيلية في شبكات الكهرباء لتشمل عوامل داخلية كتقادم المعدات وإخفاق العزل الكهربائي والتحميل الزائد وأخطاء التشغيل البشرية، وعوامل خارجية كالعواصف الرملية والحرارة المرتفعة والصواعق والتداخلات مع أعمال الحفر والإنشاء. وفي بيئة المملكة العربية السعودية، تُشكل الظروف المناخية القاسية تحدياً خاصاً يُسرّع من تدهور مكونات الشبكة ويزيد من احتمالية الأعطال، لا سيما في أشهر الصيف التي يتزامن فيها ارتفاع درجات الحرارة مع ذروة الطلب على الكهرباء.

وقد أوضح Alvarez-Alvarado و Jayaweera (2020) أن تقليل الأعطال التشغيلية يرتبط ارتباطاً مباشراً بجودة استراتيجيات الصيانة المتبعة، حيث تُسهم الصيانة الذكية المبنية على تقييم حالة المعدات في تحديد المكونات الأكثر عرضة للإخفاق واستبدالها أو إصلاحها قبل أن تتسبب في أعطال فعلية. ويتجاوز هذا المنظور الصيانة الوقائية التقليدية المبنية على جداول زمنية ثابتة إلى صيانة تنبؤية مبنية على بيانات فعلية عن حالة كل مكون.

ويُقاس هذا البُعد من خلال مجموعة من المؤشرات المعيارية الدولية التي تتضمن مؤشر متوسط مدة انقطاع الخدمة عن النظام ومؤشر متوسط تكرار انقطاع الخدمة عن النظام ومؤشر متوسط مدة انقطاع الخدمة عن المستفيد ومؤشر إتاحة الخدمة، فضلاً عن مؤشرات خاصة بكل شركة تعكس أولوياتها التشغيلية. ويُسهم التحول نحو الشبكات الذكية في تحسين دقة هذه المؤشرات من خلال التسجيل الآلي لبيانات الانقطاعات وتحليلها وربطها بأسبابها الجذرية.

كما يرتبط تقليل الأعطال التشغيلية بمفهوم الموثوقية الكهربائية الذي يُعبّر عن احتمالية قيام مكونات الشبكة بوظائفها المطلوبة خلال فترة زمنية محددة تحت ظروف تشغيلية معيّنة. ويتطلب تحسين الموثوقية مقارنة شاملة تجمع بين التصميم الموثوق والتشغيل الكفء والصيانة الفعّالة والاستجابة السريعة للأعطال عند وقوعها، مع الاستفادة من تقنيات الشبكة الذكية في أتمتة عمليات الكشف عن الأعطال وعزلها واستعادة الخدمة.

٢ البُعد الرابع: تحسين استدامة الشبكة الذكية

يُمثّل هذا البُعد المظلة الشاملة التي تتكامل تحتها الأبعاد الثلاثة السابقة ضمن رؤية طويلة الأجل تستهدف ضمان قدرة الشبكة الكهربائية الذكية على مواصلة تقديم خدماتها بالمستوى المطلوب على المدى البعيد، مع التكيّف المستمر مع المتغيرات التقنية والبيئية والاقتصادية والاجتماعية. ويتجاوز مفهوم استدامة الشبكة الذكية البُعد البيئي الضيق المتعلق بالطاقة المتجددة وخفض الانبعاثات ليشمل الاستدامة التقنية والمالية والتشغيلية بوصفها أبعاداً متكاملة لا ينفصل بعضها عن بعض.

وقد أشار Kheirkhah وآخرون (2023) إلى أن تحسين استدامة الشبكة الذكية يتطلب بناء مرونة تشغيلية تُمكن الشبكة من استيعاب المتغيرات المتسارعة كتزايد حصة مصادر الطاقة المتجددة المتقطعة وانتشار التوليد الموزّع ودخول تقنيات التخزين والسيارات الكهربائية، دون المساس باستقرار الشبكة وجودة الخدمة. ويفترض هذا المنظور أن الشبكة المستدامة ليست تلك التي تعمل بكفاءة في ظل الظروف الراهنة فحسب، وإنما تلك التي تمتلك القدرة على التطور والتكيّف مع بيئة متغيرة باستمرار.

وتتضمن استدامة الشبكة الذكية عدة أبعاد فرعية تتكامل فيما بينها: أولاً، الاستدامة التقنية التي تعني قدرة البنية التحتية للشبكة وأنظمتها الرقمية على مواكبة التطورات التقنية المتسارعة دون الحاجة إلى استبدال شامل ومكلف. ثانياً، الاستدامة المالية التي تعني قدرة نموذج الأعمال التشغيلي على توليد إيرادات كافية لتغطية تكاليف التشغيل والصيانة والتطوير على المدى البعيد. ثالثاً، الاستدامة البيئية التي تعني تقليل الأثر البيئي للعمليات التشغيلية من خلال خفض الفاقد وزيادة حصة الطاقة المتجددة وترشيد استهلاك الموارد. رابعاً، الاستدامة التشغيلية التي تعني قدرة فرق التشغيل والصيانة على الحفاظ على مستوى أداء مرتفع ومستقر على المدى البعيد.

وقد أشار Leach وآخرون (2020) إلى أن تحسين الكفاءة وتقليل الأثر البيئي يُمثّلان ركيزتين أساسيتين لاستدامة منظومات الطاقة، حيث يترتب على تحسين الكفاءة التشغيلية تقليل في حجم الموارد المستهلكة والانبعاثات المتولّدة لكل وحدة خدمة مقدمة، مما يُعزّز الاستدامة البيئية والاقتصادية في آن واحد.

ويُسهم تكامل تقنيات الذكاء الاصطناعي مع منظومة التشغيل في تعزيز استدامة الشبكة الذكية من خلال التحسين المستمر للأداء التشغيلي بناءً على التعلم من البيانات التاريخية والتكيف مع الظروف المتغيرة. وقد أوضحت حسين وإبراهيم (2023) أن الذكاء الاصطناعي يُسهم في تحسين الكفاءة من خلال اختزال العمليات وتقليل الهدر وتحسين جودة المخرجات، وهو ما ينطبق على سياق شبكات الكهرباء الذكية حيث يُمكن للذكاء الاصطناعي تحسين إدارة الأصول والتنبؤ بالأحمال وتحسين جداول الصيانة وأتمتة عمليات التحكم.

كما يرتبط تحسين استدامة الشبكة الذكية بمفهوم إدارة دورة حياة الأصول، حيث يتطلب تحقيق الاستدامة التخطيط المنهجي لاستبدال وتجديد مكونات الشبكة وفق جداول زمنية مدروسة تأخذ بعين الاعتبار حالة كل مكون وعمره المتبقي والتطورات التقنية المتاحة والتكاليف المرتبطة بالاستبدال مقارنة بتكاليف الاستمرار في التشغيل. ويُسهم استخدام تقنيات المراقبة المستمرة لحالة المعدات والنماذج التنبؤية لعمرها المتبقي في ترشيد قرارات الاستبدال وتعظيم القيمة المستخلصة من كل أصل خلال دورة حياته.

7.2.2 العلاقة التكاملية بين أبعاد الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية

ترابط الأبعاد الأربعة للمتغير التابع ضمن منظومة تكاملية يُغذّي فيها كل بُعد الأبعاد الأخرى ويتأثر بها. فتقليل الفاقد الفني في الشبكة يُسهم مباشرة في تحسين كفاءة الشبكة الكهربائية بوصفه أحد مكونات الكفاءة الشاملة، وتحسين كفاءة الشبكة يُقلّل من الضغوط التشغيلية على مكوناتها مما يُسهم في تقليل الأعطال التشغيلية، وتقليل الأعطال يُعزّز استدامة الشبكة من خلال إطالة العمر الافتراضي لمكوناتها وتقليل تكاليف الإصلاح والاستبدال الطارئ، وتحسين الاستدامة بدوره يُهيئ الظروف المواتية لمواصلة جهود تقليل الفاقد وتحسين الكفاءة على المدى البعيد.

ويعكس هذا الترابط التكاملي بين الأبعاد طبيعة الشبكة الكهربائية بوصفها منظومة معقدة تتفاعل فيها مكونات متعددة بصورة غير خطية، مما يعني أن التحسين في أي بُعد ينعكس إيجاباً على

الأبعاد الأخرى بتأثيرات متسلسلة ومتراكمة. وفي المقابل، فإن القصور في أي بُعد قد يُقوّض الجهود المبذولة في الأبعاد الأخرى، مما يُؤكّد ضرورة تبني مقاربة شاملة ومتوازنة تُراعي جميع الأبعاد بصورة متزامنة.

8.2.2 المقاربات النظرية المفسّرة للحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية

يستند مفهوم الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية إلى عدة مقاربات نظرية تُوفّر أطراً تفسيرية لفهم محدّداته وآليات تحقيقه. ويُعدّ مدخل التحسين المستمر من أبرز المقاربات ذات الصلة، حيث يفترض هذا المدخل أن الكفاءة التشغيلية ليست حالة ثابتة يُحقّقها المرء مرة واحدة وإنما هي مسار تراكمي لا نهائي تُساهم فيه التحسينات الصغيرة والمتتالية في تحقيق نتائج كبيرة على المدى البعيد. وقد أوضح عبد الحكيم (2023) أن التدريب المستمر يُعدّ أحد تجليات هذا المدخل في البُعد البشري، حيث يُساهم في رفع كفاءة العاملين بصورة تراكمية تنعكس على الأداء التشغيلي.

كما يُقدّم مدخل النظم إطاراً مفيداً لفهم الكفاءة التشغيلية في شبكات الكهرباء الذكية، حيث ينظر إلى الشبكة بوصفها نظاماً مفتوحاً يتفاعل مع بيئته ويتكوّن من مدخلات وعمليات ومخرجات وتغذية راجعة. وتُقاس الكفاءة التشغيلية في هذا الإطار بنسبة المخرجات المفيدة إلى المدخلات الإجمالية، ويُشكّل الفاقد الفني الفرق بين المدخلات والمخرجات المفيدة. وقد أشار Alymov و Averbukh (2024) إلى أهمية مراقبة تدفقات الطاقة بوصفها آلية تغذية راجعة تُمكن من رصد الفجوة بين المدخلات والمخرجات واتخاذ إجراءات تصحيحية في الوقت المناسب.

ويُساهم مدخل إدارة الجودة الشاملة في تقديم رؤية متكاملة لتحسين الكفاءة التشغيلية، حيث يُؤكّد على أن الجودة مسؤولية الجميع وأن تحسين الأداء يتحقق من خلال مشاركة جميع العاملين في تحديد مواطن القصور واقتراح التحسينات وتنفيذها. وقد أشار تركمان وآخرون (2023) إلى أن ممارسات تنمية الموارد البشرية تُساهم في بناء ثقافة الجودة والتحسين المستمر التي تُعدّ شرطاً أساسياً لتحقيق الكفاءة التشغيلية المستدامة.

9.2.2 التحديات المعاصرة للحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية في الشبكات الذكية

تواجه جهود الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية في شبكات الكهرباء الذكية جملة من التحديات المعاصرة التي تزيد من تعقيد المهمة وتستلزم مقاربات مبتكرة لمواجهتها. ومن أبرز هذه التحديات التنامي المتسارع في الطلب على الطاقة الكهربائية الذي يُفضي إلى زيادة التحميل على مكونات الشبكة القائمة وتسريع تقادمها، مما يرفع مستويات الفاقد الفني ويزيد من احتمالية الأعطال. وتبرز هذه المشكلة بصورة حادة في بيئة المملكة العربية السعودية التي تشهد نمواً مضطرباً في الطلب على الكهرباء مدفوعاً بالنمو السكاني والتوسع العمراني وارتفاع درجات الحرارة.

كما يُشكّل التكامل المتزايد لمصادر الطاقة المتجددة تحدياً فنياً جديداً، حيث يترتب على الطبيعة المتقطعة وغير المنضبطة لهذه المصادر تقلبات في تدفقات الطاقة عبر الشبكة قد تُفضي إلى ارتفاع الخسائر الفنية وتدهور جودة الطاقة إذا لم تُدار بكفاءة. وقد أشار Kheirkhah وآخرون (2023) إلى أن بناء المرونة التشغيلية في شبكات التوزيع يُعدّ شرطاً أساسياً لاستيعاب هذه التحديات الجديدة دون المساس بالكفاءة التشغيلية.

ويُضيف عزام وآخرون (2025) تحدي المخاطر التشغيلية الناشئة عن التوسع في الخدمات الإلكترونية والرقمية، حيث يُؤلّد هذا التوسع نقاط ضعف جديدة في منظومة التشغيل تتطلب استجابات مبتكرة تتجاوز الأساليب التقليدية في ضمان الكفاءة والأمان. وفي سياق شبكات الكهرباء الذكية، تتقاطع المخاطر السيبرانية مع المخاطر التشغيلية التقليدية لتُشكّل تهديدات مركّبة يصعب مواجهتها بأدوات أحادية البُعد.

كذلك يُمثّل تقادم أجزاء من البنية التحتية للشبكة تحدياً بنيوياً يؤثر على مستويات الفاقد الفني والكفاءة التشغيلية والموثوقية، حيث تتدهور الخصائص الكهربائية والميكانيكية لمكونات الشبكة مع مرور الزمن مما يرفع معدلات الفاقد ويزيد من احتمالية الأعطال. ويتطلب التعامل مع هذا التحدي وضع خطط استبدال وتجديد منهجية تأخذ بعين الاعتبار الأولويات الفنية والاقتصادية والقيود المالية المتاحة.

10.2.2 العلاقة بين إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة والحدّ من الخسائر الفنية وتحسين

الكفاءة التشغيلية

يتضح من خلال استعراض الأدبيات العلمية في المبحثين السابقين وجود علاقة نظرية وثيقة بين المتغير المستقل المتمثل في إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة والمتغير التابع المتمثل في الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية في شبكات الكهرباء الذكية. وتتجلى هذه العلاقة في أن إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة بأبعادها الأربعة تُوفّر الإطار الإداري والتقني اللازم لتحديد مصادر الخسائر الفنية والأعطال التشغيلية ومعالجتها بصورة منهجية واستباقية.

فأدوات تقييم المخاطر التشغيلية تُمكن من رصد المكونات والعمليات الأكثر عرضة للإخفاق وتحديد أولويات التدخل، واستراتيجيات الاستجابة للمخاطر تُوفّر الآليات المناسبة لمعالجة المخاطر المحدّدة بما يُقلّل من أثارها على كفاءة الشبكة، وتقنيات المراقبة الذكية والصيانة الوقائية تُساهم في الكشف المبكر عن مؤشرات التدهور ومعالجتها قبل أن تتحول إلى خسائر فنية أو أعطال، وتكامل تقنيات إدارة المخاطر والذكاء الاصطناعي يُعزّز القدرة على التنبؤ بالمخاطر وتحسين الأداء التشغيلي بصورة مستمرة ومتكيفة.

وقد أشارت المعايطة والمخادمة (2023) إلى أن إدارة المخاطر التشغيلية تُساهم في دعم الأداء المؤسسي الشامل، مما يُعزّز الفرضية النظرية القائلة بأن تطبيق إطار متقدم لإدارة المخاطر التشغيلية ينعكس إيجاباً على الكفاءة التشغيلية واستدامة المنظمة. وتسعى الدراسة الحالية إلى اختبار هذه العلاقة النظرية ميدانياً في سياق الشركة السعودية للكهرباء للتحقق من مدى تأثير أبعاد إدارة المخاطر التشغيلية المتقدمة على أبعاد الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية.

11.2.2 خلاصة المبحث الثاني

تناول هذا المبحث المتغير التابع للدراسة المتمثل في الحدّ من الخسائر الفنية وتحسين الكفاءة التشغيلية في شبكات الكهرباء الذكية من خلال التّأصيل المفاهيمي الذي كشف عن تعدد المنظورات في تعريف هذا المفهوم بين المنظور التقني الهندسي والمنظور الإداري الشامل. كما عُرضت أهمية هذا المتغير من أبعادها الاقتصادية والبيئية والتقنية والاجتماعية، وأهدافه المتراوحة بين الأهداف التشغيلية المباشرة والأهداف الاستراتيجية بعيدة المدى، واستراتيجياته المتنوعة التي تتراوح بين المعالجات الهندسية والمقاربات الإدارية والتقنية المتقدمة. وتم تفصيل أبعاده الأربعة المتمثلة في تقليل الفاقد الفني في الشبكة، وتحسين كفاءة الشبكة الكهربائية، وتقليل الأعطال التشغيلية، وتحسين استدامة الشبكة الذكية، مع إبراز العلاقات التكاملية بينها والمقاربات النظرية المفسّرة والتحديات المعاصرة. كما عُرضت العلاقة النظرية بين المتغيرين المستقل والتابع تمهيداً للاختبار الميداني لهذه العلاقة في الفصول اللاحقة من الدراسة.

Mid Ocean University

College of Management



Master's in Risk Management.

**The Impact of Advanced Operational Risk Management in
Smart Power Grids on Reducing Technical Losses and
Improving Efficiency: A Field Study at the Saudi Electricity
Company.**

Prepared by:

MOHAMMED MOHAIMEED ALOTAIBI

252000749

Supervision:

Dr. Al-Faisal Abdelhamid Mohamed Hassan

Dr. Fayez Jarad

2026 – 1447