البحث التطبيقي

جمهورية مصر العربية

معهد التخطيط القومي

عنوان البحث باللغة العربية	" تقييم اثر بناء القدرات في الذكاء الاصطناعي علي الأداء المؤسسي"
عنوان البحث باللغة الإنجليزية	"Evaluating the Impact of AI Capacity Building on sustainable institutional Performance "
إعداد	د/ عبير محمد سالم حجازي
إشراف	ا.د/ سحر البهائي مدير مركز التخطيط البيئي

لاستكمال متطلبات

الحصول على الماجستير المهني "المتابعة والتقييم"

2026/2025

2026

إهداء

إلى

كل من عملوا في صمت على ضفاف النيل

وآمنوا بأن التعلم غاية

والذكاء الاصطناعي وسيلة

والمسؤولية هي الميزان

شـكـر وتـقـديـر

أتوجه بخالص الشكر وعميق التقدير إلى **الأستاذة الدكتورة/ سلوى أبو العلا**، رئيس مركز التدريب الإقليمي للموارد المائية والري، لدعمها اللامحدود وتوجيهاتها السديدة، ولما قدمته من تسهيلات ملموسة في تيسير مهمة جمع البيانات وتذليل العقبات، والتي كان لها بالغ الأثر في خروج هذا العمل إلى النور.

كما أتقدم بوافر الشكر والامتنان إلى **الأستاذة الدكتورة/ سحر البهائي**، تقديراً لملاحظاتها العلمية القيمة ورؤيتها الفنية التي أثرت محتوى هذه الدراسة.

ويمتد الشكر إلى **إدارة معهد التخطيط القومي** الموقرة، لما قدمته من دعم مؤسسي وبيئة علمية محفزة خلال فترة الدراسة.

وختاماً، أهدي هذا الجهد إلى **زوجي العزيز وأسرتي الكريمة**؛ سندِي في هذا الطريق الشاق، ممن استمددتُ منهم الصبر والقوة، والذين كان لتقديرهم وتضحياتهم الدور الأكبر في بلوغ هذا الإنجاز.

الملخص العربى

تقوم هذه الدراسة بتقييم أثر بناء القدرات في مجال الذكاء الاصطناعي على الأداء المؤسسي المستدام، مع التركيز على قطاع الموارد المائية في مصر. في ظل التحديات المتزايدة التي تواجهها المؤسسات، من تغير المناخ إلى ندرة الموارد، يُقدّم الذكاء الاصطناعي إمكانات تحويلية؛ إلا أن الفجوة بين قدرات الذكاء الاصطناعي وتأثيره المستدام على أرض الواقع غالبًا ما تكمن في بناء القدرات. تعتمد الدراسة منهجية مختلطة (كمية ونوعية)، مستندةً إلى استبيان مشاركًا ، بالإضافة إلى مقابلات معمقة. استُخدم نموذج كيركباتريك كإطار للتقييم. تُشير النتائج الرئيسية إلى أن معظم مؤشرات الأداء سجلت مستويات رضا عالية، لا سيما ابتكار المحتوى (CII: 81.9%) واستجابة الشبكة .(NRI: 73.6%) برز مؤشر تحليل البيانات التنبؤية (PDAI) كأقوى مؤشر للتنبؤ بمحدودية الأداء($\beta = -0.128$) ، حيث تشير البيانات النوعية إلى أن قصوره يعكس غموض واجهة المستخدم وليس قصورًا في الخوارزمية. ولم تُلاحظ فروق ذات دلالة إحصائية بين الجنسين في أي من مؤشرات الأداء، مما يؤكد شمولية تصميم التدريب. بالاستناد إلى معايير دولية من هولندا (نظام DIGO)، وسنغافورة (شبكة المياه الذكية PUB)، والمغرب (الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالفيضانات)، تقترح الدراسة إطار عمل CASTLE كخارطة طريق عملية لبناء قدرات مستدامة في مجال الذكاء الاصطناعي (2026–2030). وتخلص الدراسة إلى أن الأداء المستدام يتطلب استثمارًا متزامنًا على المستويات الفردية والمؤسسية والنظامية – وليس مجرد تدريب تقني – إلى جانب حوكمة رشيدة، وقيادة مرنة، وثقافة التعلم المستمر.

Abstract

This study evaluates the impact of AI capacity building on sustainable institutional performance, with a focus on Egypt's water resources sector. As institutions face growing challenges — from climate change to resource scarcity — AI offers transformative potential; however, the gap between AI's capabilities and its sustained real-world impact often lies in insufficient capacity building. The study adopts a mixed-methods approach (quantitative and qualitative), drawing on a survey, complemented by in-depth interviews. The Kirkpatrick model was used as the evaluation framework.. Key findings reveal that most performance indicators recorded high satisfaction levels, particularly Content Innovation (CII: 81.9%) and Network Responsiveness (NRI: 73.6%). The Predictive Data Analysis index (PDAI) emerged as the strongest predictor of performance limitations ($\beta = -0.128$), with qualitative data indicating that its shortfall reflects interface ambiguity rather than algorithmic deficiency. No

statistically significant gender differences were found across any performance indicator, affirming the inclusivity of the training design. Drawing on international benchmarks from the Netherlands (DIGO system), Singapore (PUB Smart Water Grid), and Morocco (flood forecasting AI), the study proposes the CASTLE framework as a practical roadmap for sustainable AI capacity building (2026–2030). The study concludes that sustainable performance requires simultaneous investment at individual, institutional, and systemic levels — not merely technical training — alongside strong governance, adaptive leadership, and a culture of continuous learning.

الكلمات الافتتاحية: بناء القدرات – الذكاء الاصطناعي – الأداء المؤسسي المستدام – المتابعة والتقييم – قطاع المياه

Keywords: Capacity building – Artificial Intelligence- Sustainable Institutional Performance Monitoring & Evaluation – Water Sector

المـحتـوى

القسم الأول: الإطـار النـظري.....7
1.المـقدمـة 7
2.المشـكلة. 8
2. 1 التحديات التقنية 8
2. تحديات البنية التحتية. 8
3. التحديات المرتبطة بالبيانات. 8
4. التحديات الاجتماعية والاقتصادية. 9
3.الأهـداف. 9
الهدف العام. 9
الأهداف الفرعية. 9
4 الأهمـية. 9
5.التساؤلات. 10
6. حـدود البـحث. 11
٧. المنـهجية 11
١.٧ نوع الدراسة. : 11
٢.٧ الفئة المستهدفة. 11
٣.٧ أدوات جمع وتحليل البيانات: 11
٤.٧ تثليث البيانات (Data Triangulation) 12
٨. الدراســات الســابقة 12
١.٨ مفهوم بناء القدرات في عصر الذكاء الاصطناعى 13

٢.٨ الذكاء الاصطناعي في إدارة الموارد المائية: أدلة التأثير 14
٣.٨ ترابط بناء القدرات والأداء المؤسسي في عصر الذكاء الاصطناعي..... 16
القسم الثـانـي: دراسة تحليلية لقياس بناء قدارت الذكاء الاصطناعي 18
١. التصميم البحثي للعينة..... 18
٢. منظومة مؤشرات الأداء..... 19
١.٢ مصفوفة الربط بين القياس الكمي من الاستبيان وتقييم البرنامج التدريبي ومؤشرات الأداء الحكومي. 19
٣. التحليل الإحصائى الوصفى..... 24
١.١ نتائج تحليل الاستبيان 24
٢.١ المقابلات المتعمقة 32
٣.١ العلاقات والنمذجة الإحصائية..... 33
١.٤ تحليل التحديات طبقا للحالة الدراسية التطبيقية..... 35
٢. افضل التجارب الدولية في بناء قدرات الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه..... 36
١.٢ تجربة هولندا: 36
٢.٢ تجربة سنغافورة:..... 37
٣.٢ تجربة المغرب: 38
٤.٢ الدروس المستفادة من التجارب الدولية..... 39
٣. خريطة الطريق لبناء قدرات الذكاء الاصطناعى في إدارة الموارد المائية (2026–2030)..... 40
١.٣ نموذج مقترح كإطار عمل 40
٤. الخلاصة والتوصيات..... 41
٥. المـراجــع والمصادر 42
أولا: المراجع العربية 42
ثانيا: المراجع الأجنبية 42

قائمة الجداول

جدول (1): الإطار المفاهيمي لقدرات الذكاء الاصطناعي المستدامة 14
جدول (٢): مجالات القياس ومؤشرات الأداء والمراجع المنهجية الداعمة 19
جدول (٣): مصفوفة الربط بين القياس الكمي من الاستبيان وتقييم البرنامج التدريبي ومؤشرات الأداء الحكومي..... 23
جدول (٤): تحليل الفروق بين الجنسين في الاستجابة للمؤشرات 25
جدول (٥): الإحصاءات الوصفية لمؤشرات الأداء الرئيسية 28
جدول (٦): المؤشرات المركبة وعلاقتها بالمؤشرات الفرعية 29
جدول (٩): التوزيعات التكرارية النسبية لمؤشرات الأداء 32
جدول (١٠): مصفوفة الارتباطات بين مؤشرات الأداء 33
جدول (١١): معاملات الانحدار المعيارية للتنبؤ بمؤشر (QID) 34
جدول (١٢) دراسة التجربة الهولندية: استراتيجيات بناء القدرات في إدارة المياه الذكية 36
جدول (١٣) دراسة التجربة السنغافورية: كفاءة بناء القدرات في إدارة المياه الذكية 37
جدول (١٤) دراسة التجربة المغربية: استراتيجيات التحول الرقمي وبناء القدرات 38
جدول (١٥): مكونات نموذج (CASTLE) 40

قائمة الرسوم التوضيحية

شكل (١): نموذج الترابط البنائي الشامل وفق نموذج كيركباتريك 20
شكل (٢): يوضح نسب الذكور إلى الإناث المشاركين في التدريب 24

القسـم الأول: الإطــار النــظري

1. المــقدمــة

- **دراسة Balaraman *et al.*, 2025** أوضحت انه لم يعد دمج الذكاء الاصطناعي (AI) في المؤسسات العامة والخاصة مجرد تحديث تكنولوجي؛ بل هو تحول جوهري مطلوب لتحقيق التنمية المستدامة.
- **بينما اوضح Abdulameer *et al.*, 2025a** تواجه المؤسسات تحديات معقدة – من تغير المناخ إلى ندرة الموارد – يوفر الذكاء الاصطناعي إمكانات تحويلية لتعزيز عملية صنع القرار، وتحسين ادارة الموارد، ورفع الكفاءة .
- **ومع ذلك Bryan & Brown, 2015** استنتج ان الفجوة بين امكانيات الذكاء الاصطناعي وأدائه المستدام الفعلي تكمن غالبًا في بناء القدرات.
- **لذا UN, 2020** عرفت مصطلح بناء القدرات بأنه عملية تطوير وتعزيز المهارات والقدرات والعمليات والموارد التي تحتاجها المنظمات والمجتمعات للبقاء والتكيف والازدهار في عالم سريع التغير.
- **اظهر Aryani & Widodo, 2020** ان ذلك يتطلب ذلك مناهج مصممة خصيصًا تعالج العوامل الفردية والتنظيمية والنظامية، ويشمل القيادة والتدخلات المتكاملة ثقافيًا وآليات التقييم المستمر. وقد حظي بناء القدرات باعتراف دولي منذ زمن طويل بأنه المحاور الأساسية لتحقيق التنمية المستدامة، وهو ما تجسد في مخرجات المؤتمرات الدولية الكبرى.
- فقد أكد جدول أعمال القرن21(1992) على دوره في دعم تنفيذ أهداف التنمية، تلاه خلال الفترة 1996–1998 تأكيد متكرر من لجنة التنمية المستدامة والجمعية العامة للأمم المتحدة، كما شددت خطة جوهانسبرغ التنفيذية (2002) والوثيقة الختامية لمؤتمر ريو+20 على أهمية تعزيز بناء القدرات والتعاون التقني والعلمي لتحقيق الاستدامة. وأيضاً أبرز مسار ساموا (2014) بناء القدرات كأولوية محورية للدول الجزرية الصغيرة النامية في مواجهة تحديات تغير المناخ والطاقة والموارد والتمويل. ومن العناصر الأساسية في بناء القدرات التحول الذي ينشأ ويستمر بمرور الوقت من الداخل؛ إذ يصل هذا النوع من التحول إلى تغيير العقليات والمواقف. وفي إطار الهدف السابع عشر من أهداف التنمية المستدامة: تنشيط الشراكة العالمية من أجل التنمية المستدامة.

- **وأوضحت** UN, 2020 يتعلق ببناء مؤسسات فعالة وتعزيز الشراكات ويتضمن غايات لبناء القدرات، منها زيادة استخدام التكنولوجيا والابتكار في أقل البلدان نمواً، وتحسين جمع البيانات ورصدها لتحقيق أهداف التنمية المستدامة. كما أنه أيضا أصبح حاجة ملحة إلى تنوع وتعدد الأساليب لإجراء تقييم فعال.
- **قام بدراسة** (Roumell *et al.*, 2023 ولكن مازال من الصعب قياس النتائج طويلة الأجل على مستوى المجتمع.
- واظهر Awotunde & Aregbeshola, 2025انه تتفاوت الآراء في أن الأداء المستدام لا يعتمد فقط على اكتساب أدوات الذكاء الاصطناعي، بل على إطار شامل لبناء القدرات يعالج الكفاءات الفردية، والثقافة التنظيمية، والحوكمة المنهجية .
- أظهرت **Government of Egypt, 2025**ان مصر أبدت اهتمامًا كبيرًا بالذكاء الاصطناعي ودمجه في مختلف القطاعات كعنصر أساسي في خطتها التنموية الوطنية، "الاستراتيجية الوطنية للذكاء الاصطناعي" (2025–2030). حيث تهدف إلى أن يُساهم الذكاء الاصطناعي بنسبة 7.7% في الناتج المحلي الإجمالي لمصر بحلول عام 2030. وتستند الإستراتيجية إلى أربعة ركائز، الركيزة الأولى للنمو الاقتصادي من خلال توطين صناعة الذكاء الاصطناعي. الركيزة الثانية هي الحوكمة والأخلاقيات، ،الركيزة الثالثة عن بناء القدرات البشرية من خلال تعزيز برامج تعليم وتدريب الذكاء الاصطناعي. الركيزة الرابعة وهى الريادة الإقليمية.

2. المشـــكلة

يواجه دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه مجموعة من التحديات المتداخلة التى تعيق تحقيق الأداء المؤسسي المستدام. ويمكن تصنيف هذه التحديات على النحو التالي:

2. 1 التحديات التقنية

- محدودية المهارات والخبرات التقنية: يوجد فجوة واضحة في الكفاءات المتخصصة القادرة على تصميم وتطبيق وإدارة نظم الذكاء الاصطناعي بكفاءة، بما يشمل تطوير هذه النظم وتشغيلها بشكل مستدام في قطاع المياه (Almheiri *et al.*, 2024).
- تعقيد النماذج وقابلية التفسير: تتسم العديد من نماذج الذكاء الاصطناعي، بدرجة عالية من التعقيد وصعوبة التفسير، وهو يشكل عائقاً أمام تبنيها ويؤثر على مستوى الثقة بها لدى صناع القرار وأصحاب المصلحة (Paswan *et al.*, 2024).

2. 2. تحديات البنية التحتية

- قصور البنية التحتية الداعمة: الافتقار إلى المقومات الأساسية اللازمة لتطبيقات الذكاء الاصطناعي خاصة في المناطق النائية في مراحل التطوير الأولى، مثل شبكات الاستشعار الذكية ومنصات تحليل البيانات(Almheiri *et al.*, 2024).
- ارتفاع استهلاك الطاقة: قد يؤدي نشر تقنيات الذكاء الاصطناعي إلى زيادة استهلاك الطاقة، بما يتعارض مع توجهات الاستدامة البيئية التي يسعى إلى تحقيقها في قطاع المياه (Tariq, 2025).

2. 3. التحديات المرتبطة بالبيانات

- محدودية توافر البيانات وجودتها: يعتمد نجاح تطبيقات الذكاء الاصطناعى بشكل أساسى على توافر بيانات كافية وموثوقة. إلا أن العديد من الجهات تواجه مشكلات تتعلق بندرة البيانات وضعف جودتها، وغياب المعايير الموحدة لجمعها ومعالجتها (Abdulameer *et al.*, 2025b).

- قضايا الخصوصية وأمن المعلومات: يُثير توظيف الذكاء الاصطناعي في إدارة المياه مخاوف متزايدة تتعلق بحماية البيانات وأمنها. الأمر الذي يستلزم توفير نظم قوية للأمن السيبرانى وضمان الامتثال للأطر التنظيمية حماية البيانات لكسب ثقة الجمهور وأصحاب المصلحة (Almheiri *et al*., 2024).

2. 4. التحديات الاجتماعية والاقتصادية

- ارتفاع التكلفة: يتطلب تطبيق حلول الذكاء الاصطناعي استثمارات مالية كبيرة، مما يمثل عبأ على العديد من مؤسسات ادارة المياه، لا سيما في البلدان النامية، ويحد من قدرتها على تبنى هذه التقنيات (Masud *et al*, 2025).
- ضعف اطر الحوكمة: لا تزال الأطر التشريعية والتنظيمية التي تحكم استخدام الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه غير مكتملة مما يبرز الحاجة إلى آليات حوكمة لضمان الاستخدام المسؤول (Maldonado Benitez *et al*., 2025).
- الفجوة الرقمية: تؤدى الفجوة الرقمية إلى عدم تكافؤ فرص الوصول إلى تقنيات الذكاء الاصطناعي. وهو ما يسهم في تعميق هذه الفجوة وأوجه عدم المساواة القائمة ويعيق الانتشار الواسع لتطبيقاتها في إدارة الموارد المائية (Tariq, 2025).

وبناء على ما سبق يتضح أن **بناء القدرات يعد مدخلا أساسيا وخطوة أولى لمواجهة هذه التحديات**، من خلال الاستثمار في برامج التعليم والتدريب التي تستهدف تنمية المهارات والمعارف التقنية للعاملين في قطاع المياه، ويسهم ذلك في تمكين **توظيف الذكاء الاصطناعي بفاعلية لتعزيز الأداء المؤسسي المستدام** وتحقيق أهداف الأمن المائي والاستدامة على المدى الطويل.

3. الأهــداف

1. الهدف العام

تهدف الدراسة إلى تقييم كيف يؤثر بناء القدرات في مجال الذكاء الاصطناعي على الأداء المؤسسي المستدام خاصة في قطاع المياه.

2. الأهداف الفرعية

1. استخدام نظام المتابعة والتقييم لقياس أثر بناء قدرات الذكاء الاصطناعي على قطاع المياه.
2. تحديد العلاقة بين بناء القدرات وتوظيف أدوات الذكاء الاصطناعي والأداء المؤسسى المستدام.
3. صياغة خارطة طريق لبناء القدرات في مجال الذكاء الاصطناعى خاصة في إدارة الموارد المائية.

4. الأهمـية

يُعدّ تقييم أثر بناء القدرات في مجال الذكاء الاصطناعي على الأداء المؤسسي المستدام لقطاع المياه محوراً أساسياً لتعزيز كفاءة إدارة الموارد المائية، وتحسين الأداء التشغيلى، ودعم تحقيق أهداف الاستدامة، كما يسهم هذا التقييم في التعامل

المنهجى مع التحديات المرتبطة بالحوكمة والجوانب التقنية والاعتبارات البيئية. بما يعزز القدرة على التكيف مع المتغيرات المتسارعة.

لذلك تتجلى القيمة المضافة لهذه الدراسة فى بعدين أساسيين:

1- الأهمية العلمية: سد الفجوة في أدبيات تقييم بناء قدرات الذكاء الاصطناعى في الدول النامية، مع تقديم نموذج تحليل متسق مع الحالة المصرية.
2- الأهمية التطبيقية: تقديم أداة تقييمية تمكن المؤسسات من قياس جاهزيتها، ورسم مسار واضح لضمان استدامة التطوير المؤسسى في عصر الثورة التكنولوجية.

5. التساؤلات

يفترض أن بناء القدرات في مجال الذكاء الاصطناعي يمثل أحد المحددات الرئيسية لتحقيق الأداء المؤسسي المستدام في قطاع المياه، وعلى الرغم من استمرار عدد من التحديات الهيكلية، مثل فجوات المهارات، ومحدودية جودة البيانات، وتشتت النظم التقنية، وقضايا الثقة المجتمعية. ويستلزم التعامل مع هذه التحديات تبنى استثمارات منسقة، وأطر حوكمة مرنة، ومشاركة فاعلة وشاملة.

ولضمان التقييم المنهجي والفعال لأثر بناء القدرات في مجال الذكاء الاصطناعي على الأداء المؤسسي المستدام في قطاع المياه، تستند الدراسة إلى مجموعة من التساؤلات، تُعد هذه التساؤلات إطاراً مرجعياً أساسياً لتوجيه عملية التقييم، وتفسير النتائج المتوقعة لأثر بناء القدرات في مجال الذكاء الاصطناعي لدعم الأداء المؤسسي المستدام خاصة في قطاع المياه، وبناء عليه يتم الإجابة عن هذه التساؤلات البحثية في الدراسة:

1- هل يؤدى التدريب تحسين في الأداء التشغيلى؟
2- ما العوامل التي تتوسط بين بناء القدرات وتحسين الأداء؟
3- كيف يمكن تصميم إطار مستدام لبناء قدرات الذكاء الاصطناعى؟

6. حـدود البـحـث

- حدود موضوعية: حول بناء القدرات كبرنامج تدريبى على أدوات الذكاء الاصطناعى
- حدود مكانية: مركز التدريب الإقليمى للموارد المائية والرى – وزارة الموارد المائية والرى
- حدود زمنية: تغطى الدراسة الفترة من 2024 حتى 2026 بالنسبة للبيانات الميدانية، مع استشراف يمتد إلى 2030 في خريطة الطريق.

٧. المنـــهجيـة

١.٧ نوع الدراسة:

تنتمى هذه الدراسة إلى الدراسات التقييمية التطبيقية (Applied Evaluative Research)، منهج الدراسة مختلط يجمع بين الكمي (استبيان) و الكيفي (مقابلات نصف مهيكلة)، وتجرى الدراسة فى مركز التدريب الإقليمى للموارد المائية والرى بوصفه كإطار مؤسسى للتطبيق.

٢.٧ الفئة المستهدفة

تستهدف الدراسة فئة رئيسية من العاملين بقطاع المياه، هي المهندسون وذلك باعتبارها الفئة الأكثر ارتباطا بتطبيقات الذكاء الاصطناعي في العمليات الفنية.

٣.٧ أدوات جمع وتحليل البيانات:

تعتمد الدراسة على مجموعة متكاملة من **أدوات جمع البيانات**، تشمل:

- الاستبيانات: لقياس مستوى المهارات الرقمية ومدى استخدام وتطبيق أدوات الذكاء الاصطناعي في بيئة العمل، باستخدام مقياس ليكرت ثلاثي الدرجات (١= منخفض، ٢= متوسط، ٣= مرتفع)
- المقابلات نصف الموجهة: مع المتدربين ومنسقى التدريب ومسئولي تقنية المعلومات، لفهم السياق المؤسسي ودور الدعم الإداري في تطبيق مخرجات التدريب.
- اعتمدت الدراسة على نموذج (Kirkpatrick) كمنظومة لأدوات جمع البيانات، حيث يشكل هذا الإطار العمود الفقري لتقييم فعالية التدريب عبر أربعة مستويات متصاعدة: **تحليل البيانات:** خضعت البيانات للتحليل باستخدام برنامج SPSS v16 وبرنامج Excel ردود الفعل ←— التعلم ←— السلوك/النقل ←— النتائج

٤.٧ تثليث البيانات (Data Triangulation)

اعتمدت الدراسة على "التثليث المنهجي" (Methodological Triangulation) لضمان صدق النتائج وتعزيز موثوقيتها. وتتجلى هذه العملية من خلال دمج عدة مصادر وأدوات لجمع وتحليل البيانات، وذلك للتغلب على نقاط الضعف الكامنة في استخدام أداة واحدة بشكل منفرد، وتم ذلك كالتالي:

- **التثليث بين الأساليب** (Across-method Triangulation): اعتمدت الدراسة علي منهج البحث المختلط الذي بين المنهج الكمي والنوعي (Mixed Methods)، بما يتيح فهما أشمل للتغيرات في القدرات الفردية والمؤسسية، ويسهم في الربط المنهجى بين النتائج الكمية والتفسيرات التحليلية، حيث استُخدم الاستبيان لجمع بيانات رقمية من المشاركين لقياس مؤشرات الأداء (مثل مؤشر استجابة الشبكة NRI ومؤشر تكامل الاتصالات CII)، وبالتوازي مع ذلك، أُجريت مقابلة معمقة (In-depth Interviews) لاستكشاف الأبعاد النوعية وتفسير النتائج الرقمية، مثل فهم بعض المؤشرات كالتنبؤ بالبيانات (PDAI).
- **التثليث مع الممارسات** الدولية: لم تكتفِ الدراسة بالتحليل الميداني المحلي، بل قامت بدراسة المنهجيات المتبعة مع نماذج دولية رائدة مثل نظام (DIGO) الهولندي، وتجربة سنغافورة (PUB)، والمغرب، لضمان اتساق التوصيات المقترحة كنموذج (CASTLE) مع المعايير العالمية في بناء القدرات.

الهدف من التثليث في هذه الدراسة: هو توفير منهجية متكاملة لفهم أعمق للفجوة المعرفية ومنحنى التعلم لدى المتدربين، وتعزيز موثوقية النتائج. مما يساعد على تقييم أثر بناء قدرات الذكاء الاصطناعي ودراسة تجارب دولية تعزز من مصداقية خريطة الطريق المقترحة (2026-2030) وقابليتها للتطبيق في سياق التطوير المؤسسى المستدام خاصة في قطاع المياه.

٨. الدراســـات الســـابقة

- **اعدت دراسة Miquelajauregui *et al.*, 2022** لتظهر ان تُعد مواءمة مبادرات بناء القدرات مع الخصائص والسياقات المحلية للمجتمعات المستهدفة شرطًا أساسيًا لنجاحها واستدامة أثرها. ويتطلب ذلك تحليلًا متعمقاً للتحديات المحلية، إلى جانب دمج المعارف في تصميم البرامج التدريبية.
- **أوضح Poudel , 2012** ان الدراسة ركزت علي تجارب بناء القدرات في نيبال على تعزيز الإدارة المستدامة للموارد الطبيعية بما يتلاءم مع الخصائص البيئية والاجتماعية والاقتصادية المحلية، وهو ما أسهم في رفع فاعلية التدخلات وتحقيق نتائج أكثر استدامة.
- **كما تشير دراسة Annelin *et al.*, 2025** إلى أن تعزيز التعاون متعدد التخصصات بين التربويين والمهنيين والخبراء الفنيين يُسهم في تحسين جودة تعليم الاستدامة وبرامج بناء القدرات، من خلال إتاحة تكامل الرؤى والخبرات المختلفة، الأمر الذي يساعد على التعامل مع تعقيدات قضايا الاستدامة بشكل أكثر شمولية.
- **إضافة إلى ذلك، دراسة Rompczyk , 2025** اكدت إن دمج التقنيات الرقمية والأساليب المبتكرة، مثل المنصات الإلكترونية وأدوات دعم اتخاذ القرار، يُعزز من فعالية برامج بناء القدرات عبر تسهيل تبادل المعرفة، ودعم العمل التعاوني، وتمكين متخذي القرار من الاعتماد على بيانات ومعلومات دقيقة وفي الوقت المناسب.
- **أوضح Miquelajauregui *et al.*, 2022** ان التجربة البرازيلية تخلص إلى أن الحوكمة التجريبية الناجحة هي تلك التي تُكيّف القيم التنظيمية التقليدية—كالشفافية والمساءلة وإدارة المخاطر—ضمن أطر مرنة تُمكّن التعلم المستمر والرقابة الديمقراطية، بما يسمح للدولة بلعب دور فاعل في توجيه مسارات التطور التكنولوجي لا مجرد الاستجابة لها.

- **كما استنتج Bourgeois , 2016** ان تُعد أنظمة الرصد والتقييم الفعّالة عنصرًا محوريًا لفهم مدى جاهزية المؤسسات وقدرتها على الاستجابة للطلب المتزايد على تطبيقات الذكاء الاصطناعي وتحسينها بصورة مستمرة. ومع ذلك، تشير الدراسات السابقة إلى وجود فجوة ملحوظة في الأدلة التجريبية التي تقيس فعالية هذه الأنظمة ونتائجها المؤسسية.
- **وهو ما يبرزه Lucas , 2025** الي ان الحاجة إلى إجراء بحوث تجريبية أكثر عمقًا ومنهجية لفهم الشروط والعوامل اللازمة لنجاح مبادرات بناء القدرات وتوظيف الذكاء الاصطناعي على نحو فعّال ومستدام. ويمثل قياس الأداء خطوة أساسية في تطوير القدرات التقييمية المؤسسية؛ إذ يسهم في توفير المكونات الأولية اللازمة لإرساء ثقافة التقييم القائمة على الأدلة داخل المؤسسات. وتُعد هذه الثقافة شرطًا ضروريًا لتعزيز كفاءة أنظمة الرصد والتقييم، حيث تتيح تتبع التقدم المحرز، وتحليل الفجوات، ودعم اتخاذ القرار المستند إلى البيانات.
- **كما أوضح Oviedo *et al.*, 2024** ان يكتسب تطوير الأطر والمعايير المنهجية لتقييم أنظمة الذكاء الاصطناعي أهمية متزايدة، لا سيما في ظل تعقيد هذه الأنظمة وتعدد تطبيقاتها. وفي هذا السياق، يُعد معيار ISO/IEC 25059 نموذجًا مرجعيًا مهمًا، إذ يوفر مجموعة من المقاييس وخصائص الجودة التي تُستخدم لتقييم الملاءمة الوظيفية لأنظمة الذكاء الاصطناعي وأدائها. ويمكن لمثل هذه الأطر أن توجه عمليات تقييم مبادرات بناء القدرات في مجال الذكاء الاصطناعي، وتدعم مواءمتها مع الأهداف المؤسسية والاستراتيجية.
- وبوجه عام، تتسم فعالية أنظمة الرصد والتقييم في قياس أثر بناء القدرات على استخدام الذكاء الاصطناعي بطابع متعدد الأبعاد، ما يستلزم اعتماد نهج شامل ومتكامل. ويشمل ذلك تعزيز القدرات التقييمية المؤسسية، والتعامل مع التعقيدات المرتبطة بنماذج الذكاء الاصطناعي، وتوظيف قياس الأداء كأداة داعمة، إلى جانب تبني أطر ومنهجيات تقييمية تتناسب مع خصوصية كل مؤسسة. كما يُعد استمرار البحث التجريبي وتقييم عمليات دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي، أمرًا جوهريًا لتعزيز فعالية أنظمة الرصد والتقييم وتحقيق أثر مؤسسي مستدام.

١.٨ مفهوم بناء القدرات في عصر الذكاء الاصطناعى

- **اظهر UNDP, 2009** ان تطوّر مفهوم بناء القدرات Capacity Building عن التعريف التقليدى الذى اختزل المفهوم فى التدريب الفردي، ليتبلور في الصيغة المعاصرة كمنظومةً متكاملة من عمليات متداخلة تُمكّن الأفراد والمؤسسات والمجتمعات من تحقيق أهداف التنمية بصورة فعّالة ومستدامة.
- **أوضح Brvan & Brown, 2015** في سياق الذكاء الاصطناعي تحديداً، يُعرَّف بناء القدرات بأنه عملية تطويرية متعددة الأبعاد لتطوير المعرفة والمهارات والبنية التحتية والثقافة اللازمة لاستيعاب هذه التقنيات واستخدامها بفعالية ومسؤولية .
- تشير الأدبيات الحديثة إلى أن بناء القدرات في مجال الذكاء الاصطناعي لا يقتصر على التدريبات التقنية فقط، بل يمتد ليشمل عملية منهجية متعدد المستويات لتمتد عبر ثلاثة مستويات مترابطة لتشكل معاً الأساس لتحقيق أداء مؤسسي مستدام: **واستنتج Correa & Díaz, 2018** المستوى الفردي (الكفاءات والمهارات): يركز هذا المستوى على تنمية كفاءات الأفراد من خلال اكسابهم مهارات محورية تشمل محو الأمية في الذكاء الاصطناعي والبيانات، وتشغيل نماذج تعلم الآلة (ML)، إضافة إلى التفكير الأخلاقي المرتبط باستخدام التقنيات الذكية. وتُظهر الدراسات أن غياب هذه المهارات يمثل أحد أهم العوائق أمام تحسين الأداء المؤسسى، حيث يؤدى ضعف الكفاءة الفردية إلى سوء توظيف أدوات الذكاء الاصطناعى أو إهمالها بالكامل.
- **واوضح Gallardo *et al.*, 2025** المستوى المؤسسى (الثقافة التنظيمية والقيادة): يتطلب التبني المستدام للذكاء الاصطناعي وجود قيادة تحويلية وثقافة تنظيمية داعمة للإبتكار، وقادرة على تعزيز القدرة الاستيعابية (Absorptive capacity) – وهى قدرة المؤسسة على إدراك قيمة المعرفة الجديدة واستيعابها وتطبيقها عملياً.

- **وتشير دراسة Guangming *et al.*, 2025** إلى غياب ثقافة التجريب والتعلم المستمر يؤدى إلى بقاء الحلول الرقمية حبيسة النطاق التجريبى دون تحقيق أي أثر فعلى على الأداء المؤسسى.
- **و أوضح Gandhi & Mahoney, 2011** المستوى المنهجى (الحوكمة والبنية التحتية): يركز هذا المستوى على الأطر التنظيمية والتشغيلية، بما يشمل الأطر القانونية، ومعايير البيانات، وبروتوكولات التشغيل البيني التي تتيح التكامل بين أنظمة الذكاء الاصطناعي المختلفة (مثل أدوات إنترنت الأشياء IoT، ونظام SCADA)
- **وأوضح Jørgensen & Ma , 2025 ان** الربط فيما بينها ويعد هذا المستوى شرطاً أساسياً للإنتقال من الاستخدام الجزئى للتقنيات إلى التوسع المستدام.

جدول (1): الإطار المفاهيمي لقدرات الذكاء الاصطناعي المستدامة

المستوى	متطلبات القدرة الرئيسية	الأثر على الأداء المستدام
الفردي	محو الأمية في الذكاء الاصطناعي والبيانات، التدريب الأخلاقي	يقلل من الأخطاء التشغيلية؛ ويضمن الاستخدام المسؤول.
المؤسسى	القيادة التحويلية، الثقافة المرنة (Agile)	يدفع الابتكار ؛ ويتغلب على مقاومة التغيير .
المنهجي	معايير التشغيل البيني، حوكمة البيانات	يُمكن من التوسع؛ ويمنع عزلة البيانات

(Rohde *et al.*, 2024)

يستخلص من هذا الإطار عن ضرورة الاستثمار في المستويات الثلاثة (الفردية، والمؤسسية، والمجتمعية) بشكل متوازي لتحقيق تحول مؤسسي مستدام، وبدون ترسيخ للثقافة المؤسسية لدعم الابتكار والتعلم الذاتي ستظل المبادرات الرقمية مجرد مشروعات تقنية معزولة تفتقر للقوة الدافعة لإحداث تغيير هيكلي أو تحسن فعلى في كفاءة المؤسسة.

٢.٨ الذكاء الاصطناعي في إدارة الموارد المائية: أدلة التأثير

تعد إدارة الموارد المائية والري في المؤسسات الحكومية، بمثابة مجالاً تطبيقياً واضحاً لدراسة العلاقة المباشرة بين بناء قدرات الذكاء الاصطناعي وتحقيق الأداء المؤسسي المستدام. وتشير الدراسات السابقة إلى أن وزارة الموارد المائية والرى تمثل حالة دراسية مناسبة لإبراز هذا الارتباط من خلال مؤشرات قابلة للقياس. وتتجلى إسهامات تقنيات الذكاء الاصطناعى في دعم الأمن المائى والتنمية المستدامة من خلال المحاور التالية:

١.٢.٨ أداء الذكاء الاصطناعى في إدارة واستدامة الموارد المائية

رصدت الأدبيات أن أدى الاستثمار في قدرات الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه، مما يؤدى إلى دور متنامي في أداء مؤسسات إدارة المياه من خلال:

- **دراسة Al khatib & Alshaib, 2025** أظهرت ان الرى الذكى وتحسين كفاءة استخدام المياه: أظهرت أنظمة الري الذكي المدعومة بالذكاء الاصطناعي توفير في المياه بنسبة 30–50%.
- **دراسة OĞUZTÜRK, 2025** أوضحت ان الإنتاجية الزراعية: زادت انتاجية المحاصيل بنسبة 20–30%، مثل زيادة محصول الذرة بنسبة 32.17% بإستخدام الري بالتنقيط المحسن وان كفاءة الموارد: شهدت كفاءة استخدام المياه (WUE) تحسن بنسبة **17–24%** .
- **دراسة Saxena *et al.*, 2023** استنتجت ان الدقة والكفاءة: تسهم تقنيات الذكاء الاصطناعى في رفع مستوى دقة التنبؤ وتطبيق ممارسات فعالة ومستدامة، مثل: تمكين جدولة الري الذكية، والصيانة التنبؤية، واكتشاف التسريبات، ومراقبة

جودة المياه، وتطبيق نماذج التعلم الآلي والتعلم العميق من خلال التحكم الفوري باستخدام أنظمة إنترنت الأشياء المتكاملة.

- **دراسة Abdulameer *et al.*, 2025b** أوضحت ان التحليلات التنبؤية: تعمل التحليلات التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي على تطوير إدارة الموارد المائية من خلال التنبؤ الدقيق بالطلب على المياه، وتعزيز قدرات إدارة مخاطر الفيضانات، وتحسين مراقبة جودة المياه، بما يسهم في الحد من آثار الكوارث الطبيعية وحماية النظم البيئية ودعم استدامة الموارد المائية.

٢.٢.٨ دور الذكاء الاصطناعى في الأداء التشغيلي والتوازن البيئي لأنظمة إدارة المياه

- **أسهمت دراسة Al khatib & Alshaib, 2025 لتوضيح** يسهم دمج الذكاء الاصطناعي في أنظمة إدارة المياه، مثل: تقنيات الري الذكي والزراعة الدقيقة المدعومة بالذكاء الاصطناعي، في رفع مستوى الأداء التشغيلي وتحقيق التوازن بين المتطلبات الإنتاجية والاعتبارات البيئية.
- **ودراسة Jiang, 2025 أوضحت** انعكاس ذلك إيجابيا على الكفاءة التشغيلية ويدعم مسارات النمو الاقتصادي المستدام.
- **ودراسة Bawa, 2025 أوضحت دور** توظيف تطبيقات الذكاء الاصطناعي في مجالات معالجة مياه الصرف الزراعى والصحي إلى التنبؤ بمستويات الكفاءة وتقليل الأخطاء البشرية، بما يوفر حلول أكثر جدوى اقتصادية واستدامة بيئياً ليحقق أثر بيئي مستدام.
- **كما عززت دراسة Abdulameer *et al.*, 2025c** ان بناء قدرات الذكاء الاصطناعي "القدرة التكيفية" وهي قدرة المؤسسة على الاستجابة للظروف المتغيرة (مثل الجفاف) كالتالى: اتخاذ القرار في الوقت الصحيح: يسمح دمج أدوات إنترنت الأشياء (IoT) مع نماذج الذكاء الاصطناعي بالمراقبة المستمرة لرطوبة التربة وتأثيرها على المحاصيل، مما يتيح تدخلات فورية مبنية على البيانات بدلاً من التدابير القائمة على رد الفعل .الصيانة التنبؤية: تتنبأ نماذج الذكاء الاصطناعي بأعطال المعدات قبل حدوثها، مما يقلل بشكل كبير من فترات التوقف وتكاليف الصيانة، وهو أمر بالغ الأهمية لاستدامة البنية التحتية على المدى الطويل.

٣.٢.٨ الذكاء الاصطناعى والقدرات المؤسسية وحوكمة للأداء

- **دراسة Jamil *et al.*, 2025** ان ما يساعد علي تبني الذكاء الاصطناعي ورفع مستوى الجاهزية التكنولوجية للمؤسسات على تعزيز بناء قدرات العاملين، وهو ما ينعكس بصورة إيجابية على الأداء المؤسسي المستدام .
- **ودراسة Masud *et al*, 2025** أظهرت ان الحوكمة الفعالة للذكاء الاصطناعى، إلى جانب الاستعداد المؤسسى، من العناصر الأساسية لتمكين المؤسسات من تطبيق إدارة ونظم المياه الذكية بكفاءة وتحقيق أقصى استفادة ممكنة من هذه التقنيات.

٤.٢.٨ التحديات والمعوقات أمام إستخدام الذكاء الاصطناعى في إدارة الموارد المائية

- **أوضحت دراسة Rawat *et al.*, 2024** على الرغم من مكاسب تطبيقات الذكاء الاصطناعى، إلا أنه يوجد العديد من العوائق المتعلقة بالقدرة على استدامة استخدام الذكاء الاصطناعي على المدى الطويل.

١.٣.٢.٨ فجوة القدرات ونقص المهارات

- **دراسة Bourgeois, 2016** أظهرت ان نقص الموظفين المدربين القادرين على إدارة أنظمة الذكاء الاصطناعي المعقدة. حيث تعد فجوة محو الأمية الرقمية ظاهرة حادة بشكل خاص في البيئات الريفية والإدارات اللامركزية، مما يحد من قابلية التوسع في حلول الذكاء الاصطناعي.

- **دراسة Oviedo *et al.*, 2024 أوضحت** الأثر: قد يتم التخلي عن الأدوات عالية التقنية إذا لم يتمكن الموظفون المحليون من تشغيلها أو استكشاف أخطائها وإصلاحها، مما يؤدي إلى "متلازمة المشاريع التجريبية" (العديد من المشاريع التجريبية، وقليل من الحلول الموسعة).

٢.٣.٢.٨ جودة البيانات والبنية التحتية

- **دراسة Gallardo *et al.*, 2025** تعتمد جودة نماذج الذكاء الاصطناعي على جودة البيانات التي يتم التدريب عليها فقط .
- **دراسة Guangming *et al.*, 2025** أوضحت ان المؤسسات تواجه فجوات في البيانات ونقصًا في التشغيل البيني بين الأنظمة القديمة وأدوات الذكاء الاصطناعي الجديدة .
- **دراسة Mahoney & Gandhi, 2011** قضايا الصندوق الأسود: استخدام نماذج الذكاء الاصطناعي الغامضة أو "الصندوق الأسود" حيث يكون كيفية ربط العلاقات وسببيتها ومنطق القرار مخفيًا .

٣.٣.٢.٨ تكاليف الطاقة والتكاليف البيئية

- **دراسة Jørgensen & Ma , 2025** اظهرت ان الذكاء الاصطناعي يحسن استخدام الموارد حيث أن التكنولوجيا لها بصمة بيئية.
- **دراسة Rohde *et al.*, 2024 أظهرت ان** للتدريب على النماذج الكبيرة يحتاج طاقة كبيرة، كما ينطوي إنتاج الأجهزة على استخراج الموارد
- **لذلك أوضحت دراسة Abdulameer *et al.*, 2025c** يجب أن يأخذ الأداء المؤسسي المستدام في الحسبان الأثر البيئي والذي يتضمن أن الموارد التي يوفرها الذكاء الاصطناعي لا تتجاوز الموارد التي يستهلكها.
- **دراسة** Antoniuk & Koliada, 2025 **أوضحت ان** لتحقيق الاستفادة الكاملة والمستدامة من الذكاء الاصطناعي في إدارة المياه معالجة عدد من التحديات، يصبح تقييم الأثر لتطبيقات الذكاء الاصطناعي ضرورة أساسية لتحقيق التوازن بين الكفاءة التشغيلية ومتطلبات الاستدامة.

وفى هذا السياق، يعد بناء القدرات في مجال الذكاء الاصطناعي، عند مواءمته استراتيجياً مع أهداف الاستدامة ومدعوماً بأطر حوكمة قوية وتعاون متعدد التخصصات، مدخلاً رئيسياً لإحداث تحول نوعي في مؤسسات قطاع المياه، بما يعزز مرونتها وكفاءتها وقدرتها على الاستجابة للتحديات المتغيرة. ومع ذلك، لا تزال هناك قيود قائمة تتعلق بجودة البيانات، وتكاليف البنية التحتية، والتكامل مع الأنظمة التقليدية، فضلاً عن ارتفاع التكاليف وقضايا الخصوصية والأمن والاعتماد على نماذج الذكاء الاصطناعي المغلقة.

٣.٨ ترابط بناء القدرات والأداء المؤسسي في عصر الذكاء الاصطناعي

- يشير الترابط بين بناء القدرات والأداء المؤسسى في عصر الذكاء الاصطناعى (Capacity-Performance AI Nexus) إلى مفهوم حديث يدرس العلاقة بين ثلاث أركان أساسية: بناء القدرات (Capacity Building) في إعادة تشكيل المهارات، والأداء المؤسسى (Organizational Performance) كمخرج نهائي ينعكس على المجتمع، والذكاء الاصطناعى (Artificial Intelligence) ممثلا البيئة التي يتم فيها الترابط حيث أصبحت المحرك لتعريف القدرات والتأثير على الأداء، والترابط (Nexus) لهذه الأركان الثلاثة هو إلتقاء معقد حيث لا يتحقق الأداء العالى في العصر الحجيث دون امتلاك قدرات تقنية وبشرية تتعامل مع البيانات والنجاح المؤسسى يوفر الموارد التي تخدم مجددا لتطوير القدرات.

- تسلط الأدبيات ،منها **دراسة Almheiri *et al.*, 2024** الضوء على تحدى جوهرى يواجه المؤسسات في الدول النامية، وهى ظاهرة 'متلازمة المشاريع التجريبية' (Pilot Project Syndrome) حيث تتسم بكثرة المشاريع الرائدة وندرة الحلول الموسّعة والمؤسّسة. وتُرجع الدراسات هذه الظاهرة في المقام الأول إلى نقص الكوادر المدرّبة القادرة على إدارة الأنظمة الذكية بعد مرحلة التنفيذ الأولى.
- **دراسة Balaraman *et al.*, 2025** توضح لضمان أن تؤدي استثمارات الذكاء الاصطناعي إلى أداء مستدام، يجب على المؤسسات تبني نهج استراتيجي محدد .

١.٣.٨ تنمية القيادة التحويلية

- **دراسة Rawat *et al.*, 2024** توضح ان بناء القدرات المستدام يدار من قبل قادة يمكنهم صياغة رؤية واضحة وتعزيز ثقافة السلامة النفسية ليتم تشجيع التجري.
- **دراسة Farooq *et al.*, 2025** وضحت انه يجب أن يتحول القادة من نظرة تقنية بحتة للذكاء الاصطناعي إلى نظرة شمولية تدمج الذكاء الاصطناعي في الاستراتيجية الأساسية للمؤسسة وثقافتها.

٢.٣.٨ قياس العائد على الاستثمار (ROI) بما يتجاوز الجوانب المالية

- **دراسة Kayaga *et al.*, 2013** توضح لتنتقل المؤسسات إلى قياس العائد المالي على الاستثمار (ROI) لأكثر من بعد وهذا يشمل:
  - **العوائد الاجتماعية:** العدالة، وإمكانية الوصول، والحد من الاحتيال.
  - **العوائد البيئية:** الحد من البصمة الكربونية والاستدامة في استخدام والحفاظ على المياه.
  - **العوائد الاستراتيجية:** إنشاء أصول بيانات قابلة لإعادة الاستخدام وتحسين استراتيجيات السياسات.

٣.٣.٨ إعطاء الأولوية لـ "الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير" (XAI)

- **دراسة Orme& Campbell et al., 2019** أظهرت لضمان التنفيذ على المدى الطويل، يجب على المؤسسات إعطاء الأولوية لـ "الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير" (XAI). تجعل تقنيات XAI (مثل SHAP وLIME) قرارات الذكاء الاصطناعي شفافة، وهو أمر بالغ الأهمية لتحقيق نجاح الهيكل التنظيمي وقبول المستخدمين في القطاعات العامة .

القسـم الثــانـي: الاطار التطبيقي

دراسة تحليلية لقياس بناء قدارت الذكاء الاصطناعي

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل شامل لقياس فعالية بناء قدرات الذكاء الاصطناعي وتحويل البيانات المستخلصة من الاستبيانات والمقابلات المتعمقة إلى رؤى تدعم اتخاذ القرار وتطوير رأس المال البشرى.

١. التصميم البحثي للعينة

اشتمل التصميم البحثي التطبيقي للعينة علي التالي:

- حجم العينة من 161 مشارك، اكتمل منهم بيانات 144 بشكل كامل في مؤشرات الأداء الرئيسية، بنسبة فقد بنحو ١٠.٥٪ في مؤشرات استخدام المنصة وهي نسبة مقبولة لا تؤثر علي صحة النتائج.
- فئة العينة: كوادر خبيرة – الغالبية العظمي منها تمتلك خبرة مهنية تتجاوز ١٠ سنوات (بنسبة ٦٩.٢٪)
- التوزيع النوعي: توزيع متوازن (ذكور ٤٧.٦٪ – اناث ٥٠.٣٪)
- التحليل: تميز تحليل البيانات بالتثليث (Triangulation) حيث شمل مصدرين كمي وكيفي وايضا تحليل موضوع (Thematic Analysis)
- الأساليب الإحصائية المستخدمة: ماويتني (Mann-Whitney U) – ارتباط بيرسون – انحدار خطي متعدد – نموذج مسار هيكلي

٢. منظومة مؤشرات الأداء

لرصد مؤشرات الأداء تم استنتاج مصفوفة للربط بين أسئلة الاستبيان والمؤشرات الحكومية وكيفية قياسها في جدول (٣) سعياً لتقديم اطار يتبني الذكاء الاصطناعي في سياق مؤسسي مستدام. وتضم هذه المصفوفة تسعة مؤشرات رئيسية (كمتغيرات) ومؤشرات الأداء (كمؤشر تابع) وموزعة على عدة محاور وظيفية: محور التوافق المعرفي ومحور التوافق التنفيذي ومحور الجاهزية الرقمية وومحور التوافق التشغيلي ومحور فاعلية نقل التدريب ومحور جودة الأداء الفعلي.

١.٢ مصفوفة الربط بين القياس الكمي من الاستبيان وتقييم البرنامج التدريبي ومؤشرات الأداء الحكومي

أولاً: أدوات القياس

تكشف المصفوفة عن ربط بين ثلاثة مستويات من القياس: أسئلة الاستبيان الميدانية، وبنود تقييم البرنامج، ومؤشرات الأداء الحكومية، مما يجعل كل سؤال من أسئلة الاستبيان يُغذّي مؤشراً حكومياً قابلاً للقياس، وهو نموذج قياس شامل ومتسق.

ثانياً: المستوى المؤسسي

يُمثّل المستوى المؤسسي النسبة الأكبر من المؤشرات (البنود٢، ٣، ٤، ٥، ١١)، مما يعني أن البرنامج التدريبي يستهدف في المقام الأول تحسين الأداء على مستوى الجهة لا الفرد فحسب، وهذا توجه يتسق مع أهداف التطوير الحكومي الشامل.

ثالثاً: البعد الفردي

بندي ١ ، ١٠ مرتبطين بمستوى الفرد (البند١: تعلم المهارات) إلى جانب (البندين ١٠: تحسين الأداء)، وهذا يُشير إلى أن قياس الأثر تنموي على الموظف.

رابعاً: التحول الرقمي

خُصص له بندان ٨، ٩ تحت مؤشري ITSQI وEUI ، مما يعكس أولوية لقياس التحول الرقمي في المنظومة.

وللخروج بجدول (٣) تم تجميع عدد من المؤشرات الحكومية ومصادرها طبقا لجدول (٢) الذي يوضح مجالات القياس وبعض الأسئلة المرتبطة ومؤشرات الأداء والمراجع العلمية الداعمة لذلك

جدول (٢): مجالات القياس ومؤشرات الأداء والمراجع المنهجية الداعمة

مجال القياس	أسئلة الاستبيان المرتبطة	مؤشرات الأداء (KPIs)	المرجع العلمي/المنهجي الداعم
البنية التحتية التكنولوجية وقابلية الاستخدام	جودة التقنية، رضا المستخدم، تنوع الأدوات الرقمية.	**EUI** (قابلية استخدام المنصة) **ITSQI** (جودة دعم تكنولوجيا المعلومات) **CPAN** (ترابط بناء القدرات والأداء)	**معايير (ITU) (2024):** لقياس استجابة الشبكات وتكامل تكنولوجيا المعلومات في مجتمع المعلومات. **نموذج (Kirkpatrick & Kirkpatrick) (2006):** المستويات الأربعة لتقييم التدريب (الاستجابة، التعلم، السلوك، النتائج).
بناء القدرات المعرفية	التقييم الذاتي للمعرفة، اكتساب مهارات برمجية جديدة.	**SDI** (تنمية المهارات) **TTI** (نقل التدريب)	**منهجية (Likert) (Seaman & Allen,) 2007):** لشرعية تحويل الردود النوعية إلى فئات كمية (منخفض/مرتفع). **نموذج (Baldwin & Ford, 1988):** نظرية نقل التدريب ومحدداته
كفاءة العمليات	تقليص وقت إنجاز المهام، أتمتة المهام المتكررة، تحسن جودة المخرجات.	**CEI** (الكفاءة التشغيلية) **QID** (كفاءة الأداء الوظيفي)	**نموذج (Norton & Kaplan) (1996):** ميزان الأداء المتوازن الذي يربط التعلم والنمو بالعمليات الداخلية.

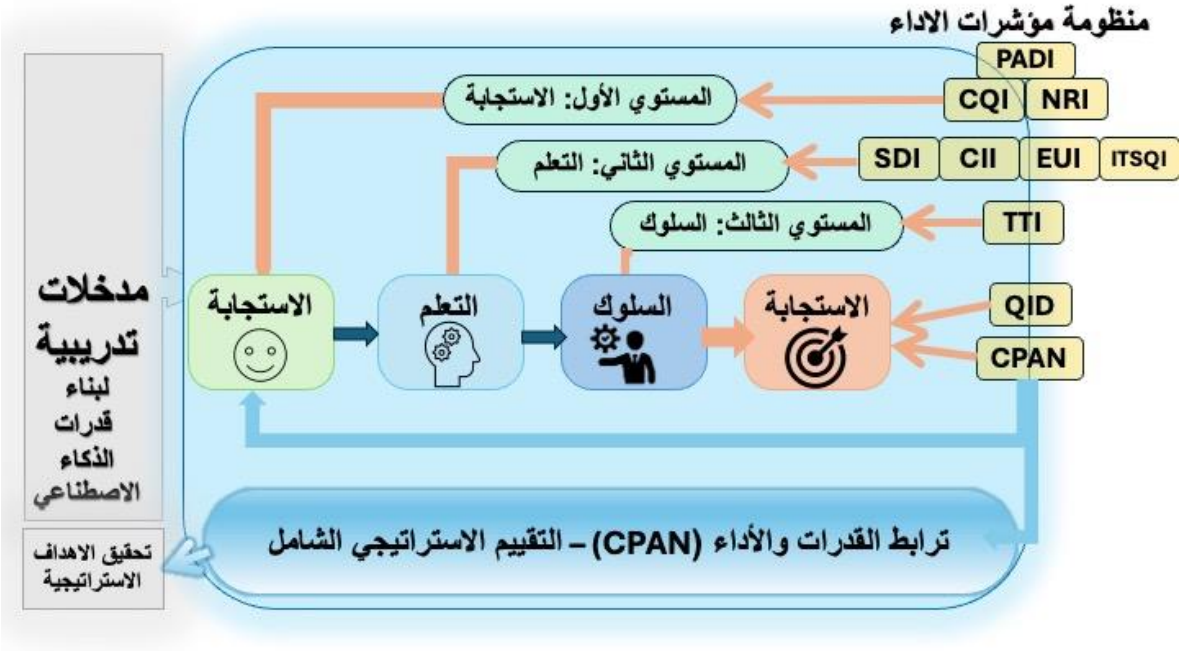
تقبل التكنولوجيا والذكاء الاصطناعي	وضوح مخرجات الخوارزميات، الثقة في التوصيات الذكية، سهولة التعامل مع الواجهة.	**PDAI** (إدراك مخرجات الخوارزميات)	**نموذج (TAM Davis, 1989):** لربط "الفائدة المتوقعة" و"سهولة الاستخدام" بتقبل الأنظمة التقنية.
تجربة المستخدم وجودة المحتوي و الابتكار	رضا المستخدم، تنوع الأدوات الرقمية المستخدمة (Python, Gemini)، تحسين استخدام الموارد.	**CQI** (جودة المحتوي) **NRI** (التوصية) **CII** (ابتكار المحتوي)	**إطار (OECD, 2020):** مؤشر الحكومة الرقمية الذي يربط تجربة المستفيد بكفاءة الخدمات الحكومية.

المصدر: إعداد الباحثة من الدراسات السابقة

يُمثّل هذا الجدول إطارًا قياسيًا متعدد الأبعاد يسعى إلى رصد أثر التحول الرقمي وتبنّي الذكاء الاصطناعي في سياق مؤسسي، وتتجلى قيمته المنهجية في ربطه بين ثلاثة مستويات تحليلية متكاملة: **مستوى المدخلات** (البنية التحتية والقدرات)، و**مستوى العمليات** (الكفاءة التشغيلية وتقبّل التكنولوجيا)، و**مستوى المخرجات** (التوصية المنصة وبناء قدرات الابتكار الرقمي).

مؤشرات المصفوفة تم اختيارها بحيث تغلق الحلقة التقييمية لمنظومة التدريب لتتحول من أداة رصد الي أداة تشخيصية وتحسين مستمر طبقا لنموذج كيركباتريك لقياس الأثر المؤسسي للتدريب. كما في شكل (١) التالي:

شكل (١): نموذج الترابط البنائي الشامل وفق نموذج كيركباتريك



المصدر: إعداد الباحثة من الدراسات السابقة

كما هو واضح من الشكل ان هذه الدراسة تقدم اطار قياسي متعدد الابعاد لتبني الذكاء الصطناعي في سياق مؤسسي، لذا تم ربط ثلاث مستويات للوصول الي اطار متكامل ونموذج مسار الترابط وفق مستويات كيركباتريك الأربعة (Kirkpatrick Path Model) كالتالي:

١. مرحلة المدخلات (التوافق التنفيذي والمعرفي)

ويمثلها المستوى الأول الاستجابة (Reaction): يهدف لقياس مدى رضا المشاركين وتفاعلهم مع جودة البرنامج، والمؤشرات المرتبطة: (CQI) جودة المحتوى ليقيس مدى ملاءمة المادة العلمية لتطلعات المتدرب (NRI) التوصية الصافي ويقيس الولاء للبرنامج ومدى الرضا العام– (PDAI) ملاءمة تصميم البرنامج ويقيس مدة البرنامج الذي يرتبط بدوره بتصميم البرنامج. وتعبر عن المتغيرات مستقلة. وعندما تكون علاقة الترابط إيجابية نتيجة محتوى جيد ومنصة سهلة الاستخدام، فتزداد قابلية المتدرب للانتقال للمستوى الثاني (التعلم)

٢. مرحلة العمليات (الجاهزية والتعلم)

ويمثلها المستوى الثاني التعلم (Learning) : تهدف الي قياس مدى اكتساب المعارف والمهارات الجديدة، والمؤشرات المرتبطة: (SDI) تطوير المهارات ويقيس التقييم الذاتي لنمو المهارة الفنية – (CII) ابتكار المحتوي وهو استيعاب الأفكار الجديدة ومدى حداثة المعلومات – (EUI & ITSQI) الجاهزية الرقمية وتقع تحتها مهارة استخدام الأدوات التقنية والمنصات.

وعندما تصبح علاقة الترابط هي التعلم الناجح "المحرك" الذي يسمح للمتدرب بتغيير سلوكه في بيئة العمل للانتقال الي المستوي الثالث

٣. مرحلة الوساطة (نقل الأثر)

ويمثلها المستوى الثالث السلوك (Behavior) والتي تستهدف قياس مدى تطبيق ما تم تعلمه في الممارسة العملية (نقل التدريب)، والمؤشرات المرتبطة: (TTI) انتقال التدريب حيث انه المؤشر الجوهري لقياس مدى ممارسة المهارات في المهام اليومية – (CEI) فاعلية التنسيق وهي القدرة على حل المشكلات وتنسيق العمل بفاعلية أكبر اثناء التدريب.

وتكمن علاقة الترابط في تحول التعلم إلى "سلوك مستدام"، وبذلك يبدأ الأثر الكمي بالظهور على مستوى الإنتاجية مما يعني الانتقال الي المستوي الرابع

٤. مرحلة المخرجات (جودة الأداء النهائي)

وتمثل بالمستوى الرابع النتائج (Results) : والهدف في هذا المستوي يكون قياس العائد النهائي على المؤسسة (تحسن الأداء الفعلي)، والمؤشرات المرتبطة: (QID) كفاءة الأداء الوظيفي والتي تنعكس من جودة الأداء الفعلي وهو قياس أثر التدريب على الكفاءة الوظيفية وتقليل القيود على الأداء – (PPAN) ترابط القدرات والأداء وهو المؤشر التجميعي الذي يربط نمو القدرات (Inputs) بالنتائج النهائية(Outputs)

وتتمثل علاقة الترابط في هذا المستوى بانها هي "الغاية" النهائية التي تثبت الجدوى الاقتصادية والتشغيلية للبرنامج التدريبي

ويمكن تلخيص هيكل الترابط كما يلي: الاستجابة (CQI, NRI) تؤدي إلى التعلم (SDI, CII, ITSQI) فيؤدي إلى السلوك (TTI, CEI) وفي النهاية تصل إلى النتائج (QID, CPAN)

ومن المنطق الإحصائي للنموذج: نجد ان يعتمد هذا الترابط على "سلسلة الوساطة(Mediation Chain) "، حيث أن:

المتغيرات المستقلة :هي جودة المحتوى والمنصة (المستوى١)

المتغيرات الوسيطة :هي اكتساب المهارة (المستوى٢) ونقلها للعمل (المستوى٣)

المتغير التابع النهائي :هو جودة الأداء الفعلي (المستوى ٤)

جدول (٣): مصفوفة الربط بين القياس الكمي من الاستبيان وتقييم البرنامج التدريبي ومؤشرات الأداء الحكومي

	تقييم البرنامج التدريبي		مؤشرات الأداء (KPI)				القياس والتصنيف		نموذج كيرباتريك	المحور
	سؤال الاستبيان	البند	نوعه	مجال القياس	المؤشر	الرمز	طريقة الحساب	مستوى القياس		
١	هل ساهم البرنامج في تطوير مهاراتك؟	مساهمة البرنامج في تطوير مهارة	تعلم	تنمية القدرات	تطوير المهارات	SDI	(عدد "نعم" ÷ الاجمالى) * 100	فردي	المستوي الثاني (التعلم)	التوافق المعرفي
٢	مدي إمكانية تطبيق المحتوي في العمل؟	تطبيق موضوع البرنامج في العمل	نقل تعلم	التطبيق العملي	انتقال التدريب	TTI	(عدد "نعم" ÷ الاجمالى) * 100	مؤسسي	المستوي الثالث (السلوك)	فاعلية نقل التدريب
٣	كيف تقيم محتوي المادة العلمية؟	تقييم المحتوي العلمي للبرنامج	الجودة	الجودة	جودة المحتوي	CQI	تقليل الأخطاء / رضا المشارك %	مؤسسي	المستوي الأول (الاستجابة)	التوافق التنفيذي
٤	هل توصي بحضور البرنامج؟	رضا المتدربين وتزكيتها للزملاء	رضا	رضا المتدربين	التوصية الصافي	NRI	(عدد الموصين-عدد غير الموصين)/اجمالي المشاركين	مؤسسي	المستوي الأول (الاستجابة)	التوافق التنفيذي
٥	هل قدمت أفكار جديدة؟	البرنامج قدم موضوعات جديدة	جودة المحتوى	الابتكار	ابتكار المحتوي	CII	عدد الإفكار الجديدة	مؤسسي	المستوي الثاني (التعلم)	التوافق المعرفي
٦	ما تقييم مدة البرنامج؟	تقييم مدة البرنامج	تصميم البرنامج	الإنتاجية	ملاءمة تصميم البرنامج	PDAI	نسبة تقليل الزمن	تشغيلي	المستوي الأول (الاستجابة)	التوافق التنفيذي
٧	مدي قدرة المنسق علي حل المشاكل؟	القدرة على حل المشاكل	إدارة التنفيذ	الاستدامة	فاعلية التنسيق	CEI	معدل	تشغيلي	المستوي الأول (الاستجابة)	التوافق التنفيذي
٨	هل استخدمت أدوات رقمية؟	تقييم المهارة التقنية	التحول الرقمي	التحول الرقمي	جودة دعم تكنولوجيا المعلومات	ITSQI	عدد الأدوات المستخدمة / عدد المشاركين	قطاعي	المستوي الثاني (التعلم)	الجاهزية الرقمية
٩	هل وجدت المنصة سهلة الاستخدام؟	تقييم المنصة الالكترونية	جودة تقنية	التحول الرقمي	قابلية استخدام منصة	EUI	مقياس ليكرت ثلاثي		المستوي الثاني (التعلم)	الجاهزية الرقمية
١٠	هل تحسن أداؤك في المهام الموكلة؟	أسلوب تنفيذ البرنامج التدريبي	جودة التنفيذ	تحسين الأداء	كفاءة الأداء الوظيفي	QID	متوسط تقييم الأداء الوظيفي	فردي	المستوي الرابع (النتائج)	جودة الأداء الفعلي
١١	ما التقييم العام للبرنامج؟	فاعلية البرنامج	جودة اداء	الأداء الوظيفي	ترابط بناء القدرات والاداء	CPAN	مجموع مؤشرات الأداء النوعية	مؤسسي	المستوي الرابع (النتائج)	جودة الأداء الفعلي

المصدر: إعداد الباحثة من دراسات سابقة والاستبيان

٣. التحليل الإحصائى الوصفى

١.١ نتائج تحليل الاستبيان

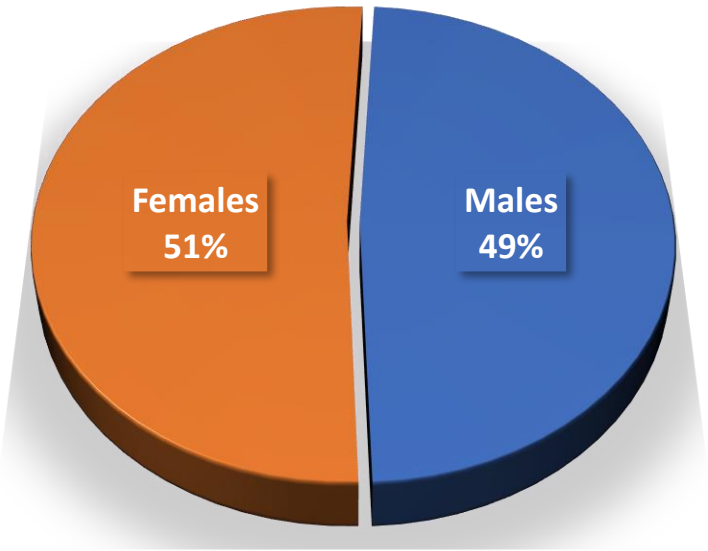
١.١.١ ثبات الأداة (معامل كرونباخ)

تبلغ نسبة معامل ألفا كرونباخ لمجمل المؤشرات (بإستثناء SDI) 0.747 وهى قيمة تشير الى ثبات داخلي ومقبول وجيد، مما يؤكد تماسك الأداة المستخدمة ومصداقيتها في قياس مؤشرات الأداء المختلفة.

٢.١.١ الخصائص الديموغرافية للعينة

توزعت العينة بشكل متقارب بين الذكور 70 مشارك (47.6%) وإناث 74 مشاركة (50.3%) وهو توزيع يعكس تمثيلاً متوازياً بين الجنسين كما في الشكل (٢). **مما يعنى أن** كلا الجنسين يُقيّمان البرنامج التدريبى بشكل متماثل تماماً، مما يعني أن النظام **محايد جنسياً** في تجربة المستخدم مما يعزز قابلية تعميم النتائج.

شكل (٢): يوضح نسب الذكور إلى الإناث المشاركين في التدريب



المصدر: إعداد الباحثة من نتائج الاستبيان

ولتحليل الفروق بين الجنسين (الذكور والإناث) في كل مؤشر من مؤشرات الأداء جرى إختبار (Mann–Whitney U) مان–ويتنى كما في الجدول (٤) حيث أوضحت النتائج أنه لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية بين الذكور (n=70) والإناث (n=74) في أيٍّ من المؤشرات التسعة ($p > 0.05$ جميع القيم) وتميزت متوسطات مؤشرات (CII, NRI, CQI, TTI, CEI) بتقارب شديد بين الجنسين، كما تجدر الإشارة إلى أن مؤشر (PDAI) أظهر أقرب قيمة للدلالة مع الذكور أعلى طفيفاً مقابل للإناث (p=0.076)، وتدعم هذه النتيجة افتراض تكافؤ الفرص بين الجنسين في استخدام النظام وتقييمه، مما يشير إلى نجاح التصميم في تحقيق الشمولية كما في شكل (٢) وجدول (٤)

جدول (٤): تحليل الفروق بين الجنسين في الاستجابة للمؤشرات

المؤشر	وصف المؤشر	وسيط (ذكور)	وسيط (إناث)	قيمة U	قيمة p	حجم الأثر r	الدلالة مستوى الدلالة (α =0.05)
SDI	Skill Development Index مؤشر تطوير المهارات	3	3	2545	0.8361	0.017	غير دال
TTI	Training Transfer Index مؤشر انتقال التدريب	2.5	2.5	2588	0.9945	0.001	غير دال
CQI	Content Quality Index مؤشر جودة المحتوى	3	3	2730	0.4904	0.057	غير دال
NRI	Net Recommendation Index مؤشر التوصية الصافي	3	3	2632	0.8286	0.018	غير دال
CII	Content Innovation Index مؤشر ابتكار المحتوى	3	3	2564	0.8787	0.013	غير دال
PDAI	Program Design Adequacy Index مؤشر ملاءمة تصميم البرنامج	3	3	2975	0.076	0.148	غير دال
CEI	Coordination Effectiveness Index مؤشر فاعلية التنسيق	3	3	2654	0.7601	0.025	غير دال
ITSQI	IT Support & Quality Index مؤشر جودة دعم تقنية المعلومات	3	3	2752	0.4538	0.062	غير دال
EUI	E-platform Usability Index مؤشر قابلية استخدام المنصة	3	3	2724	0.5267	0.053	غير دال

المصدر: إعداد الباحثة من نتائج الاستبيان

٣.١.١ المؤشرات الرئيسية

طبقا لمصفوفة الربط التي تم استخلاصها جدول (٤) تم اجراء تحليل تفصيلي لتلك المؤشرات والعلاقات المختلفة بينها، وقد تناولت الدراسة المؤشرات التالية:

١.٣.١.١ مؤشر تطوير المهارات (Skill Development Index – SDI)

مؤشر تطوير المهارات **(SDI)** هو تحليل للفجوة المعرفية والنمو التقني، وكشفت البيانات عن تطور ملموس في مستوى الإلمام البرمجي، مع تسجيل فجوة إيجابية واضحة بين مرحلتي ما قبل وما بعد التدريب. (OECD Skills Outlook, 2023)

تم توظيفه في الدراسة لقياس نمو الكفاءات الفردية عبر الزمن ويرتبط بالمستوي الثاني (التعلم) في نموذج كيركباتريك الرباعي. كما انه يوضح الفجوة بين المهارات قبل التدخل التدريبي وبعده. وقد تلاحظ رصد حالة سجلت انخفاضا في التقييم بعد الدورة وحالة أخرى لم يطرأ عليها تغيير، مما يشير إلى تفاوت فردي في استيعاب المادة العلمية. وأبرز المهارات المكتسبة التي نجح المتدربون في اكتسابها: أساسيات البرمجة، والتعامل مع المتغيرات، وأنواع البيانات والتعامل مع المكتبات والمصفوفات الحسابية وتحليل البيانات الجدلية الكبيرة.

٢.٣.١.١ مؤشر انتقال التدريب (Training Transfer Index – TTI)

مؤشر انتقال التدريب **(TTI)** هو مؤشر يقيس مدى قدرة المتدربين على دمج المهارات الجديدة في مهامهم الوظيفية اليومية، مثل:

- تطبيق المهارات: والتي شملت التطبيقات العملية في إنشاء أكواد بسيطة، تحليل جداول البيانات، وتطوير أدوات للتحليل.

- تحسين كفاءة الوقت: أكد حوالي 80% من المشاركين أن المهارات المكتسبة ساهمت في تقليص وقت إنجاز المهام بشكل مباشر.
- تحسين الأداء: فيما يخص جودة العمل، كان التحسن "ملحوظاً، ولكنه لا يزال في طور النمو"، حيث وصفت الغالبية العظمى (13 مشاركاً) التحسن بأنه "جزئي" أو متوسط، مما يتطلب دعماً مستمراً لترسيخ هذه المهارات.

تم استخدام هذا المؤشر للتعرف على مدي توظيف المتدرب للمهارات المكتسبة فعليا في بيئة العمل وهي الفجوة الأكثر اغفالا (في نموذج كيركباتريك المستوي الثالث) في أبحاث التدريب المؤسسي. حيث يقيس المؤشر تكرار تطبيق المهارة – عمق التطبيق – ديمومة الأثر بعد انتهاء البرنامج (Baldwin & Ford, 1988) (Holton, 1996)

٣.٣.١.١ مؤشر جودة المحتوى (Content Quality Index – CQI)

مؤشر جودة المحتوى **(CQI)** يقيس تقييم المتدربين لجودة المادة العلمية المقدمة في البرنامج التدريبي من حيث العمق والملاءمة المهنية والدقة المعرفية، يقيس مدي ملائمة المحتوي الرقمي المقدم للمستخدم من حيث الدقة والوضوح والشمولية والتحديث، مثل: دقة المعلومات – تنظيم المحتوي – ملاءمة المحتوي للسياق المؤسسي – حداثة المصادر (Chiappe *et al.*, 2010) وهو مؤشر مؤسسي وما يميّزه أنه المؤشر الأساسي الذي يرتبط بمؤشر الاداء، أي أن ارتفاع جودة المحتوى يُسهم فعلياً في تقليل قيود الأداء (ISO/IEC 25010:2011).

٤.٣.١.١ مؤشر التوصية (Net Recommendation Index – NRI)

مؤشر التوصية **(NRI)** يعبر عن مستوى الرضا العام ويعكس مستوى عالٍ من الرضا، حيث أبدت الغالبية العظمى رغبة صريحة في التوصية بالدورة للزملاء (إجابات "نعم" و"ربما")، ومن رصد النتائج تؤكد الارتباط بين التدريب وتحسين استخدام الموارد المتاحة حيث أشار أحد المشاركين بالقدرة على انشاء أدوات رقمية لتحليل البيانات مما يعزز الاستفادة من البرمجيات القائمة وسجل مشارك آخر القدرة على تقسيم المشكلات المنطقية الى أجزاء صغيرة وهو ما يعكس تطوراً منهجياً في منهجية حل المشكلات.

٥.٣.١.١ مؤشر ابتكار المحتوى (Content Innovation Index – CII)

مؤشر الابتكار **(CII)** يقيس مدى احتواء البرنامج التدريبي على موضوعات جديدة ومبتكرة لم يسبق للمتدرب التعرف عليها، وهو مؤشر من نوع جودة المحتوى يربط بين تجديد المادة العلمية وأثرها على مستوى مشاركة المتدربين ورضاهم. توظيف الأدوات الرقمية الجديدة يُعدّ في حد ذاته مبادرة ابتكارية قابلة للحساب من خلال حساب عدد الأدوات الرقمية / الأدوات المطروحة للإستخدام. وهذا يعكس مدى حداثة المحتوى التدريبي وقدرته على إضافة قيمة معرفية للمشاركين (مرجع؟؟).

٦.٣.١.١ مؤشر ملاءمة تصميم البرنامج (Program Design Adequacy Index – PDAI)

مؤشر ملاءمة تصميم البرنامج **(PDAI)** يقيس تقييم المتدربين لمدى ملاءمة مدة البرنامج التدريبي وتصميمه الزمني والهيكلي للمحتوى المُقدَّم. وهو مؤشر تشغيلي من نوع تصميم البرنامج، مشتق من السؤال السادس" :ما تقييم مدة البرنامج؟

٧.٣.١.١ مؤشر فاعلية التنسيق (Coordination Effectiveness Index – CEI)

مؤشر فاعلية التنسيق **(CEI)** يقيس قدرة منسق البرنامج التدريبي على حل المشكلات والتعامل مع متطلبات المتدربين أثناء التنفيذ. وهو مؤشر مؤسسي من نوع إدارة التنفيذ. ويُعدّ مؤشر فاعلية التنسيق متغيرًا وسيطًا حيث أنه لا يكتفي بتلقي المدخلات، بل يُحوّلها إلى أثر فعلي على الأداء

٨.٣.١.١ مؤشر جودة دعم التكنولوجيا (IT Support Quality Index – ITSQI)

مؤشر جودة دعم التكنولوجيا **(ITSQI)** يقيس مستوى جودة الدعم التقني المقدَّم من فريق تكنولوجيا المعلومات طوال مدة البرنامج التدريبي، من حيث الاستجابة وحل المشكلات التقنية وضمان استمرارية البيئة الرقمية للتدريب. وهو مؤشر **مؤسسي** من نوع *دعم تقني*، يحتل موقع المتغير الوسيط وما يميّزه بنيوياً هو ما يمكن تسميته بالأثر المضاعف

٩.٣.١.١ مؤشر قابلية استخدام المنصة الالكترونية (E-platform Usability Index – EUI)

مؤشر قابلية استخدام المنصة الالكترونية **(EUI)** يقيس مدى سهولة استخدام المنصة الإلكترونية التدريبية وملاءمتها لاحتياجات المتدربين من حيث التصفح والوصول إلى المحتوى وسلاسة التفاعل. وهو مؤشر قطاعي من نوع التحول الرقمي، مشتق من السؤال التاسع" *:*هل وجدت المنصة سهلة الاستخدام؟"، ويحتل EUI موقعاً فريداً في النموذج، فهو الحلقة الأخيرة في سلسلة القيمة التحليلية، النقطة التي تتحوّل عندها كل استثمارات البنية التحتية والدعم التقني إلى تجربة مدركة فعلية في يد المتدرب.

١٠.٣.١.١ مؤشر اثر القيود الكمية علي الاداء (Quantitative Impact Deficit – QID)

مؤشر **(QID)** ويُعرف باسم" مؤشر أثر القيود الكمية على الأداء، و يُعد هذا المؤشر من المخرجات النهائية والتابعة في منظومة قياس أداء البرنامج التدريبي، حيث يُستخدم لقياس مدى تحسن الأداء التشغيلي الفعلي للموظف بعد التدريب. ويرتبط هذا المؤشر بسؤال الاستبيان "هل تحسن أداؤك في المهام الموكلة؟" كما ورد في المصفوفة، ويقيس أسلوب تنفيذ البرنامج التدريبي وأثره النهائي على جودة وكفاءة العمل. نموذج كيركباتريك :يُصنف هذا المؤشر ضمن المستوى الرابع (النتائج) وهو المستوى الذي يقيس القيمة النهائية التي حققها التدريب للمؤسسة. يتم قياسه من خلال متوسط تقييم الكفاءة الوظيفية للمشاركين باستخدام مقياس ليكرت الثلاثي. يستخدم كمتغير تابع في نماذج الانحدار للتنبؤ بتحسن الأداء.

١١.٣.١.١ مؤشر ترابط بناء القدرات بالاداء (Capacity–Performance Alignment Network – CPAN)

مؤشر **(CPAN)** يعبر عن "كفاءة شبكة بناء القدرات وعلاقتها بالأداء، ويترجم في الدراسة التحليلية بـ "مؤشر شبكة مواءمة القدرات والأداء. "يُعد هذا المؤشر مخرجاً شمولياً يقيس مدى التناغم بين ما اكتسبه المتدرب من قدرات وبين التقييم العام للبرنامج كأداة لتحسين الأداء المؤسسي. هو المقياس الذي يربط بين كفاءة بناء القدرات والرضا العام عن البرنامج، ويُستخدم للتأكد من أن الاستثمار في التدريب قد ترجم فعلياً إلى "مواءمة" ناجحة تخدم الأهداف الوظيفية. يرتبط المؤشر مباشرة بالسؤال الختامي في الاستبيان" ما التقييم العام للبرنامج؟" هذا السؤال لا يقيس الرضا اللحظي فحسب، بل يعكس قيمة البرنامج كمنظومة متكاملة نجحت في مواءمة القدرات مع احتياجات الأداء. يُصنف كأحد المخرجات النهائية (Outcomes) في نموذج الدراسة، حيث يمثل القيمة الكلية المضافة من البرنامج التدريبي. وعلي مستوى نموذج كيركباتريك يقع ضمن المستوى الرابع (النتائج)، لأنه يقيس الانطباع النهائي عن نجاح البرنامج في تحقيق أهدافه الاستراتيجية. كما انه يمثل محصلة التفاعل بين المدخلات التدريبية والعمليات، ويظهر بوضوح في إجابة المتدربين على سؤال التقييم العام للبرنامج، مما يجعله مرآة لنجاح مواءمة القدرات". ويعتبر هذا المؤشر متغير تابع يعكس مدى كفاءة "بناء القدرات" في إحداث تغيير ملموس في بيئة العمل. (Neely *et al*., 1995)

٤.١.١ تحليل تفصيلي لمؤشرات الأداء

تنوعت المؤشرات طبقا لدرجات الاستجابة ما بين أداء مرتفع ومتوسط ومؤشرات اخري مرتبطة بالتحديات كما في جدول (٥)، كما انه عند دمج مؤشرات اخري نتج مؤشرات مركبة لها دلالة.

جدول (٥): الإحصاءات الوصفية لمؤشرات الأداء الرئيسية

المؤشر	المتوسط	الانحراف المعياري	معامل التباين	٪ التحقق	المستوي
SDI	2.562	0.538	21.0%	**85.4%**	مرتفع
TTI	2.472	0.554	22.4%	**82.4%**	متوسط - مرتفع
CQI	2.653	0.546	20.6%	**88.4%**	مرتفع
NRI	2.715	0.497	18.3%	**90.5%**	مرتفع جداً
CII	2.792	0.471	16.9%	**93.1%**	مرتفع جداً
PDAI	2.340	0.878	37.5%	**78.0%**	متوسط
CEI	2.597	0.583	22.5%	**86.6%**	مرتفع
ITSQI	2.549	0.589	23.1%	**85.0%**	مرتفع
EUI	2.597	0.559	21.5%	**86.6%**	مرتفع

المصدر: إعداد الباحثة من نتائج الاستبيان

وتم تقسيم المؤشرات طبقا لذلك كما يلي:

١.٤.١.١ المؤشرات ذات الأداء المرتفع

مؤشرالابتكار(CII) سجّل أعلى متوسط بين جميع المؤشرات (93.1% ~ 2.792 of 3) مع أدنى انحراف معياري (0.471)، وأدنى معامل تباين)16.9(%. ممايعكس وجود قناعة راسخة ومنتشرة لدى المتدربين بأن التدريب يُسهم في اضافة عنصر الابتكار لديهم.

كما جاء مؤشر التوصية (NRI) في المرتبة الثانية بمتوسط (90.5% ~ 2.715)، وهو أيضا من اكثر المؤشرات استقرارا. مما يشير الي أن المحتوى التدريبي يتمتع بقدر جيد من الرضا لدى المتدربين .

مؤشر جودة المحتوي (CQI) سجل متوسط (88.4% ~ 2.653)، مما يشير الي رضا واضح عن ملاءمة ومستوي المحتوي التدريبي.

٢.٤.١.١ المؤشرات ذات الأداء المتوسط

سجل مؤشر نقل التدريب (TTI) متوسط (82.4% ~ 2.472) وهو ما يُعدّ مقبولاً لكنه يكشف عن فجوة محتملة بين البيئة التدريبية وبيئة العمل الفعلية، إذ لم يصل الثلثان إلى الدرجة القصوى (٧٢ اجابوا ب ٣ من ال ١٤٤).

مؤشرفاعلية التنسيق (CEI) ومؤشر قابلية استخدام الشبكة (EUI) كلاهما عند 86.6%، مما يدل على تأثير إيجابي معتدل للتدريب على مسار المشاركين المهني ورضاهم العام.

٣.٤.١.١ المؤشرات المرتبطة بالتحديات

مؤشر ملاءمة تصميم البرنامج التدريبي (PDAI) سجل ادني متوسط بين المؤشرات الفردية (78% ~ 2.340) مع اعلي انحراف معياري بفارق كبير واعلي معدل تباين (37.5%). والأكثر انتباهاً ان ٣٩ مشارك (27.1%) أعطوا درجة ١ (منخفض) في حين أجاب ٨٨ مشارك (61.1%) بالدرجة ٣ (مرتفع). هذا التوزيع الثنائي القطبي يشير الي انقسام حقيقي بين فئتين متناقضتين في تجربتهما.

جدول (٦): المؤشرات المركبة وعلاقتها بالمؤشرات الفرعية

المؤشر المركّب	المؤشرات الفرعية	القيمة	% النسبة	المستوى	التفسير
مؤشر أثر التعلم – LII	Q1، Q2، Q3	2.677	**53.54%**	متوسط	إدراك جيد لأثر التعلم
تقييم فاعلية التدريب – TEE	Q5	2.472	**49.44%**	متوسط	فاعلية تدريب متوسط
مؤشر جودة البرنامج – PQI	Q4، Q6، Q10	1.753	**35.06%**	منخفض	الأضعف – يحتاج مراجعة عاجلة
مؤشر النتائج التنظيمية – OSDRI	Q7، Q8، Q9	2.581	**51.62%**	متوسط	نتائج تنظيمية متوسطة
مؤشر التوصية – NPS-Like	Q2	2.715	**54.31%**	متوسط	ميل للتوصية بالبرنامج
المؤشر المركّب الشامل – TECI	جميع المحاور	2.314	**46.28%**	متوسط–منخفض	فاعلية كلية دون المتوسط

المصدر: إعداد الباحثة من نتائج الاستبيان

١. مؤشر التعلم (LII=53.54%): يقع فوق خط الوسط بهامش ضيّق، مما يعني أن المشاركين يُدركون أثراً نسبياً للتدريب في تنمية مهاراتهم والاحتفاظ بالمعرفة وتحقيق التحسين المستمر، غير أن هذا الأثر لم يصل بعد إلى المستوى المأمول في البرامج الحكومية عالية الجودة.

٢. تقييم فاعلية التدريب (TEE=49.44%): يقع أسفل خط الوسط (50%) ويعكس ضعفاً في مدى استطاعة المشاركين تطبيق ما تعلّموه فعلياً في بيئة العمل. وهذه الفجوة بين التعلم والتطبيق تُعدّ ظاهرة شائعة في التدريب الحكومي وتعكس محدودية الربط بين المحتوى التدريبي والسياق الوظيفي الفعلي (TEE=49% مقابل LII=53%).

٣. مؤشر جودة البرنامج (PQI= 35.06%): الأضعف على الإطلاق، ويحتاج إلى ملاحظة منهجية مهمة: هذا المؤشر يجمع بين متغيرات مقاسة بمقياس 1–3 (PDAI) بشكل مصطنع. غير أن القيمة المنخفضة لـ PQI بمتوسط 0.265 (هذا التباين في المقاييس يُخفِّض قيمة Q/ID ومتغير مقاس بنطاق 0–1 (مؤشر تناسق الاستجابة PDAI و CQI) وارتفاع تباينها يبقيان مصدر قلق حقيقي يستوجب المعالجة.

٤. المؤشر المركب الشامل (TECI = 46.28%): يقع أسفل خط الوسط، مما يعني أن البرنامج التدريبي ككل لم يُحقق بعد الأثر المطلوب وفق المعايير الحكومية. ويستدعي هذا المستوى تدخلاً مؤسسياً عاجلاً لرفع فاعلية البرامج التدريبية.

.

٥.٤.١.١ تحليل تناسق الاستجابات للاستبيان

جدول (٧): تحليل تناسق الاستجابات

الفئة	العدد	النسبة	الدلالة
(تناسق تام) Q/ID = 0	32	**22.2%**	استجابات موثوقة ومتسقة تماماً
إلى 0.5)تناسق جيد(0 < Q/ID	94	**65.3%**	تذبذب طبيعي في الاستجابة
(تناسق منخفض) 0.5 < Q/ID	18	**12.5%**	قد يعكس تردداً أو عدم فهم
(تناسق ضعيف جداً) 0.75 < Q/ID	6	**4.2%**	بيانات تستدعي مراجعة أو إقصاء

المصدر: إعداد الباحثة من نتائج الاستبيان

التفسير العلمي لجدول (٧) هو ان 77.5% المشاركين اظهروا تناسقا جيدا في اجاباتهم مما يعزز موثوقية النتائج الكلية (Q/D≤ 0.5) وان 12.5% من الاستجابات تستحق فحصا إضافيا، وتعكس هذه النسبة: (ا) تردد واقعي وحقيقي في التجربة التدريبية. (ب) صعوبة فهم بعض فقرات الاستبيان. (ج) تحيز الاستجابة الاجتماعية المرغوبة

٦.٤.١.١ نمط الاستجابات بين الجنسين

لتفسير العلمي لفجوة بين الجنسين :يُعدّ الفارق في مؤشر(PDAI) الأبرز إحصائياً يمكن تفسير (لصالح الذكور 0.255) ذلك من خلال عدة عوامل) :أ (التوزيع الاختلافي للأدوار الوظيفية بين الجنسين، مما قد يُتيح للذكور فرصاً أكثر لتطبيق مهارات التطوير الشخصي فور التدريب؛)ب (الاختلاف في نوع المهام اليومية وحجم الصلاحيات؛)ج (العوامل الثقافية والمؤسسية التي قد تُحدّ من استقلالية المرأة في اتخاذ المبادرة بتطبيق ما تعلّمته.

نقطة القوة الأولى :ارتفاع مؤشري التحسين المستمر (CII=93%) والتوصية (NRI=90%) يُشير إلى أن المتدربين يُدركون قيمة التدريب ويتذكرون محتواه، وهذه أرضية خصبة يمكن البناء عليها.

نقطة الضعف الأولى :الفجوة بين التعلم والتطبيق (TECI = 46.3%) هي التحدي الجوهري؛ المعرفة تُكتسب لكنها لا تُترجم بالكفاءة الكافية إلى أداء وظيفي مُحسَّن.

التوزيع الحاد بين 39 مشاركاً رافضاً)27 (%و88 مشاركاً مؤيداً)61 (%يكشف :PDAI الظاهرة الثنائية القطبية في عن وجود مجموعتين متمايزتين في مدى استفادتهما من التدريب، مما يستدعي تحليلاً أعمق للخصائص الديموغرافية والوظيفية لكل مجموعة.

موثوقية البيانات :77.5 %من الاستجابات ذات تناسق جيد، مما يُعطي النتائج قدراً معقولاً من الموثوقية الإحصائية.

التوازن الجنسي :باستثناء مؤشر(PDAI) تتقارب تجربة الذكور والإناث من التدريب بشكل ملحوظ (كما في جدول ٨).

جدول (٨): تحليل مقارن بين الذكور والاناث مع نمط المؤشرات

المؤشر	الذكور)70(	الإناث)74(	الفرق	ملاحظة
SDI	2.557	2.568	+0.011	تقارب – فارق غير دال
NRI	2.729	2.703	−0.026	تقارب – تفوق بسيط للذكور
CII	2.786	2.797	+0.011	تقارب شبه تام
CQI	2.686	2.622	−0.064	فارق معتدل لصالح الذكور
TTI	2.471	2.473	+0.002	تطابق عملي
PDAI	2.471	2.216	**−0.255**	أبرز فارق :تفوق ملحوظ للذكور
CEI	2.614	2.581	−0.033	فارق بسيط لصالح الذكور
ITSQI	2.586	2.514	−0.072	فارق معتدل للذكور
EUI	2.629	2.568	−0.061	فارق بسيط لصالح الذكور

المصدر: إعداد الباحثة من نتائج الاستبيان

نستخلص مما سبق ان

- تضمن تطبيق (follow–up) إعادة تصميم برامج التطبيق العملي :تطوير آليات متابعة ما بعد التدريب .المهارات المكتسبة في بيئة العمل الفعلية، مع تخصيص مشاريع تطبيقية مرتبطة بالمهام الوظيفية الحقيقية
- معالجة الفجوة الجنسية في (PDAI) مراجعة آليات توزيع المهام وإتاحة الفرص المتكافئة للموظفين من الجنسين لتطبيق مخرجات
- إعادة النظر في منهجية (PQI): توحيد مقاييس المؤشرات الفرعية قبل دمجها في مؤشر مركّب، أو استخدام التوحيد القياسي لتجنب التشويه الناتج عن اختلاف النطاقات
- دراسة الفئة ذات التناسق المنخفض)12.5 :(%إجراء مقابلات تتبعية لفهم مصادر التردد وتحسين وضوح .فقرات الاستبيان في الدورات القادمة
- إلى 60 +%في الدورة التدريبية القادمة من خلال ربط التدريب بمؤشرات أداء وظيفية TECI رفع مستهدفات .قابلة للقياس والمساءلة

٤.١.١ التوزيعات التكرارية للمؤشرات

تكشف التوزيعات التكرارية عن ميل واضح نحو المستويات المرتفعة في معظم المؤشرات يتضح من جدول (٩) أن مؤشر تكامل الاتصالات (CII) يتصدر بنسبة 81.9% من المشاركين بنسبة أعلى، يليه مؤشر استجابة الشبكة (NRI) بنسبة 73.6% ، أما مؤشر التكنولوجيا والتتبع (TTI) هو المؤشر الأكثر تعادلاً في التوزيع بين المستويين الثانى والثالث بنسب

47.2% و 50%. وتبرز حالة خاصة في مؤشر تحليل البيانات التنبؤية (PDAI) حيث ارتفعت نسبته في المستوى الأول إلى 27.1% مما يستدعى اهتمام في تطوير منظومة تحليل البيانات التنبؤية.

جدول (٩): التوزيعات التكرارية النسبية لمؤشرات الأداء

المؤشر	مستوى 1 (%)	مستوى 2 (%)	مستوى 3 (%)	التقييم العام
SDI	2.1	39.6	58.3	مرتفع
NRI	2.1	24.3	73.6	مرتفع جداً
CII	2.8	15.3	81.9	مرتفع جداً
CQI	3.5	27.8	68.8	مرتفع
TTI	2.8	47.2	50	متوسط – مرتفع
PDAI	27.1	11.8	61.1	مرتفع مع تفاوت
CEI	4.9	30.6	64.6	مرتفع
ITSQI	4.9	35.4	59.7	مرتفع
EUI	3.5	33.3	63.2	مرتفع

المصدر: إعداد الباحثة من نتائج الاستبيان

٢.١ المقابلات المتعمقة

المقابلات المتعمقة تكمل التحليل الكمى حيث تنتج إستيعاب للسياقات الغنية والأبعاد النوعية يعجز الرصد الرقمى عن الإحاطة بها. وقد شملت المقابلات نهجا نصف مهيكل شمل فئات المستخدمون: المتدربون – المنسقين للدورات التدريبية والمسئولون عن تقنية المعلومات، وأجريت المقابلات وفق محاور تتضمن: تقييم تجربة الإستخدام اليومى – تحديد مواطن الإستخدام التقنى – التعمق في تصورات المستخدمين حول جودة الإتصال – زمن الإستجابة والتنبؤ بالطلب.

وقد جرى ترميز المقابلات وتحليلها بإستخدام منهج التحليل الموضوعي Thematic Analysis

وكان تحليل المؤشرات كالتالى:

١.٢.١ مؤشرات جودة الإتصال وتكاملها (NRI, CII, CQI)

أكد المشاركون بشكل متكرر أن استقرار الشبكة يمثل الركيزة الأولى للثقة في النظام، وكشفت المقابلات أن التقييمات المرتفعة تعبر عن هدوء ذهنى يشعر به المستخدمون حين يعلمون أن البيانات تتدفق بلا إنقطاع لمؤشرى (NRI & CII) وهو ما لا يمكن إلتقاطه رقمياً بالكامل. في المقابل، أشار بعض المشاركين إلى أن مؤشر (CQI) رغم أن الأرقام تبدو مرتفعة إلا أنه يتأثر بالإنتكاسات في أوقات الذروة.

٢.٢.١ تحليل ملاءمة تصميم البرنامج (PDAI)

تعكس القيم المنخفضة نسبياً لمؤشر (PDAI) ما أشار إليه المستخدمون في المقابلات من إحساس بعدم وضوح مخرجات نماذج التنبؤ، حيث وصف عدد من المنسقين الميدانيين صعوبة في ترجمة توصيات النظام إلى قرارات عملية. ويبين هذا التناسق بين البيانات الكمية والكيفية أن الفجوة ليست في دقة الخوارزميات، بل في آلية التواصل بين النظام والمستخدم.

٣.٢.١ تجربة المستخدم والكفاءة (CEI, EUI, ITSQI)

تتقاطع المقابلات مع الأرقام في الإشارة إلى مستويات كفاءة جيدة، غير أنها تضيف بعداً نوعياً مهماً: هو ما يميز المستخدمون بوضوح بين "الكفاءة الوظيفية" التي تقيسها المؤشرات و " الكفاءة الذاتية المدركة" التي يشعرون بها.

وقد أفاد بعض المستخدمين بأن النظام ينجز المهام بسرعة، لكنهم لا يشعرون دائما بأنهم يفهمون ما تم إدراكه.

٤.٢.١ انتقال التدريب (TTI)

كشفت المقابلات أن التوزيع المتكافئ لمؤشر (TTI) بين المستويين الثاني والثالث يعكس ثنائية في تجارب المستخدمين: يرى فريق منهم أن منظومة التتبع شاملة ومتقدمة، بينما يرى فريق آخر أنها تنتج بيانات ضحيحة أكثر مما تنتج رؤى قابلة للتنفيذ.

٥.٢.١ التحقق المتقاطع (التثليث) (Triangulation)

يظهر التثليث بين البيانات الكمية والكيفية ثلاثة مستويات من التطابق:

أولاً: تقاطع المؤشرات المرتفعة (NRI) مع مفهوم " الثقة التشغيلية" الذي يبرز في المقابلات.

ثانياً: تفسير انخفاض مؤشر (CII & PDAI) بالغموض الإجرائي لا يعنى قصور تقني.

ثالثاً: الكشف عن هوة بين الأداء الموضوعي المرصود ومستوى الاستيعاب الذاتي لدى المستخدمين في مؤشرات (TTI & CEI) مما يوجه توصيات التطوير نحو مزيد من الشفافية الخوارزمية وواجهات التفسير.

٣.١ العلاقات والنمذجة الإحصائية

١.٣.١ مصفوفة الارتباطات

تعتمد هذه المرحلة على تحليل الإرتباط بيرسون (Pearson Correlation) لرصد العلاقات الثنائية بين المؤشرات ومؤشر التحسن الكمى (QID)

جدول (١٠): مصفوفة الارتباطات بين مؤشرات الأداء

المؤشر	SDI	NRI	CII	CQI	TTI	PDAI	CEI	ITSQI	QID
SDI	1.00	0.72**	0.51**	0.54**	0.41**	0.26**	0.33**	0.35**	-0.13
NRI	0.72**	1.00	0.57**	0.59**	0.42**	0.29**	0.34**	0.31**	-0.07
CII	0.51**	0.57**	1.00	0.55**	0.29**	0.23**	0.43**	0.35**	-0.06
CQI	0.54**	0.59**	0.55**	1.00	0.26**	0.32**	0.40**	0.36**	-0.23*
TTI	0.41**	0.42**	0.29**	0.26**	1.00	0.22*	0.20*	0.28**	-0.07
PDAI	0.26**	0.29**	0.23*	0.32**	0.22*	1.00	0.27**	0.21*	-0.59**
CEI	0.33**	0.34**	0.43**	0.40**	0.20*	0.27**	1.00	0.64**	-0.34**
ITSQI	0.35**	0.31**	0.35**	0.36**	0.28**	0.21*	0.64**	1.00	-0.35**
EUI	0.27**	0.29**	0.32**	0.29**	0.13	0.19*	0.65**	0.63**	-0.36**

(*p <0.05, **p<0.01).

المصدر: إعداد الباحثة من نتائج الاستبيان

٢.٣.١ تحليل مجموعات الإرتباط

- المجموعة الأولى: مؤشرات البنية التحتية للشبكة (SDI, NRI, CII, CQI)

تتميز هذه المجموعة بترابط داخلي قوي، اذ يبلغ معامل الارتباط بين (SDI & NRI) قيمة استثنائية (r- 0.72**) ويشير هذا إلى أن أداء البنية التحتية للتوصيل الذكي يتحرك في تناغم وثيق مع استجابة الشبكة، مما يعكس تبعية هيكلية بين المؤشرين في المنظومة.

- المجموعة الثانية: مؤشرات التكامل التقني والتجربة (CEI, ITSQI, EUI)

تتشكل مجموعة ارتباطية متماسكة بين مؤشري (ITSQI & EUI) (r=0.63**) وبين (CEI /TSQI) (r=0.64**) ويُشير هذا الترابط إلى أن الكفاءة التشغيلية وجودة التكامل التقني وتجربة المستخدم تشكل منظومة متشابكة تتأثر ببعضها البعض بصورة مترابطة.

- العلاقة مع المؤشر QID

يُسجّل مؤشر (QID) (r=-0.59**) أقوى ارتباط عكسي مع (PDAI) مما يدل على أنه المتنبئ الأقوى بانخفاض القيد الكمي، كذلك تسجل (CEI, ITSQI, EUI) ارتباطات عكسية دالة (r=-0.33 to -0.36)، مما يؤكد دورها المشترك في تحسن الأداء.

٣.٣.١ نموذج الانحدار الخطي المتعدد

اعتمادا على المؤشرات التسعة كمتغيرات مستقلة، وبعد توحيد القياس (QID) جرى تطبيق نموذج الانحدار الخطي المتعدد للتنبؤ بمؤشر (Z-Score Standardization)، جاءت النتائج وفق الجدول التالي:

جدول (١١): معاملات الانحدار المعيارية للتنبؤ بمؤشر (QID)

المؤشر	معامل الانحدار (β)	الاتجاه	الدلالة التفسيرية
PDAI	-0.128	سلبي	الأقوى تأثيراً - يقلل من القيد الكمي
EUI	-0.045	سلبي	يسهم في تحسين الكفاءة
ITSQI	-0.034	سلبي	يُحسن من تدفق العمليات
CEI	-0.010	سلبي	تأثير تشغيلي مباشر
NRI	+0.048	إيجابي	يرتبط بزيادة الطلب
CII	+0.038	إيجابي	يعكس تحسين الربط
CQI	-0.028	سلبي	يساهم في ضبط الجودة
TTI	+0.010	إيجابي	تأثير محدود
SDI	-0.010	سلبي	تأثير غير مباشر

المصدر: إعداد الباحثة من نتائج الاستبيان

معامل التحديد: يفسر النموذج من التباين (R^2 = -0.476) أن مؤشر (QID) 47.6% ، يشير معامل التحديد إلى أن النموذج يتمتع بقوة تنبؤية جيدة، وأن نحو نصف التباين (R^2=0.476) في مؤشر (QID) يمكن تفسيره من خلال مؤشرات الأداء التسعة. ويتميز مؤشر (PDAI) مكانة محورية في النموذج (β=−0.128)، مما يعنى أن تحسين منظومة التنبؤ بالطلب تلقى تأثير مباشر ملموس على تخفيض القيود الكمية، أما مؤشرات المجموعة الثانية (CEI, ITSQI, EUI) فتساهم بأثر تراكمي عكسي مهم في تقليص هذه القيود.

٤.٣.١ اقتراح نموذج مسار هيكلي

استناداً إلى مصفوفة الارتباطات ومعاملات الانحدار، يمكن اقتراح نموذج مسار هيكلي (Conceptual Path Model) بنية نمذجة ذات مستويين:

- **المستوى الأول (البنية التحتية والشبكة):** تشكل مؤشرات لمتغيرات (SDI, NRI, CII, CQI) متغيرات سابقة (Antecedents) تغذى المستوى الثانى عبر مسارات مرتبطة.
- **المستوى الثانى (الكفاءة والتكامل والتجربة):** تعمل مؤشرات (CEI, ITSQI, EUI, PDAI, TTI) كمتغيرات وسيطة (Mediators) تترجم جودة البنية التحتية إلى نتائج نهائية قابلة للقياس في مؤشر (QID) ويُنصح بإجراء تحليل نمذجة المعادلات البنائية في مرحلة لاحقة لاختبار هذا النموذج المقترح وتحقق من مسارات التأثير غير المباشرة (SIM)

تمتعت مؤشرات البنية التحتية (NRI, CII) بأعلى مستويات الأداء، مما يدل على نضج منظومة الاتصالات في النظام. وكشف مؤشر (QID) عن أكبر فجوة في الأداء مع أعلى تباين، وهو المتنبئ الأقوى بتراجع مؤشر (PDAI). أما الارتباطات القوية داخل مجموعتَي المؤشرات فتدعم فرضية الترابط النظامي بين مكونات المنظومة .وأثبتت المقابلات المتعمقة أن جزءاً من الفجوة في (PDAI) .يعود إلى غموض تصميم الواجهة لا إلى قصور في الخوارزميات أما غياب الفروق بين الجنسين فيُشير إلى أن النظام حقق شمولية جيدة.

١.٤ تحليل التحديات طبقا للحالة الدراسية التطبيقية

اعتمد التدريب على حزمة متطورة من الأدوات الرقمية التي واكبت الاتجاهات التقنية الحديثة.

- **أدوات الذكاء الاصطناعى:** تم استخدام أدوات ومنصات مثل: Google Colab، Jupyter Notebook، و Anaconda . ودمج تقنيات حديثة مثل (Deep Seek, Gemeni AI,) لتعزيز تجربة التعلم.
- **جودة المحتوى:** نالت المادة العلمية قبولاً واسعاً لملاءمتها للاحتياجات المهنية، خاصة في جوانب أتمتة العمليات وتحليل البيانات.

<u>التحديات التي حددها المتدربون التي قد تؤثر على استدامة أثر التدريب:</u>

- **نمط التدريب:** رغبة ملحة في الانتقال من التدريب "عن بُعد" إلى التدريب "الحضوري/الفعلي" لتجنب المشتتات وتعزيز التفاعل المباشر.
- **الموارد التقنية:** برزت الحاجة الماسة لتوفير البرامج التطبيقية اللازمة وتجهيز بيئة العمل في مكان عمل المتدربين (الأجهزة والإمكانيات البرمجية) لضمان استمرارية التطبيق العملي بعد انتهاء الدورة.
- **العامل الزمني:** الحاجة لزيادة عدد أيام وساعات التدريب لاستيعاب الكثافة المعرفية للأدوات الرقمية.

<u>الرؤية المستقبلية</u> بناءً على التحليل الاستراتيجي لبيانات الاستبيان والمقابلات المتعمقة للمتدربين، استخلصت التوصيات التالية:

1. **توجيه التطبيقات نحو التخصصية الدقيقة:** تصميم مسارات برمجية موجهة لمجالات متخصصة تخصص دقيق لضمان رفع كفاءة المهارات المكتسبة لتلبية احتياجات الكوادر الخبيرة.
2. **الانتقال للتطبيقات الشاملة (Integrated Applications):** التحول من تعليم مستويات أولية إلى بناء تطبيقات متكاملة تخدم بيئة العمل بشكل كلي.
3. **تطوير النمط التدريبي:** اعتماد التدريب التفاعلي الحضوري في المراكز التدريبية لضمان أقصى استفادة، مع تثبيت البرامج المتخصصة اللازمة على الأجهزة.

٢. افضل التجارب الدولية في بناء قدرات الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه

١.٢ تجربة هولندا:

أطلقت هيئات المياه الهولندية نظام DIGO المتكامل الذي يدمج التعلم الآلي مع الاستشعار الذكي لإدارة البنية التحتية المائية. يقوم النجاح على استراتيجية تدريب مكثّفة على ثلاثة مستويات: المشغلون الميدانيون، والمهندسون التحليليون، والقيادات الاستراتيجية. فكانت النتيجة من تطبيق هذا النظام خفض تكاليف التشغيل 23% وتحسين أوقات الاستجابة لأعطال البنية التحتية بنسبة 40%. (Dutch Water Authorities, 2022)

للربط بين التجربة الهولندية والواقع المصرى مع التركيز على بناء القدرات، قدمت التجربة الهولندية نموذجاً مثالياً لما يسمى "النضج الرقمي المستدام"، بينما تمثل الحالة المصرية نموذجاً طموحاً يواجه تحديات هيكلية في التحول.

جدول (١٢) دراسة التجربة الهولندية: استراتيجيات بناء القدرات في إدارة المياه الذكية

الموشر	النموذج الهولندي (نظام DIGO)	النموذج المصري (الواقع الحالي)
فلسفة النظام	دمج التعلم الآلي مع الاستشعار الذكي في منظومة موحدة.	توجه متزايد نحو الرقمنة (تبطين الترع، مستشعرات الري) مع وجود تحدى "الجزر المنعزلة".
استراتيجية التدريب	**هرمية متكاملة:** (مشغلون، مهندسون، قيادات) تضمن استيعاب التقنية في كل المستويات.	**تدريب مركزي:** التركيز غالباً على المشغلين الفنيين مع تحديات في إعداد "القيادات الاستراتيجية" الرقمية.
الثقافة المؤسسية	ثقافة "التعلم المستمر" ومنع متلازمة المشاريع التجريبية عبر التوسع الفوري.	تواجد "**متلازمة المشاريع التجريبية**"؛ وكثرة المبادرات الرائدة وصعوبة تعميمها مؤسسياً.
النتائج المحققة	خفض التكاليف 23% وتحسين الاستجابة للأعطال 40%.	تحسن تدريجي في كفاءة التوزيع، لكن العائد الاقتصادي لا يزال مقيداً بتكاليف الصيانة والتشغيل البشرية.

المصدر: إعداد الباحثة من الدراسات السابقة

١.١.٢ التحديات بين التجربة الهولندية والواقع المصرى

تتجلى التحديات بين التجربة الهولندية والواقع المصري طبقا لما هو مستخلص من جدول (8)، كما يلى:

1. **القدرة (Capacity)**: نجحت هولندا في بناء قدرات "المهندسين التحليليين" الذين يمثلون حلقة الوصل بين البيانات والقرار. في مصر، تبرز الحاجة الماسة لهذه الفئة لإدارة الأنظمة الذكية بعد مرحلة التنفيذ الأولى (Almheiri et al., 2024).
2. **الاستدامة (Sustainability)**: نظام DIGO ليس مجرد "مشروع تجريبي"، بل هو حل مؤسسي، ويكمن نجاح النظام المصرى في تبنى استثمار متوازى في المستويات الثلاثة لتجنب معوقات المشاريع الرقمية.

٢.١.٢ الدروس المستفادة لرفع القيمة التطبيقية في مصر (طبقا للتجربة الهولندية):

- **الانتقال من "التدريب التقني" إلى "التمكين الاستراتيجي"**: يجب ألا يقتصر التدريب في وزارة الموارد المائية المصرية على كيفية تشغيل المستشعرات، بل يجب تدريب القيادات على كيفية اتخاذ قرارات مبنية على بيانات "التعلم الآلي".
- **توطين التكنولوجيا**: بدلاً من استيراد لأنظمة مثل نظام DIGO ، التوجه نحو بناء "قدرات محلية" قادرة على تطوير حلول تتوافق مع طبيعة شبكة الري المصرية.

٢.٢ تجربة سنغافورة:

طوّرت هيئة المرافق العامة (PUB) منظومة شبكة مياه ذكية (PUB–Smart Water Grid) تعتمد على 300,000 جهاز استشعار مرتبطة بمنصة ذكاء اصطناعي. الأهم هو برنامج بناء القدرات المصاحب الذي يُدرّب 1,200 مهندس سنوياً على المستجدات التقنية، مما أدى إلى تقليص الفاقد المائي من 4.6% إلى 2.9% خلال ست سنوات. (PUB Singapore, 2023)

للربط بين التجربة السنغافورية والواقع المصرى مع التركيز على الاستثمار في رأس المال البشرى، قدمت التجربة السنغافورية الرائدة (هيئة PUB) النموذج العالمي الأكثر نضجاً في تحويل البيانات إلى قرارات وتحقيق الكفاءة الرقمية وتقليل الهدر المائى، بينما تسعى مصر حثيثاً لتبني تقنيات مشابهة لمواجهة تحديات الشح المائي.

جدول (١٣) دراسة التجربة السنغافورية: كفاءة بناء القدرات في إدارة المياه الذكية

الموشر	نموذج سنغافورة (هيئة PUB)	النموذج المصري (الواقع الحالي)
البنية التحتية الذكية	منصة مركزية مرتبطة بـ **300,000** جهاز استشعار.	مشروعات رائدة متعددة (مستشعرات الرطوبة، التحكم في القنوات) لكنها تحتاج لمنصة موحدة.
بناء القدرات (المحرك)	تدريب **1,200** مهندس سنوياً (تجديد دوري للمعرفة).	تدريب موسمي أو مرتبط بمشروعات محددة (غالباً ما ينتهي بانتهاء مرحلة التنفيذ) مع وجود تجربة رائدة في التدريب لتحويله الى تجديد دورى معرفى.
مؤشر الأداء المائي	تقليص الفاقد من **4.6%** إلى **2.9%** (دقة استهداف التسرب).	تفاوت في نسب الفاقد، مع طموح لتقليله عبر "مشروعات التبطين" والتحول للري الحديث.
الاستدامة	استدامة مؤسسية تمنع "متلازمة المشاريع التجريبية".	تحديات في استدامة الأنظمة الرقمية بسبب نقص الكوادر المؤهلة للإدارة الطويلة الأمد.

المصدر: إعداد الباحثة من الدراسات السابقة

١.٢.٢ التحديات بين التجربة السنغافورية والواقع المصرى

تتجلى التحديات بين التجربة السنغافورية والواقع المصري طبقا لما هو مستخلص من جدول (9)، كما يلى:

1. **القدرة (Capacity):** نجاح سنغافورة لم يكن في الـ 300 ألف مستشعر فحسب، بل في الـ 1,200 مهندس الذين يتم إعدادهم سنوياً. وهذا يتفق مع دراسة المهيرى (Almheiri *et al.*, 2024) حول أن نقص الكوادر هو السبب الرئيسي لفشل الحلول الذكية.
2. **التكنولوجيا والبيئة (Ecosystem & Technology):** تُظهر سنغافورة كيف أن وجود "بيئة عمل محفزة" (Ecosystem) تجعل من التكنولوجيا أداة لتقليل الفاقد المائي بشكل حقيقي وملموس.

٢.٢.٢ الدروس المستفادة لرفع القيمة التطبيقية في مصر (طبقا للتجربة السنغافورية):

- **نموذج "التدريب المستمر":** التوصية بضرورة وجود مراكز تدريب دائمة في جميع محافظات الجمهورية لتمثل توزيع عادل للمعرفة (مثل PUB Academy) لضمان تحديث مهارات المهندسين بشكل دوري وليس "مرة واحدة".
- **ربط بناء القدرات بمؤشرات الأداء:** يراعى أن يُقاس نجاح برامج بناء القدرات بمدى انخفاض "نسبة الفاقد المائي" أو "سرعة الاستجابة للأعطال".
- **التحول من "مشروع" إلى "منظومة":** الاقتداء بسنغافورة في جعل الذكاء الاصطناعي "منظومة عمل يومية" مدعومة بقدرات بشرية قادرة على تحليل البيانات الضخمة الصادرة عن المستشعرات.

٣.٢ تجربة المغرب:

تُقدّم التجربة المغربية (التحول الرقمى في قطاع السدود) نموذجاً أكثر قرباً من السياق المصري؛ حيث أطلقت وزارة التجهيز والماء برنامجاً تدريجياً لبناء القدرات في مجال الذكاء الاصطناعي داخل المكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب. شمل البرنامج تدريب 450 مهندساً خلال ثلاث سنوات، وأسفر عن تطوير نظام وطني للتنبؤ بالفيضانات يعتمد على التعلم الآلي بدلاً من النماذج الهيدرولوجية التقليدية، مع تحسين دقة التنبؤ بنسبة 31%. كما تُعد التجربة المغربية نموذجاً ملهماً وقريباً من السياق المصري؛ كونها تعتمد على "التدرج المؤسسي" في تبني الذكاء الاصطناعي، مما يجعلها مرجعاً واقعياً لتطوير منظومة إدارة المياه، مع التركيز على أهمية "التدرج" في بناء القدرات وتحويل النماذج التقليدية إلى أنظمة ذكية، وهو ما يخدم السياق المصري نظراً للتشابه في التحديات المائية والمؤسسية.

جدول (١٤) دراسة التجربة المغربية: استراتيجيات التحول الرقمي وبناء القدرات

الموشر	النموذج المغربي (المكتب الوطني ONEE)	النموذج المصري (الواقع الحالي)
جوهر التحول	الانتقال من النماذج الهيدرولوجية التقليدية إلى التعلم الآلي.	الاعتماد المشترك بين النماذج التقليدية وبداية إدخال تقنيات التنبؤ الذكي.
حجم بناء القدرات	برنامج تدريجي شمل تدريب **450** مهندساً في 3 سنوات.	مبادرات تدريبية طموحة، لكنها تحتاج لمسار زمني "تدريجي" ومستدام لضمان التوطين.
الأثر النوعي	تطوير نظام وطني للتنبؤ بالفيضانات بدقة أعلى بنسبة **31%**.	جهود في التنبؤ بالسيول والأمطار، مع فرص لرفع الدقة عبر تعميم التعلم الآلي.
التوافق المؤسسي	تكامل بين وزارة التجهيز والمكتب الوطني للكهرباء والماء.	تنسيق مستمر بين وزارات الري، الزراعة، والكهرباء لتوحيد جهود الرقمنة.

المصدر: إعداد الباحثة من الدراسات السابقة

١.٣.٢ التحديات بين التجربة المغربية والواقع المصرى

تؤكد المقارنة مع المغرب على أهمية "الملاءمة السياقية" فيما يلى:

1. **التكيف (Adaptability)**: نجحت المغرب في مواءمة تقنيات الذكاء الاصطناعي لخدمة "التنبؤ بالفيضانات"، وهو تحدٍ تشترك فيه مصر.
2. **القدرة (Capacity)**: تدريب 450 مهندساً يعكس فلسفة دراسة أن التحول الرقمي يبدأ بتطوير "رأس المال البشري المؤهل لإدارة الأنظمة بعد التنفيذ (Almheiri *et al.*, 2024).

٢.٣.٢ الدروس المستفادة لرفع القيمة التطبيقية في مصر (طبقا للتجربة المغربية):

1. **فعالية "التدرج"**: التوصية بتبني برامج "تدريجية" لبناء القدرات (مثل النموذج المغربي) بدلاً من التدريب المكثف لمرة واحدة، لضمان هضم التقنية وتوطينها.
2. **التركيز على دقة التنبؤ**: يمكن لمصر الاستفادة من تجربة المغرب في تحويل إدارة الأزمات المائية إلى "إدارة استباقية" تعتمد على التعلم الآلي، مما يقلل من خسائر الفيضانات والسيول بنسب ملموسة.
3. **بناء الأنظمة الوطنية**: ضرورة تطوير أنظمة "محلية" بديلة للنماذج التقليدية، لضمان السيادة الرقمية والقدرة على الصيانة والتطوير بأيدي مصرية.

٤.٢ الدروس المستفادة من التجارب الدولية

التجارب الدولية التي ذكرت في البحث هي ثلاث تجارب متمثلة في هولندا وسنغافورة والمغرب، فإدراج هولندا بجانب سنغافورة يعطى عمقاً دولياً، لتصبح الدراسة شاملة لثلاثة مستويات: (عالمي متقدم: هولندا، آسيوي رائد: سنغافورة، وإقليمي قريب: المغرب). حيث تمثل هولندا التميز في "إدارة الفيضانات والأعطال"، بينما تمثل سنغافورة التميز في "تقليل الهدر المائي". وكلاهما يشترك في حقيقة واحدة: بناء القدرات هو المحرك الفعلي للتكنولوجيا. كما وتشترك هذه التجارب الناجحة في سمة واحدة وهي أنها تُصمّم بناء القدرات كنظام متكامل لا كحدث تدريبي معزول، وتُقيس النجاح بالأثر على الأداء التشغيلي لا بعدد الساعات التدريبية. وهذا يثبت أن "بناء القدرات" هو القاسم المشترك الوحيد لنجاح أي تجربة رقمية مهما اختلف سياقها.

وبناءً على الدراسات المقارنة التي أجريناها لكل من هولندا، سنغافورة، والمغرب، يمكن تلخيص الدروس المستخلصة في نقاط استراتيجية لتمثل القاسم المشترك في نجاح التحول الرقمي عالمياً:

1. **الاستثمار في "الإنسان"**

من أهم الدروس المستفادة هو أن التكنولوجيا المتقدمة (مثل 300 ألف مستشعر في سنغافورة أو التعلم الآلي في هولندا) لا قيمة لها دون "قدرات بشرية" قادرة على تشغيلها. النجاح في سنغافورة لم يكن في الأجهزة بل في تدريب 1200 مهندس سنوياً. إذن بناء القدرات ليس مرحلة ثانوية، بل هو المحرك الأساسي للعائد على الاستثمار التقني.

2. **شمولية التدريب (نموذج الهرم القيادي)**

أثبتت تجربة هولندا (نظام DIGO) أن التدريب يجب ألا يقتصر على الفنيين فقط، بل يجب استهداف ثلاثة مستويات متوازية: المشغلون: للكفاءة الميدانية، والمحللون: لتحويل البيانات إلى معلومات، والقيادات الاستراتيجية: لاتخاذ قرارات مبنية على الذكاء الاصطناعي.

3. **مكافحة "متلازمة المشاريع التجريبية" لتحقيق الاستدامة**

كشفت التجارب الدولية أن الفرق بين الدول المتقدمة والنامية هو القدرة على "توسيع النطاق". المغرب نجح في تحويل نظام التنبؤ من "نموذج تجريبي" إلى "نظام وطني شامل". يتضح من ذلك أنه يجب وضع خطة للاستدامة الإدارية والمالية للمشروع التقني قبل البدء في تنفيذه لضمان عدم توقفه بعد انتهاء مرحلة المنحة أو الدعم الأولي.

4. **التدرج والملاءمة السياقية (التوطين)**

التجربة المغربية قدمت درساً في "التدرج". لم يتم استبدال الأنظمة التقليدية فجأة، بل تم بناء القدرات على مدار 3 سنوات لتمكين المهندسين من الانتقال السلس للتعلم الآلي. مما يوضح أنه لا تنجح النماذج العالمية إذا نُقلت كـ "قوالب جاهزة"؛ بل يجب توطين التكنولوجيا وتطوير قدرات محلية قادرة على تعديلها لتناسب البيئة الوطنية (مثل شبكة الري المصرية).

5. **ربط بناء القدرات بمؤشرات أداء ملموسة (العائد الاقتصادي)**

في جميع التجارب الناجحة، كان بناء القدرات مرتبطاً بنتائج رقمية:

هولندا: خفض تكاليف التشغيل 23%.

سنغافورة: تقليل الفاقد المائي إلى 2.9%.

المغرب: تحسين دقة التنبؤ بنسبة 31%.

وبالتالي يتضح أن بناء القدرات يجب أن يُقاس بمدى تحسن الأداء المؤسسي وليس بعدد ساعات التدريب أو عدد المتدربين.

٣. خريطة الطريق لبناء قدرات الذكاء الاصطناعى في إدارة الموارد المائية (2026-2030)

إن استقراء التجارب الدولية (هولندا، سنغافورة، المغرب) يؤكد أن نجاح النموذج المصري المقترح لبناء القدرات مرهون بتبني رؤية شاملة تتجاوز التدريب الفني لتصل إلى التمكين المؤسسي المستدام، وهو ما قد يجسده نموذج مقترح في هذه الدراسة.

١.٣ نموذج مقترح كإطار عمل

يمثل نموذج (CASTLE) (Global Institute for Digital Competitiveness, 2021) هو نموذج لتحويل الدروس إلى "إطار عمل" (Framework) ويجمع بين عوامل النجاح لبناء القدرات المؤسسية في مجال الذكاء الاصطناعى، إن توظيف هذا النموذج كدليل ضمن نتائج هذه الدراسة يسهم في سد الفجوة بين "الاستثمار التقني" و"الأثر الأدائي"، مما يدعم ضرورة الاستثمار المتوازي في الأبعاد البشرية والمؤسسية لتحقيق تحول مستدام".

جدول (١٥): مكونات نموذج (CASTLE)

الرمز	العامل	الوصف
C	Commitment	إلتزام القيادة الإدارية وتبنيها التحول الرقمى
A	Alignment	مواءمة بناء القدرات مع الأهداف الاستراتيجية للمؤسسة
S	Skills	تطوير مهارات متدرجة تبدأ بالأساسيات وتصل إلى التطبيق المتقدم
T	Transfer	ضمان نقل أثر التدريب إلى بيئة العمل الفعلية
L	Learning	بناء ثقافة التعلم المستمر والتجريب الآمن
E	Evaluation	قياس الأثر بمؤشرات كمية ونوعية واضحة ومسبقة

المصدر: إعداد الباحثة من الدراسات السابقة

بناءً على ما كشف عنه التحليل الميداني من تحديات، وفي مقدمتها ظاهرة **'متلازمة المشاريع التجريبية Pilot Project) Syndrome)**، يتضح من جدول (11) أن نموذج **(CASTLE)** يبرز كإطار عملي مقترح لتجاوز التحديات، ويكتسب هذا النموذج أهميته من خلال قدرته على تقديم حلول تعزز استدامة مبادرات الذكاء الاصطناعي كالتالى:

1. **معالجة القصور البشري (Capacity)**: يطرح النموذج حلاً لمشكلة نقص الكوادر التي أشارت إليها دراسة المهيرى وذلك عبر التركيز المكثف على بناء القدرات التخصصية لإدارة الأنظمة بعد التنفيذ. **(Almheiri et al., 2024)**
2. **الانتقال من التجريب إلى المؤسسة (Sustainability)**: يوفر النموذج عدم بقاء الحلول الرقمية حبيسة النطاق الاختباري، من خلال وضع آليات تضمن استمرارية الأثر التكنولوجي وتوسيع نطاقه.
3. **القيادة والبيئة الداعمة (Leadership & Ecosystem)**: يوفر النموذج خارطة طريق لمتخذي القرار لخلق بيئة عمل محفزة تدعم التعلم المستمر وثقافة التجريب، مما يضمن تحويل المشاريع التقنية إلى أصول مؤسسية مستدامة.

٤. الخلاصة والتوصيات طبقا للدراسات السابقة ونتائج الدراسة

يعد بناء قدرات الذكاء الاصطناعي عاملاً حاسماً في الأداء المؤسسي المستدام. وتُظهر الأدلة من قطاع المياه أنه عندما تبني المؤسسات القدرات اللازمة من خلال دمج الموظفين المتميزين، والبنية التحتية القوية للبيانات، والقيادة التكيفية، يمكنها تحقيق تحسينات هائلة في كفاءة الموارد والإنتاجية. ومع ذلك، فإن الاستدامة ليست مضمونة. فهي تتطلب تحولاً مدروساً من التدريب التقني المخصص لغرض معين إلى "إطار منهجي لبناء القدرات يجب أن يعالج هذا الإطار "العامل البشري" (الثقافة والمهارات)، و"العامل التقني" (التشغيل البيني وجودة البيانات)، و"العامل الأخلاقي" (الشفافية والثقة).

وتتجلى أهمية هذه الدراسة في أن لها قيمة تطبيقية ولا تقتصر على الجانب التنظيري، بل تمتد لتشمل قيمة تطبيقية مباشرة تُساهم في تجويد الأداء المؤسسي الرقمي، وتتجلى هذه القيمة في النقاط التالية:

- **توفير أداة تقييمية معيارية:** تُقدم الدراسة للمؤسسات أداة قياس علمية تمكنها من تشخيص واقع "بناء القدرات" لديها بدقة، وتحديد الفجوات المعرفية والتقنية التي تعيق استيعاب تقنيات الذكاء الاصطناعي.
- **خارطة طريق للتحول المستدام:** تسهم النتائج في وضع دليل يساعد صُنّاع القرار على رسم مسار واضح للانتقال من المشاريع التجريبية المنعزلة إلى بيئة عمل رقمية متكاملة ومستدامة.
- **دعم اتخاذ القرار بالاستثمار البشري:** تُبرز الدراسة القيمة العائدة من الاستثمار في الكوادر البشرية المتخصصة، ليس فقط كمشغلين للأنظمة، بل كقادة لعملية التغيير الرقمي، مما يضمن كفاءة إدارة الأنظمة الذكية على المدى الطويل.
- **توطين الممارسات العالمية في السياق المحلي:** تعمل الدراسة على تكييف النماذج العالمية (مثل نموذج CASTLE) لترجمتها إلى حلول تتسق مع خصوصية وتحديات البيئة المصرية، مما يزيد من فرص نجاح تطبيقها داخل المؤسسات المحلية.
- **تعزيز ثقافة التعلم المؤسسي:** توفر الدراسة مؤشرات حول كيفية بناء "بيئة عمل محفزة (Ecosystem) "تدعم التجريب المستمر وتحد من مخاطر الفشل التقني، مما يرفع من مرونة المؤسسة وقدرتها على التنافسية".

خريطة الطريق المقترحة: بناءً على ما توصلت إليها الدراسة، يمكن صياغة مجموعة من التوصيات موجهة لصناع القرار في المؤسسات والجهات المعنية لتعزيز بناء القدرات في مجال الذكاء الاصطناعي:

1. **تبني إطار عمل متكامل لبناء القدرات:** يُنصح باعتماد نموذج (CASTLE) كدليل استرشادي عند تصميم مبادرات التحول الرقمي، مع ضرورة الموازنة بين الاستثمار في البنية التحتية التقنية (Technology) وبين تمكين الكوادر البشرية (Capacity)
2. **تأسيس وحدات متخصصة لاستدامة المشاريع:** للحد من "**متلازمة المشاريع التجريبية**"، يجب إنشاء وحدات إدارية داخل المؤسسات تكون مهمتها الأساسية تحويل النماذج الأولية إلى أنظمة تشغيلية مستدامة، وضمان توفر الكوادر المدربة لإدارتها بعد مرحلة الإطلاق.
3. **ترسيخ ثقافة التعلم والتجريب المؤسسي:** تشجيع القيادات على خلق بيئة عمل محفزة تتيح للموظفين فرصة التجريب والتعلم المستمر من الأخطاء التقنية دون خوف، مما يقلل من فجوة المقاومة الثقافية للتحول الرقمي.
4. **توطين المعرفة الرقمية في السياق المحلي:** العمل على زيادة وتصميم برامج تدريبية تخصصية تتناسب مع طبيعة العمل في البيئة المصرية وتحدياتها الخاصة.
5. **الاستثمار المتوازي في المستويات الثلاثة:** التأكيد على أن التحول المؤسسي الحقيقي لا يتحقق بالتدريب الفردي فحسب، بل يجب أن يرافقه تطوير في السياسات المؤسسية والوعي المجتمعي العام بضرورة الذكاء الاصطناعي.

٥. المـــراجـــع والمصادر

أولا: المراجع العربية

- الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء (2024). التقرير السنوي للموارد المائية في مصر. القاهرة.
- الهيئة القومية للاستشعار من البُعد وعلوم الفضاء (2025). تقرير استخدام الذكاء الاصطناعي في مراقبة الموارد الطبيعية.
- وزارة التجهيز والماء المغربية. (2023). التقرير السنوي حول الابتكار الرقمي في تدبير الموارد المائية. المكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب.
- وزارة التخطيط والتنمية الاقتصادية (2021). وثيقة رؤية مصر 2030. القاهرة.

ثانيا: المراجع الأجنبية

Abdulameer L., Al Maimuri N.M.L., Nama A.H., Rashid F.L., Al-Dujail A.N. (2025a) The Role of Artificial Intelligence in Managing Sustainable Water Resources: A Review of Samrt Solution Implementations. 9 (2), pp. 281 – 291. DOI: 10.26480/wcm.02.2025.281.291.

Abdulameer L., Al-Khafaji M.S., Al-Awadi A.T., Al Maimuri N.M.L., Al-Shammari M., Al-Dujaili A.N., DhiyaAl-Jumeily. (2025b) Artificial Intelligence in Climate-Resilient Water Management: A Systematic Review of Applications, Challenges, and Future Directions. 10 (1), art. no. 44. DOI: 10.1007/s41101-025-00371-2.

Abdulameer L., Al-Maimuri N.M.L., Nama A.H., Rashid F.L., Mohammed H.I., Al-Dujaili A.N.G. (2025c) Review of Artificial Intelligence Applications in Dams and Water Resources: Current Trends and Future Directions. 128 (2), pp. 205 – 225. DOI: 10.37934/arfmts.128.2.205225.

Al khatib A.M.G., Alshaib B.M. (2025) Smart Irrigation Systems: Optimizing Water Use with AI. pp. 73 – 93. DOI: 10.1007/978-981-96-4795-8_5.

Almheiri M.S.M.A., Bashir H., Ojiako U., Haridy S., Shamsuzzaman M. (2024) Examining the Challenges of Implementing Artificial Intelligence in the Water Supply Sector: A Case Study. 16 (23), art. no. 3539. DOI: 10.3390/w16233539.

Almheiri, A., et al., (2024). Scaling AI in Developing Nations: Beyond the Pilot Project Syndrome. Journal of Digital Transformation in Emerging Economies.

Annelin A., McGuigan N., Boström G.-O. (2025) Building Sustainability Competence Capacity Amongst Educators: Uncovering Interdisciplinary Perspectives. Part F128, pp. 399 – 422. DOI: 10.1007/978-3-031-80380-2_19.

Anthropic. (2026). Claude ai [Large language model]. https://claude.ai Retrieved April 1, 2026

Antoniuk D., Koliada O. (2025) Ensuring Sustainable Use of Generative Artificial Intelligence by Enterprises Based on Resource Consumption Optimization. 3 (13), pp. 68 – 77. DOI: 10.15587/1729-4061.2025.330586.

Aryani R., Widodo W. (2020) The determinant of organizational culture and its impact on organization: A conceptual framework. 9 (3), pp. 64 – 70. DOI: 10.5430/ijhe.v9n3p64..

Awotunde M.O., Aregbeshola R.A. (2025) Effect of leadership styles on entrepreneurship success: a comparative analysis. 12 (1), art. no. 2516176. DOI: 10.1080/23311975.2025.2516176.

Balaraman N.K., Patel K., Mahendran P.K.R., Kasarla N.R. (2025) AI Driven Predictive Maintenance in Water and Wastewater Systems: Enhancing Efficiency, Reliability, and Sustainability. pp. 93 – 98. DOI: 10.1109/ICSGRC65918.2025.11159783.

Baldwin, T. T., & Ford, J. K. (1988). Transfer of training: A review and directions for future research. Personnel Psychology, 41(1), 63–105

Bawa S. (2025) Integrating Artificial Intelligence into Resource Management for Sustainable Economic Growth in Ghana. DOI: 10.1142/S242486222550008.

Bourgeois I. (2016) Performance measurement as precursor to organizational evaluation capacity building. 16 (1), pp. 11 – 18. DOI: 10.1177/1035719X1601600103.

Bryan T.K., Brown C.H. (2015) The Individual, Group, Organizational, and Community Outcomes of Capacity-Building Programs in Human Service Nonprofit Organizations: Implications for Theory and Practice. 39 (5), pp. 426 – 443. DOI: 10.1080/23303131.2015.1063555.

Bryan, V. C & Brown, S. J (2015. Capacity Building for IT Infrastructure and Knowledge Management .IGI Global.

Chiappe, A., Segovia, Y., & Rincon, H. Y. (2010). Toward an instructional design model based on learning objects. Educational Technology Research and Development.

Correa Ospina M.L., Díaz Pinzón B.H. (2018) Information technologies capacities and organizational performance: A study of the Colombian context [La capacité dans les technologies de l'information et la performance organisationnelle: Une étude dans le contexte colombien] [Capacidade em tecnologias da informação e desempenho organizacional: Um estudo no contexto colombiano] [Capacidad en tecnologías de la información y desempeño organizacional: Un estudio en el contexto colombiano] 28 (69), pp. 99 – 116. DOI: 10.15446/innovar.v28n69.71699.

D'amore G., Di Vaio A., Balsalobre-Lorente D., Boccia F. (2022) Artificial Intelligence in the Water–Energy–Food Model: A Holistic Approach towards Sustainable Development Goals. 14 (2), art. no. 867. DOI: 10.3390/su14020867.

Dutch Water Authorities (2022). DIGO System: Integrated Machine Learning for Water Infrastructure Management .Annual Innovation Report.

Farooq M.U., Murtaza G., Mahmood M.H., Rai S.I., Tanveer H., Haq E.U., Muhammad H., Sabir R.M.M. (2025) AI-powered solutions for sustainable water conservation. pp. 473 – 511. DOI: 10.4018/979-8-3373-0680-3.ch016.

Gallardo J.Q., Morales S.N., Argüelles V.T. (2025) Transformational Leadership and Absorptive Capacity: A Bibliometric Review. 14 (2), pp. 1344 – 1354. DOI: 10.18421/TEM142-35.

Global Institute for Digital Competitiveness (2021). The CASTLE Framework: A Roadmap for Sustainable Institutional Transformation.

Government of Egypt. (2025). Egypt National Artificial Intelligence Strategy (*2nd ed., 2025–2030*). Ministry of Communications and Information Technology. https://www.example.gov.eg/AI-strategy.

Guangming Cao, Yanqing Duan, John S. Edwards (2025) Organizational culture, digital transformation, and product innovation, Information & Management. 62:(4)104135. https://doi.org/10.1016/j.im.2025.104135.

Holton, E. F. (1996). The flawed four-level evaluation model. Human Resource Development Quarterly, 7(1), 5–21.

ISO/IEC 25010:2011 — Systems and Software Quality Requirements and Evaluation.

Jamil K., Zhang W., Anwar A., Mustafa S. (2025) Exploring the Influence of AI Adoption and Technological Readiness on Sustainable Performance in Pakistani Export Sector Manufacturing Small and Medium-Sized Enterprises. 17 (8), art. no. 3599. DOI: 10.3390/su17083599.

Jiang Z. (2025) The impact of sustainable management systems on the sustainable development of water resources in agriculture and the reduction of agricultural carbon footprint. 13550, art. no. 135504D. DOI: 10.1117/12.3059876.

Jørgensen B.N., Ma Z.G. (2025) Impact of EU Laws on the Adoption of AI and IoT in Advanced Building Energy Management Systems: A Review of Regulatory Barriers, Technological Challenges, and Economic Opportunities. 15 (13), art. no. 2160. DOI: 10.3390/buildings15132160.

Kayaga S., Mugabi J., Kingdom W. (2013) Evaluating the institutional sustainability of an urban water utility: A conceptual framework and research directions. 27, pp. 15 – 27. DOI: 10.1016/j.jup.2013.08.001.

Lucas Costa Dos Anjos (2025) Institutional Experimentalism for AI Supervision: Fostering Public-Sector Innovation Through Sandboxes: Pathways on Capacity Building for AI Supervisory Authorities. pp 50-68. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000396637 (22/12/2025)

Mahoney W., Gandhi R.A. (2011) An integrated framework for control system simulation and regulatory compliance monitoring. 4 (1), pp. 41 – 53. DOI: 10.1016/j.ijcip.2011.03.002.

Maldonado Benitez V.M., Morales Matamoros O., Moreno Escobar J.J. (2025) Towards Resilient Cities: Systematic Review of the Literature on the Use of AI to Optimize Water Harvesting and Mitigate Scarcity. 17 (13), art. no. 1978. DOI: 10.3390/w17131978.

Masud M.M., Shamem A.S.M., Saif A.N.M., Bari M.F., Mostafa R. (2025) The role of artificial intelligence in sustainable water management in Asia: a systematic literature review with bibliographic network visualization. 9 (1), art. no. 100127, pp. 247 – 265. DOI: 10.1007/s42108-024-00319-7.

Miquelajauregui Y., Bojórquez-Tapia L.A., Eakin H., Gómez-Priego P., Pedroza-Páez D. (2022) Challenges and opportunities for universities in building adaptive capacities for sustainability: lessons from Mexico, Central America and the Caribbean. 22 (5), pp. 637 – 651. DOI: 10.1080/14693062.2021.1985422.

Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (1995) Performance Measurement System Design International Journal of Operations & Production Management, 15(4), 80–116

OECD (2020), Digital Government Index, OECD Public Governance Reviews. Kirkpatrick, D. L., & Kirkpatrick, J. D. (2006). Evaluating Training Programs: The Four Levels (3rd ed.). Berrett-Koehler.

OECD Skills Outlook (2023): Skills for a Resilient Green and Digital Transition

OĞUZTÜRK G.E. (2025) AI-driven irrigation systems for sustainable water management: A systematic review and meta-analytical insights. 11, art. no. 100982. DOI: 10.1016/j.atech.2025.100982.

ONEE Morocco (2022). Artificial Intelligence in Flood Forecasting: A Transition from Traditional Models to Machine Learning .Institutional Development Report.

Orme D., Campbell C. (2019) How leadership training saves money 'service line leadership' at Nottingham University Hospitals. 3 (2), pp. 29 – 36. DOI: 10.1136/leader-2018-000132

Oviedo J., Rodríguez M., Piattini M. (2024) An Environment for the Assessment of the Functional Suitability of AI Systems. 2178 CCIS, pp. 21 – 34. DOI: 10.1007/978-3-031-70245-7_2.

Paswan A.K., Pathan S.K., Agarwal A., Verma V. (2024) Artificial intelligence in efficient management of water resources. pp. 185 – 206. DOI: 10.1016/B978-0-443-23595-5.00010-3.

Poudel D.D. (2012) The Asta-Ja management capacity-building framework (Asta-Ja MCBF) for sustainable development in Nepal. 15 (4), pp. 334 – 352. DOI: 10.1504/IJSD.2012.050031.

PUB Singapore (2023). Smart Water Grid: Annual Sustainability Report .Public Utilities Board of Singapore.

Rawat M., Purohit G., Rawat D.S. (2024) Case Studies and Success Stories of AI Implementation in Wastewater Treatment. pp. 205 – 224. DOI: 10.1007/978-3-031-69433-2_8.

Rohde F., Wagner J., Meyer A., Reinhard P., Voss M., Petschow U., Mollen A. (2024) Broadening the perspective for sustainable artificial intelligence: sustainability criteria and indicators for Artificial Intelligence systems. 66, art. no. 101411. DOI: 10.1016/j.cosust.2023.101411.

Rompczyk K. (2025) Technological revolution in evaluation: Artificial intelligence and the adherence to evaluation standards. 31 (3), pp. 331 - 351, Cited 1 times. DOI: 10.1177/13563890251331066.

Roumell E.A., Todoran C., Khodakarami N. (2023) A Framework for Community Capacity Building: The Role of Assessment and Evaluation. pp. 127 – 146. DOI: 10.4324/9781003443117-10.

Saxena R., Srivastava V., Bharti D., Singh R., Kumar A., Sharma A. (2023) Artificial intelligence for water resource planning and management. pp. 51 – 70. DOI: 10.4018/979-8-3693-1194-3.ch003.

Tariq M.U. (2025) The Challenge of Artificial Intelligence in Environmental Sustainability: Opportunities, Risks, and Policy Implications. pp. 267 – 292. DOI: 10.4018/979-8-3373-1822-6.ch012.

UNDP (2009). Capacity Development: A UNDP Primer .United Nations Development Programme, New York.

United Nations. (2020, October 22). *Capacity-Building.* United Nations Academic Impact. https://www.un.org/en/academic-impact/capacity-building (Accessed 22 December 2025).