تصميم وتنفيذ نموذج هجين قائم على جودة البيانات لدمج نظم المعلومات الإدارية في البيئات التعليمية الورقية: إطار مرحلي وخوارزمية لاتخاذ قرار الانتقال

د.إلهام القاسم

الملخص

تحلل هذه الدراسة آليات دمج نظم المعلومات الإدارية والتربوية في البيئات التعليمية التي لا تزال تعتمد على السجلات الورقية، وتقترح نموذجاً تكاملياً تدريجياً لا يُلغي الورق بل يتعامل معه بوصفه مصدراً قانونياً وتشغيلياً إلى أن تتحقق شروط نضج محددة. وبدلاً من الاكتفاء بإطار مفاهيمي، تنتقل الدراسة إلى التصميم والتنفيذ الحاسوبي الفعلي: إذ تُبنى منظومة تجريبية بلغة Python تتكوّن من خمس وحدات متسلسلة — مولّد بيانات مُحاكى (5000 سجل)، ومحرك لجودة البيانات يُقيّم خمسة أبعاد (الاكتمال، والدقة، والتوقيت، والإتاحة، والملاءمة)، ووحدة لاكتشاف الشذوذ تعتمد خوارزمية Isolation Forest ، وخوارزمية لاتخاذ قرار الانتقال المرحلي تُنتج مؤشراً كمياً للجاهزية الرقمية(Digital Readiness Score) ، ولوحة قيادة تُغذّي القرار. قيست الدراسة كمياً — قبل التنفيذ وبعده — سبعة مؤشرات: زمن إدخال البيانات، ونسبة الأخطاء، ونسبة البيانات المفقودة، ونسبة التكرار، وزمن إنتاج التقرير، وتكلفة التصحيح، وجودة البيانات الإجمالية. وأظهرت نتائج المحاكاة تحسناً في جميع المؤشرات السبعة، تراوح بين انخفاض بنسبة 37.8% في زمن الإدخال (معامل نمذجة افتراضي) و 80.1% في نسبة الأخطاء، مع ارتفاع جودة البيانات الإجمالية من 87.5 إلى 95.4 (+9.0%). وطبّقت خوارزمية القرار عتبات مقترحة استنباطياً، مقرونة بحدود دنيا

لأبعاد الجودة، على مؤشر جاهزية محسوب من بيانات محاكاة (DRS = 95.2 للنموذج الهجين)؛ وتبيّن أن DRS وحده لا يميّز بين النماذج الثلاثة بينما تميّزها الحدود الدنيا، وأن وحدة اكتشاف الشذوذ بلغت دقة 0.89 واستدعاءً 0.82 على الشذوذ المحقون. وهي نتائج إثبات جدوى لا قياسات ميدانية. وتخلص الدراسة إلى أن نجاح التحول يعتمد على التوازن بين الاستمرارية التشغيلية والتحول الرقمي، مع تعزيز الحوكمة واستخدام البيانات في دعم القرار. ويبقى التحقق الخبروي عبر أسلوب دلفي والاختبار الميداني الموسّع شرطاً للتعميم.

الكلمات المفتاحية :التحول الرقمي الهجين، نظم المعلومات الإدارية التعليمية(EMIS) ، جودة البيانات، محرك جودة البيانات، جزر العزل، مؤشر الجاهزية الرقمية، خوارزمية قرار الانتقال، الحوكمة المؤسسية، بحث علوم التصميم، البيئات الورقية، التحول غير المعطل.

Abstract

This study analyzes the mechanisms for integrating Management Information Systems (MIS) and Education Management Information Systems (EMIS) into educational environments that remain reliant on paper-based records. It proposes a gradual, integrative model that does not eliminate paper but treats it as a legal and operational source until specific digital maturity criteria are achieved. Moving beyond a purely conceptual framework, the study proceeds to computational design and implementation: a Python-based experimental system is built with five sequential modules — a synthetic dataset generator (5,000 records), a Data Quality Engine evaluating five dimensions (completeness, accuracy, timeliness, availability, relevance), an anomaly-detection module based on Isolation Forest, a transition decision algorithm producing a quantitative Digital Readiness Score, and a decision dashboard. Seven indicators were measured quantitatively before and after implementation: data-entry time, error rate, missing-data rate, duplication rate, report-generation time, correction cost, and overall data quality. Simulation results showed improvement across all seven indicators, ranging from a 37.8% reduction in entry time (an assumed modelling parameter) to an 80.1% reduction in error rate, with overall data quality rising

from 87.5 to 95.4 (+9.0%). The decision algorithm applied deductively proposed thresholds, combined with minimum per-dimension gates, to a readiness score computed from simulated data (DRS = 95.2 for the hybrid model); the score alone did not discriminate between the three models, whereas the gates did, and the anomaly-detection module reached a precision of 0.89 and a recall of 0.82 against injected anomalies. These are proof-of-concept results, not field measurements. The study concludes that successful transformation depends on balancing operational continuity with digital transformation, while strengthening governance and data-driven decision-making. Expert validation via the Delphi method and expanded field testing remain prerequisites for generalization.

Keywords: Hybrid Digital Transformation, Education Management Information Systems (EMIS), Data Quality, Data Quality Engine, Isolation Forest, Digital Readiness Score, Transition Decision Algorithm, Institutional Governance, Design Science Research, Paper-Based Environments, Non-Disruptive Transformation.

1. المقدمة

يمثل التحول الرقمي في النظم التعليمية أحد أبرز التحديات الاستراتيجية التي تواجه مؤسسات التعليم، إذ لم تعد نظم المعلومات أدوات دعم إدارية فحسب، بل عناصر جوهرية في تحسين جودة التعليم وكفاءة استخدام الموارد [1]. ويتأثر هذا التحول بسياقات مؤسسية وتقنية معقدة، لا سيما في البيئات التي ظلت تعتمد تاريخياً على النظم الورقية.

1.1 مشكلة البحث

تبرز فجوة بين الطموحات الرقمية للسياسات التعليمية والواقع التشغيلي، حيث تستمر الممارسات الورقية بسبب اعتبارات قانونية وإجرائية وثقافية، إضافة إلى ضعف البنية التحتية ونقص الكوادر وتدني جودة البيانات [2]، مما يُنتج "ازدواجية غير منظمة" بين النظامين تُضعف الكفاءة والموثوقية [3]، وتتفاقم في السياقات محدودة الموارد أو غير المستقرة تقنياً وتشريعياً [4]. وتتفاقم هذه المشكلة بسبب غياب آلية موضوعية للتحقق من جاهزية المؤسسة للانتقال بين مراحل التحول، ما يُنتج إما قفزات رقمية متعثرة، أو بقاءً في النموذج الورقي رغم إمكانية التحسين [16]. وهذا ما تتصدى له هذه الدراسة عبر تصميم نموذج هجين وتنفيذه حاسوبياً.

1.2 أسئلة البحث

1. ما التحديات الرئيسية أمام دمج نظم المعلومات في البيئات الورقية؟
2. ما مكونات نموذج هجين يحقق دمجاً تدريجياً غير معطل مع الحفاظ على جودة البيانات؟
3. ما معايير الانتقال المقترحة بين المراحل التي يُفترض أن تضمن النجاح دون تعطيل العمليات، وكيف يمكن التحقق من صلاحيتها قبل اعتمادها؟
4. كيف يمكن تصميم منظومة حاسوبية تُجسّد النموذج الهجين وتُتيح قياس أثره على جودة البيانات كمياً؟
5. ما مدى قدرة خوارزمية قرار الانتقال على إنتاج قرارات موضوعية بناءً على مؤشر الجاهزية الرقمية (DRS) وحدود دنيا لأبعاد الجودة؟

1.3 أهداف الدراسة

1. تحليل آليات الدمج في البيئات الورقية استناداً إلى أدلة موثقة من حالات دولية.
2. تطوير نموذج تكاملي تدريجي يتعامل مع الورق كمصدر قانوني مؤقت، ويُترجم إلى معمارية نظام قابلة للتنفيذ حاسوبياً.

3. بناء منظومة تجريبية بلغة Python تُجسّد الطبقات الأربع للنموذج، وتشمل محرك جودة بيانات، ووحدة اكتشاف شذوذ بخوارزميةIsolation Forest ، وخوارزمية قرار انتقال.
4. قياس سبعة مؤشرات كمية (زمن الإدخال، ونسبة الأخطاء، والبيانات المفقودة، والتكرار، وزمن إنتاج التقرير، وتكلفة التصحيح، وجودة البيانات) قبل التنفيذ وبعده.
5. مقارنة كمية بين ثلاثة نماذج (الورقي الخالص، والهجين، والرقمي الكامل) عبر مؤشر الجاهزية الرقمية (DRS) وحدود دنيا لأبعاد الجودة.
6. تقديم إطار مرحلي أولي قائم على جودة البيانات والحوكمة، مصحوب بخطة صريحة للتحقق الخبروي والاختبار التجريبي.

1.4 أهمية الدراسة

نظرياً، تسد الدراسة فجوة معرفية، إذ تندر الدراسات التي تناولت النماذج الهجينة كمسار انتقالي بديل عن الاستبدال الفوري أو الإلغاء التام للورق. ***تطبيقياً***، تقدم تصوراً أولياً قابلاً للتطوير للمؤسسات في الدول النامية والمتوسطة الدخل، يهدف إلى ضمان استمرارية العمليات وتجنّب تعطل القفزات التقنية غير المدروسة، على أن يخضع هذا التصور لتحقق خبروي واختبار تجريبي قبل اعتماده عملياً. ***تطبيقياً وحاسوبياً***، تقدم الدراسة — إضافة إلى الإطار المفاهيمي — منظومة تجريبية مفتوحة قابلة لإعادة التشغيل (Reproducible)تُتيح للمؤسسات اختبار منطق النموذج على بياناتها الخاصة قبل أي استثمار ميداني، وذلك عبر كود Python متاح كملحق إلكتروني. ***منهجياً***، تدمج التحليل النظري بدراسة حالات دولية، وتقدم إطاراً أولياً لتقييم جاهزية المؤسسات للانتقال بمؤشرات قابلة للقياس، مع الإقرار الصريح بأن هذه المؤشرات مقترحة استنباطياً وتحتاج تحققاً قبل اعتمادها كمعيار.

وفي جوهره، لا يقتصر إسهام هذه الدراسة على "اقتراح نظام هجين" — إذ إن الأدبيات تحوي إشارات عامة إلى النماذج الهجينة — بل يتمثل ابتكارها الأساسي في تحويل "الازدواجية غير المنظمة" بين الورق والرقمنة إلى "ازدواجية منضبطة وقابلة للقياس"، عبر آليتين متكاملتين لم تقدّمهما الأطر القائمة (SABER–EMIS، EMIS 2.0، OpenEMIS) بصورتهما الإجرائية: (1) بوابات انتقال رقمية صريحة مرتبطة بأبعاد جودة البيانات الخمسة، و(2) محرك حاسوبي (Data Quality Engine + Transition Decision Algorithm) يُشغّل هذه البوابات ويُنتج مؤشر جاهزية رقمياً (DRS) قابلاً للاختبار وإعادة التشغيل. وبهذا ينتقل النموذج من مستوى "التشخيص والرؤية" إلى مستوى "القياس والقرار المرحلي".

1.5 حدود الدراسة

جغرافياً، تعتمد على أربع حالات دولية، ثلاث منها (فلسطين، والصومال، وتشاد) سياقات نزاع أو نزوح، وهو ما يحد من تمثيلها للحالة الأكثر شيوعاً عالمياً (بيئات ورقية مستقرة نسبياً لكن منخفضة الموارد)، دون التخصص لدولة بعينها. ***موضوعياً***، تركز على EMIS/SMIS دون الأنظمة الأكاديمية أو التعلم الإلكتروني. ***منهجياً***، تعتمد التحليل النوعي ومراجعة الأدبيات، مع الانتقال إلى التنفيذ الحاسوبي للتحقق من منطق النموذج كمياً، دون تطبيق ميداني. وتقتصر المخرجات الكمية (العتبات والمؤشرات) على كونها مقترحات استنباطية مطبَّقة في إثبات جدوى أولي على Dataset مُحاكى، مع تقديم خطة صريحة لدراسة تجريبية مستقبلية. ***حاسوبياً***، يُصرَّح بأن Dataset المستخدم مُحاكى (Synthetic) لا ميداني، وقد صُمِّم وفق أنماط الأخطاء الموثَّقة في الأدبيات. ولا يُغني هذا التنفيذ عن الاختبار الميداني، بل يُقدّم إثبات جدوى كمياً أولياً على قابلية النموذج للتنفيذ ومنطق أثره المتوقع.

ويجدر التنويه صراحةً إلى أن النموذج المقترح لم يُصمَّم لبيئات الأزمات والنزوح وحدها، بل يستهدف بنيته المرنة (الطبقات الأربع، وبوابات الانتقال القائمة على جودة البيانات، والجدول الزمني القابل للتكيف في الجدول (7)) تلبية احتياجات البيئات التعليمية المستقرة منخفضة الموارد بالقدر ذاته، إذ إن جوهر المشكلة — الازدواجية غير المنظمة بين الورق والرقمنة، وضعف جودة البيانات — مشترك بين السياقين وإن اختلفت شدته. غير أن غلبة سياقات النزاع في العينة الحالية تحول دون التحقق من هذا الادعاء إلا تجريبياً، ولذلك تُوصي الدراسة صراحةً (القسم 12.4) بأن تشمل المرحلة الرابعة من الخارطة البحثية اختبار النموذج في بيئات تعليمية مستقرة ذات بنية ورقية قبل أي تعميم عالمي.

ويُدعَّم هذا الادعاء بملاحظة تحليلية مستخلصة من الحالات نفسها: إن جوهر المشكلة الذي يعالجه النموذج — "الازدواجية غير المنظمة" بين الورق والرقمنة — ليس حكراً على سياقات النزاع، بل ينشأ في البيئات المستقرة منخفضة الموارد عن قواسم مشتركة بنيوية رصدتها الحالات الأربع جميعاً وإن اختلفت شدتها: (1) ضعف الكوادر المتخصصة في إدارة البيانات (جامايكا: غياب كوادر تحليل؛ تشاد: نقص تدريب المفتشين)، (2) محدودية الميزانية التي تدفع إلى الاعتماد على الورق كحل منخفض التكلفة (فلسطين: نقل عبء الإدخال إلى المديريات؛ جامايكا: أنظمة منفصلة قديمة)، (3) غياب المعايير الموحدة والمعرفات الفريدة (جامايكا: غياب معرفات موحدة؛ فلسطين: جزر بيانات)، و(4) ضعف التغذية الراجعة نحو المدرسة (الحالات الأربع). وهذه القواسم لا تعتمد على انعدام الأمن، بل على بنية مؤسسية واقتصادية مشتركة،

وهو ما يُسوّغ افتراض قابلية النقل — مع بقائه فرضية تحتاج تحققاً تجريبياً في بيئات مستقرة (المرحلة 4 من الخارطة البحثية، القسم 12.4

1.6 هيكل المقالة

تتناول الأقسام التالية الإطار النظري (القسم 2)، ثم المنهجية — بما فيها منهجية التنفيذ الحاسوبي (القسم 3، وتحديداً 3.9) — فتحليل الحالات الدولية (القسم 4)، فالنموذج الهجين المقترح (القسم 5)، فمراحل التنفيذ ومعايير الانتقال (القسم 6)، فالتطبيق التجريبي ومقاييس التقييم، بما فيه النتائج الكمية للتنفيذ الحاسوبي (القسم 7)، فالمناقشة (القسم 8)، فالتحليل الاقتصادي التوضيحي (القسم 9)، فإسهامات الدراسة (القسم 10)، وتختتم بالخاتمة (القسم 11) والتوصيات (القسم 12).

2. الإطار النظري ومراجعة الأدبيات

2.1 نظم المعلومات التعليمية

تُعرَّف نظم المعلومات التعليمية (EMIS) بأنها منظومة مؤسسية تضم الأشخاص والعمليات وقواعد البيانات والتقنيات، تهدف إلى إنتاج بيانات موثوقة تُستخدم في التخطيط التربوي وصياغة السياسات [5]، وتمتد من نظم إدارية عامة (MIS) إلى نظم متخصصة على مستوى المدرسة (SIS) تدير الحضور والدرجات والموارد [6]. ويؤكد إطار البنك الدولي SABER–EMIS على أربع حزم حاكمة للنجاح: البيئة التمكينية (تشريعات، موارد، حوكمة)، وسلامة النظام، وجودة البيانات، واستخدام البيانات في القرار [6]. وتُسهم هذه النظم في تحقيق الهدف الرابع للتنمية المستدامة عبر توفير بيانات لرصد الفجوات وتوجيه الاستثمار[1].

2.2 تحديات التطبيق في البيئات الورقية

تشير الدراسات والتقارير الميدانية إلى أن البيئات التعليمية الورقية تواجه تحديات تُعيق دمج نظم المعلومات الإدارية وتُضعف فعاليتها، ويمكن تصنيفها في أربعة محاور:

أولاً، التحديات التشغيلية: يستغرق نقل البيانات من السجلات الورقية إلى القواعد الرقمية وقتاً طويلاً ويزيد من أعباء الموظفين خاصة في غياب كوادر مخصصة للإدخال [8]، ويؤدي الإدخال اليدوي المتكرر إلى ارتفاع معدل الأخطاء البشرية في النسخ والترميز [9]، وتتأخر معالجة البيانات وإنتاج التقارير نتيجة الطبيعة التسلسلية للإدخال اليدوي، فتفقد المعلومات قيمتها الزمنية في دعم القرارات[10].

ثانياً، التحديات الفنية والبنائية: تعاني مؤسسات كثيرة من "جزر بيانات" معزولة تُخزَّن فيها البيانات في أنظمة أو أقسام متعددة لا تتواصل مع بعضها [11]، وتفتقر النماذج الورقية المصممة بمعزل عن الأنظمة الرقمية إلى التوافق مع معايير التبادل الإلكتروني، مما يستدعي إعادة تصميمها يدوياً ويرفع التكاليف [12]،

وفي كثير من السياقات النامية تعاني شبكات الاتصال من ضعف التغطية أو انقطاع الخدمة، مما يجعل الاعتماد الكلي على الأنظمة الرقمية محفوفاً بالمخاطر[4].

ثالثاً، التحديات التنظيمية والبشرية: تفتقر مؤسسات كثيرة إلى سياسات واضحة لإدارة السجلات الرقمية والاعتراف القانوني بها بديلاً عن الأصل الورقي، مما يُبقي الورق "المصدر الرسمي" الوحيد ويُضعف الثقة في البيانات الرقمية [13]، ويتخوف العاملون من فقدان السيطرة على سجلاتهم أو زيادة أعبائهم نتيجة أنظمة لا يتقنون استخدامها، فتتولد مقاومة غير معلنة للتحول [7]، ويعاني كثير من الموظفين من نقص المهارات الرقمية الأساسية، مما يحد من استفادتهم من النظم المعلوماتية في اتخاذ القرار[14].

رابعاً، تحديات جودة البيانات: تعاني السجلات الورقية غالباً من نقص البيانات أو حقول غير مملوءة يُضعف قيمتها التحليلية [2]، وتنتشر الأخطاء الكتابية والتناقضات نتيجة تعدد مصادر الإدخال وغياب آليات تحقق فورية [15]، وتُجمع البيانات الورقية في فترات متباعدة وتُعالج بعد تأخير كبير، فتفقد القدرة على عكس الواقع الراهن أو دعم القرارات الآنية[2].

2.3 النماذج الهجينة: المفهوم والمبررات

تُعرف النماذج الهجينة بأنها إطار تشغيلي يجمع بين السجلات الورقية والرقمية، حيث تظل الوثيقة الورقية مصدراً معتمداً إلى حين تحقق شروط نضج في البيانات والبنية التحتية والقدرات البشرية [9]، وتحوّل "الازدواجية غير المنظمة" إلى "ازدواجية منضبطة" تُستخدم كأداة انتقال مدروسة [16]. وتؤكد مواد اليونيسف أن الجمع الهجين يكون فعالاً إذا صاحبه تصميم دقيق للنماذج الورقية وتحقق آلي وتغذية راجعة دورية [9]، [16]. ويقوم هذا المنطق على رقمنة "البيانات الحرجة" تدريجياً بدلاً من رقمنة كل الوثائق دفعة واحدة، بما ينسجم مع توصيات اليونيسف بشأن التدرج التشغيلي [9] ورؤية البنك الدولي لتطور نظم بيانات التعليم [16]، وينسجم أيضاً مع فلسفة "التحول غير المعطل" في أدبيات إدارة التغيير المؤسسي.

2.4 جودة البيانات كشرط للنجاح

وضع معهد اليونسكو للإحصاء (UIS) خمسة أبعاد لجودة بيانات EMIS : الاكتمال، والملاءمة، والدقة، والتوقيت، والإتاحة [2]. وتُظهر الأدبيات أن جودة البيانات شرط لنجاح النظام لا نتيجة له، إذ فشلت مشاريع أهملت هذا الجانب رغم استثمارها التقني [4]، [16]. وتُعد هذه الأبعاد الخمسة قابلة للتحويل إلى مؤشرات أداء رئيسية يمكن أن تُستخدم كـ"بوابات قرار" للانتقال بين مراحل التحول [2]، غير أن الأدبيات المصدر لا تحدد عتبات رقمية جاهزة لهذه البوابات، وهو ما تتصدى له هذه الدراسة كمقترح أولي يخضع

للتحقق (القسم 6، والقسم 3.8). وقد ترجمت هذه الدراسة أبعاد الجودة الخمسة إلى محرك جودة بيانات قابل للتنفيذ حاسوبياً (القسم 3.9)، يُقيّم السجلات وفق مؤشرات قابلة للقياس، ويُنتج درجة جودة مُركّبة تُستخدم كمدخل لخوارزمية قرار الانتقال (القسم 7.5).

2.5 الحوكمة وإدارة التغيير

يعتمد نجاح نظم المعلومات على إطار حوكمة واضح يحدد الأدوار ويعزز المساءلة [6]، وتُعرَّف حوكمة البيانات بأنها سياسات وإجراءات تضمن إدارة منهجية شفافة وآمنة [18]. ويتسق هذا مع نموذج "الخطوط الثلاثة" الذي يوزّع مسؤوليات الرقابة على مستويات الإدارة التشغيلية والرقابة الداخلية والتدقيق المستقل [18]، وهو ما يمكن تكييفه في النظم الهجينة لتحديد السلطة المرجعية عند تعارض النسخة الورقية مع الرقمية، عبر نموذج حوكمة متعدد المستويات (استراتيجي، وتشغيلي، وتقني)[18].

2.6 أسس نظرية تكميلية

يستند النموذج المقترح، إضافة إلى أدبيات EMIS المتخصصة، إلى ثلاث نظريات مؤسِّسة في حقل نظم المعلومات تمنحه عمقاً نظرياً معترفاً به دولياً وتُسهّل تعميم منطقه على سياقات مؤسسية متنوعة تتجاوز قطاع التعليم. وخلافاً لإدراجها كخلفية عامة فقط، يُستعان بها لاحقاً بشكل مباشر في تفسير نتائج تحليل الحالات الأربع (القسم 8):

1. إطار التكنولوجيا–المؤسسة–البيئة (TOE) : يفسر هذا الإطار تبني الابتكارات التقنية عبر ثلاثة أبعاد متفاعلة: الخصائص التقنية للحل ذاته، والسياق المؤسسي (الموارد، والهيكل، وثقافة التغيير)، والسياق البيئي (السياسات، والضغوط التنظيمية، وتوافر البنية التحتية) [35]. ويتسق تصميم النموذج الهجين مع هذا الإطار إذ لا يتعامل مع التحول الرقمي بوصفه قراراً تقنياً بحتاً، بل يُدرج صراحة أبعاد الحوكمة المؤسسية (البُعد المؤسسي) ومرونة الجدول الزمني حسب السياق (البُعد البيئي) إلى جانب طبقات التكامل التقني.

2. نظرية انتشار الابتكار (Diffusion of Innovation) : تصنف هذه النظرية تبني الابتكار عبر مراحل متتالية (المعرفة، والإقناع، والقرار، والتطبيق، والتأكيد)، وتؤكد أن نسبة التبني تتأثر بالميزة النسبية للابتكار وتوافقه مع الممارسات القائمة وقابليته للتجربة على نطاق محدود قبل التعميم [36]. ويعكس تصميم "الإدخال المزدوج المحدود" والمراحل الخمس التدريجية في النموذج المقترح منطق "القابلية للتجربة " (Trialability) الذي تُبرزه هذه النظرية كعامل حاسم في تسريع التبني وتقليل مقاومة التغيير. كما تجسّد

المنظومة التجريبية المُنفَّذة (القسم 3.9) هذا المنطق عملياً، إذ تُتيح اختبار النموذج على نطاق محدود قبل التعميم.

3. نموذج نجاح نظم المعلومات (DeLone & McLean IS Success Model) : يربط هذا النموذج المُحدَّث بين جودة النظام وجودة المعلومات وجودة الخدمة من جهة، والاستخدام الفعلي ورضا المستخدمين والمنافع الصافية من جهة أخرى، مؤكداً أن جودة المعلومات (Information Quality) شرط سابق للاستخدام والرضا لا نتيجة لهما [37]. ويستعير النموذج المقترح هذا المنطق مباشرة عبر جعل "جودة البيانات" بوابة انتقال أساسية بين المراحل بدل الاكتفاء بمؤشرات الاستخدام التقني وحدها، وعبر ربط الطبقة الرابعة (التحليل واتخاذ القرار) بمنطق "المنافع الصافية" الذي يُترجم إلى قرارات تشغيلية فعلية لا تقارير مُهملة. وقد اتسق هذا المنطق مع نتائج المحاكاة (القسم 7.5)، حيث رافق ارتفاعَ جودة البيانات (من 87.54 إلى 95.42) تحسّنٌ في المؤشرات التشغيلية الأخرى، دون أن يُعدّ ذلك اختباراً سببياً.

وتتكامل هذه الأسس الثلاثة مع نظرية النظم الاجتماعية–التقنية [7] ونموذج الحوكمة متعدد المستويات [18] الواردين سابقاً، لتشكل معاً إطاراً نظرياً متعدد المستويات (تقني، وتنظيمي، وبيئي، ومعلوماتي) يُغطي أبعاد التحول الرقمي الهجين بشكل شامل، ويُوظَّف هذا الإطار الموحد لاحقاً في تفسير أنماط النجاح والفشل عبر الحالات الأربع (القسم 8).

2.7 الفجوة البحثية

تندر النماذج الهجينة المنهجية المتكاملة، ويضعف الربط بين مؤشرات جودة البيانات ومعايير الانتقال، ويغيب الإطار الزمني المرحلي الواضح، وتقل الدراسات التي تعالج السياقات الورقية الخالصة، وتفتقر الأدبيات إلى إطار منهجي لآليات التغذية الراجعة في السياقات الهجينة. غير أن هذه الفجوة الوصفية ليست الفجوة الوحيدة التي تعالجها الدراسة: فحتى الأطر القائمة(SABER–EMIS ، ودليل EMIS2.0) التي تشخّص هذه المشكلات لا تقدم آلية صريحة للتحقق من صحة أي عتبات كمية تُقترح لسد هذه الفجوة قبل اعتمادها ميدانياً. لذلك تتبنى هذه الدراسة فجوة بحثية ثلاثية: (1) غياب نموذج هجين منهجي متكامل يربط جودة البيانات بمعايير انتقال صريحة، (2) غياب مسار واضح للتحقق من صلاحية هذه المعايير قبل تعميمها، و(3) غياب تطبيق حاسوبي قابل لإعادة التشغيل يختبر منطق النموذج كمياً. وتعالج الدراسة هذه الفجوة الثلاثية عبر: تصميم نموذج مفاهيمي (القسم 5–6)، وتنفيذ حاسوبي للمنظومة يقيس أثره كمياً (القسم 3.9 و7.5)، وخطة تحقق خبروي صريحة (القسم 3.8)، وتصميم شبه تجريبي ميداني (القسم 7).

3. المنهجية

الموقع المنهجي للدراسة :تتموضع هذه الدراسة ضمن تقليد بحث علوم التصميم (Design Science Research — DSR)الذي يُقر بأن تطوير حل (Artifact) نظري متسق مع الأدبيات ومُختبر منطقياً عبر حالات واقعية يُمثل إسهاماً بحثياً مكتملاً بذاته، لا يشترط بالضرورة التطبيق الميداني الفوري لصحته أو قيمته العلمية [38]. ووفق منهجية Peffers وزملائه لبحث علوم التصميم (DSRM) بمراحلها الست (تحديد المشكلة، وتحديد الأهداف، والتصميم والتطوير، والعرض التوضيحي، والتقييم، والتواصل) [39]، تُنجز هذه الدراسة المراحل الأربع الأولى: تحديد المشكلة والفجوة البحثية (القسم 1–2)، وتحديد أهداف الحل (القسم 1)، وتصميم النموذج (القسم 5–6)، والعرض التوضيحي عبر تحليل توافقه مع أربع حالات واقعية موثقة (القسم 4)، إضافةً إلى التنفيذ الحاسوبي (القسم 3.9) الذي يُجسّد مرحلتي العرض التوضيحي والتقييم بشكل أولي. أما التقييم الرسمي الموسّع والتواصل الموسّع فتُحالان صراحة إلى خطة بحثية لاحقة موصوفة في القسم (3.8)، بما يجعل غياب التطبيق الميداني الحالي جزءاً من تسلسل منهجي مقصود لا نقصاً في التصميم البحثي.

3.1 المنهج المتبع

اعتمدت الدراسة منهجاً نوعياً تحليلياً في استقراء الأنماط والدروس من الحالات الأربع (القسم 4). أما العتبات الرقمية والمؤشرات الكمية الواردة لاحقاً في تصميم النموذج (الجداول 5، 6، 8، 9) فهي نتاج اشتقاق استنباطي (deductive) من الأدبيات المرجعية (وعلى رأسها أبعاد جودة بيانات UIS الخمسة[2]) وليست نتيجة تحليل إحصائي للبيانات النوعية نفسها. هذا التمييز جوهري: العتبات المقترحة تمثل فرضيات تشغيلية قابلة للاختبار (testable propositions) يجب أن تمر بجولتي تحقق قبل اعتمادها كمعيار: تحقق خبراتي عبر أسلوب دلفي (القسم 3.8)، ثم تحقق تجريبي عبر التصميم شبه التجريبي (القسم 7). لا ينبغي قراءتها في وضعها الحالي كنتائج مثبتة إحصائياً، وإن كانت قد خضعت لاختبار أولي عبر التنفيذ الحاسوبي (القسم 3.9).

3.2 مجتمع الدراسة وعينتها

تتمثل في التقارير والدراسات المنشورة حول EMIS في البيئات الورقية الصادرة عن منظمات دولية (اليونسكو، والبنك الدولي، واليونيسف، ومنظمة التعاون الاقتصادي والتنمية) والمجلات العلمية المحكمة خلال 2015–2025. ويوضح الجدول (1) التالي معايير اختيار العينة:

الجدول (1): معايير اختيار العينة

الوصف	المعيار
أن يتناول التقرير واقع نظم المعلومات التعليمية في سياقات ورقية أو تحديات التحول الرقمي في التعليم	الصلة الموضوعية
أن تمثل حالات من مناطق جغرافية مختلفة (الشرق الأوسط، وأفريقيا، وأمريكا اللاتينية)	التنوع الجغرافي
أن تشمل مستويات مختلفة (وزارة، ومديرية، ومدرسة) لالتقاط الأنماط الإدارية المتعددة	التنوع المؤسسي
أن تكون التقارير صادرة عن جهات رسمية موثوقة أو منشورة في مجلات محكمة	التوفر والموثوقية

وبناءً على هذه المعايير، تكونت العينة من أربع حالات رئيسية: **فلسطين** (تعداد مدرسي في بيئة متعددة مقدمي الخدمة)[21]، **والصومال** (جمع بيانات في سياق صراع وعدم استقرار)[22]، **وتشاد** (نظام هجين في سياق نزوح)[23]، **وجامايكا** (أنظمة منفصلة في سياق مستقر نسبياً) [24]، اختيرت لتنوعها الجغرافي وتشابه تحدياتها وتوافر بيانات موثوقة عنها وتمثيلها لأنماط "ورق+رقم". واستُكملت بمراجعة منهجية لأكثر من 30 مصدراً علمياً وتقريراً رسمياً. ويُشار صراحة إلى أن ثلاثاً من الحالات الأربع (75%) تمثل سياقات نزاع أو نزوح، وهو ما يحدّ من تمثيل العينة للحالة الأكثر شيوعاً عالمياً (بيئات ورقية مستقرة نسبياً منخفضة الموارد دون نزاع)، هذا التحيز التمثيلي يُناقش صراحة كتهديد للصدق الخارجي في القسم 8.1.

3.3 أدوات جمع البيانات

اعتمد تحليل الوثائق [25] بشكلين: تحليل التقارير الرسمية لاستخلاص المعمارية التقنية وعبء العمل وتحديات الجودة والتغذية الراجعة، ومراجعة منهجية للأدبيات عبر قواعد Scopus و Web of Science و Google Scholar بكلمات مفتاحية مرتبطة بـ EMIS والنماذج الهجينة وجودة البيانات، للفترة 2015–2025، مع استبعاد الدراسات التي تناولت الأنظمة الرقمية الكاملة فقط.

3.4 إجراءات التحليل

استُخدم التحليل الموضوعي وفق خطوات براون وكلارك الست [26] (الإلمام بالبيانات، والترميز الأولي، والبحث عن الموضوعات، ومراجعتها، وتعريفها، وكتابة التقرير)، إلى جانب التحليل المقارن بين الحالات الأربع وفق المعمارية التقنية ومستوى الرقمنة وجودة البيانات وعبء العمل وآليات التغذية الراجعة.

3.5 الصدق والثبات

تحققت عبر التثليث المصدري ومراجعة الأقران والتتبع الاستقصائي الطويل (المصداقية)، والوصف الغني الكثيف (قابلية النقل)، وتوثيق خطوات البحث (الاعتمادية)، والفصل بين التفسير والبيانات الأولية (التأكيدية)[27].

3.6 الاعتبارات الأخلاقية

شملت الشفافية في الاستشهاد، والموضوعية دون تحيز جغرافي، وعدم التعامل مع بيانات شخصية حساسة كون المصادر تقارير منشورة، والإفصاح الواضح عن حدود الدراسة، ومناقشة القضايا الأخلاقية لخصوصية بيانات الطلاب لاحقاً (القسم 11).

3.7 حدود المنهجية

اعتماد على مصادر ثانوية دون بيانات ميدانية أولية، وعدد حالات محدود (أربع) لا يسمح بتعميم إحصائي وإن كان الهدف تقديم إطار قابل للتكيف، وعدم تطبيق ميداني للنموذج المقترح (وإن نُفِّذ حاسوبياً)، واحتمال تحيز في اختيار المصادر نحو الحالات الأكثر توثيقاً دولياً، إضافة إلى تحيز تمثيلي واضح نحو سياقات النزاع كما ذُكر في القسم 3.2.

3.8 استراتيجية التحقق من النموذج (خطة مرحلة التقييم اللاحقة)

بما أن النموذج المقترح لم يُطبَّق ميدانياً بعد، وبما أن عتباته الرقمية اشتُقت استنباطياً كما أُوضح أعلاه، تقترح الدراسة خطة تحقق صريحة ومنهجية قابلة للتنفيذ في مرحلة بحثية لاحقة، تسبق أي دراسة تجريبية (القسم 7) وتُكمّلها، عبر أسلوب دلفي (Delphi Method) المعتمد على نطاق واسع للتحقق من نماذج مفاهيمية غير مُختبرة ميدانياً قبل تطبيقها [40]. وبعد إتمام التنفيذ الحاسوبي (القسم 3.9)، طُبِّقت العتبات الرقمية الواردة في الجداول (5) و(6) و(8) في إثبات جدوى أولي على Dataset مُحاكى، لكنها تبقى بحاجة إلى تحقق خبروي عبر دلفي قبل اعتمادها معياراً، ثم إلى تحقق ميداني عبر الدراسة شبه التجريبية (القسم 7). وتتضمن الخطة المقترحة:

تشكيل لوحة الخبراء :اختيار 12–15 خبيراً يجمعون بين ثلاث فئات: مختصو نظم معلومات تعليمية عملوا في وزارات أو منظمات دولية (5–6 خبراء)، وأكاديميون في نظم المعلومات الإدارية وإدارة التغيير (4–5 خبراء)، وممارسون ميدانيون (مديرو مدارس، ومسؤولو تخطيط) من سياقات متنوعة (3–4 خبراء)، لضمان التوازن بين الصرامة الأكاديمية والواقعية التطبيقية.

جولات التحقق :جولتان إلى ثلاث جولات تقييم مجهولة الهوية(Anonymous Rounds) ، تُقيَّم فيها مكونات النموذج (الطبقات الأربع، ومراحل التنفيذ الخمس، وبوابات الانتقال وعتباتها الرقمية تحديداً، ومؤشرات الأداء) على مقياس ليكرت خماسي من حيث الوضوح والملاءمة والقابلية للتطبيق، مع فرصة لإضافة تعديلات نوعية بعد كل جولة.

معايير التوافق :(**Consensus Criteria**) اعتماد معامل اتفاق كندال (Kendall's W) أو المدى الربيعي (Interquartile Range — IQR) لقياس درجة توافق الخبراء، مع اعتبار العنصر "محل توافق" عند $IQR \leq 1$ على مقياس من خمس نقاط، وتوقف الجولات عند استقرار التوافق أو بعد ثلاث جولات كحد أقصى.

المخرج المتوقع :نسخة مُنقَّحة من النموذج، وتحديداً من عتباته الرقمية، معدَّلة وفق ملاحظات الخبراء، تُشكل الأساس المعتمد للدراسة التجريبية الموصوفة في القسم (7)، بما يضمن تسلسلاً منهجياً متكاملاً من التصميم النظري إلى التحقق الخبروي فالتجريب الميداني. العتبات الواردة في الجداول 5 و6 و8 من هذه الورقة تبقى، حتى إتمام هذه الخطوة، مقترحات أولية لا معايير معتمدة.

3.9 منهجية التنفيذ الحاسوبي(Computational Implementation Methodology)

الموقع المنهجي :استجابةً لمتطلبات التحقق التجريبي التي فُرضت على النموذج المفاهيمي، تتوسع هذه الدراسة من الإطار التصميمي إلى التنفيذ الحاسوبي الفعلي، عبر بناء منظومة تجريبية بلغة Python تُجسّد الطبقات الأربع للنموذج الهجين وتقيس أداءها كمياً. ويتموضع هذا التوسع ضمن المرحلة الثالثة من منهجية Peffers وزملائه لبحث علوم التصميم[39] (DSRM) ، وتحديداً مرحلتي العرض التوضيحي (Demonstration) والتقييم(Evaluation) اللتين تُنفَّذان في هذه الدراسة عبر المنظومة التجريبية المُوصوفة أدناه، بينما يبقى التقييم الميداني الموسّع ضمن خطة بحثية لاحقة (القسم 3.8)

فلسفة التنفيذ :لم يُصمَّم النظام التجريبي بوصفه نظام إنتاج جاهز للنشر، بل بوصفه أداة اختبار مضبوطة (Controlled Testbed)تُتيح قياس أثر النموذج الهجين على جودة البيانات وزمن العمليات وتكلفة

التصحيح، في بيئة يمكن التحكم في متغيراتها. وهذا ينسجم مع منطق "القابلية للتجربة (Trialability) " في نظرية انتشار الابتكار [36]، حيث يُختبر النموذج على نطاق محدود قبل التعميم.

بنية النظام التجريبي :يتكون النظام من خمس وحدات متسلسلة تُحاكي دورة حياة البيانات في النموذج الهجين، تسندها وحدة مساعدة للمحاكاة (hybrid_simulation.py) تُطبّق على السجلات نسب حلّ العيوب الافتراضية لكل نموذج:

1. **مولّد البيانات (Dataset Generator)** : يُنتج 5000 سجل مدرسي مُحاكى يحتوي على مشكلات واقعية موثّقة في الأدبيات [2]، [8]، [15]، تشمل: القيم المفقودة، والمعرفات المكررة، والأعمار غير المنطقية، والتواريخ المتناقضة، وأخطاء الإدخال، والسجلات المتأخرة، والسجلات الناقصة، والحضور المتطرف؛ ويحتفظ المولّد بالسجل المرجعي النظيف وبتسميات الشذوذ المحقون لأغراض التقييم. وتُصنَّف هذه المشكلات وفق أبعاد جودة البيانات الخمسة لمعهد اليونسكو للإحصاء[2].
2. **محرك جودة البيانات :(Data Quality Engine)** يُقيّم السجلات وفق خمسة أبعاد (الاكتمال، والدقة، والتوقيت، والإتاحة، والملاءمة) باستخدام مؤشرات قابلة للقياس، ويُنتج درجة لكل بُعد على مستوى السجل (نسبة السجلات التي تجتاز اختبار البُعد) ودرجة إجمالية هي متوسط الأبعاد الخمسة. ويستند تصميم هذا المحرك إلى إطار أبعاد جودة المعلومات في Batini & Scannapieco [45]، وإلى مؤشراتUIS . [2]
3. **وحدة اكتشاف الشذوذ :(Anomaly Detection Module)** تستخدم خوارزمية Isolation Forest [41]لرصد القيم الشاذة في السجلات (كالأعمار غير المنطقية والدرجات المتطرفة والتواريخ المتناقضة)، وتُصنّفها بحسب درجة الشذوذ(Anomaly (Score . ويُعتمد هذا النهج لأنه لا يفترض توزيعاً معروفاً للبيانات، وهو مناسب لبيانات السجلات المدرسية غير المتجانسة. ويُعدّ معامل 0.08 =) contamination) معامل ضبط لا نتيجة، وتُقيَّم نتائج الكشف بالدقة والاستدعاء مقابل الشذوذ المحقون.
4. **خوارزمية قرار الانتقال :(Transition Decision Algorithm)** تُنتج مؤشراً كمياً للجاهزية الرقمية(Digital Readiness Score — DRS) يُدمج فيه أداء المؤسسة على أبعاد جودة البيانات الخمسة، وتُقارن قيمته بعتبات DRS المقترحة استنباطياً، مقرونة بحدود دنيا لأبعاد الجودة عند دخول المرحلتين 3 و5 (الجدول 6)؛ أما أوزان الأبعاد فافتراضية مقترحة تُختبر

حساسيتها (±5%). وتُعيد الخوارزمية أحد ثلاثة قرارات: الاستمرار في المرحلة الحالية، أو الانتقال إلى المرحلة التالية، أو التوقف وإعادة التقييم.

5. **لوحة القيادة :(Decision Dashboard)** تُنتج تقارير بصرية دورية تعرض مؤشرات جودة البيانات والقرارات المُقترحة، وتُحاكي الطبقة الرابعة في النموذج الهجين (التحليل واتخاذ القرار)، وتُنفَّذ في الملف dashboard.py.

الأدوات المستخدمة: نُفِّذ النظام بلغة Python ، مع الاعتماد على مكتبة Pandas لمعالجة البيانات [42]، ومكتبة Scikit-learn لتنفيذ Isolation Forest ومقاييس التقييم [43]، ومكتبة Matplotlib/Seaborn لإنتاج الرسوم البيانية. ويُتيح هذا الاختيار إمكانية إعادة تشغيل النظام في أي بيئة أكاديمية دون تكاليف ترخيص.

مقاييس التقييم الكمية: قيست سبعة مؤشرات قبل التنفيذ (النموذج الورقي الخالص) وبعده (النموذج الهجين المُنفَّذ): (1) زمن إدخال البيانات (بالثواني لكل سجل)، (2) نسبة الأخطاء (٪ من السجلات التي تحتوي خطأ واحداً على الأقل)، (3) نسبة البيانات المفقودة (٪ من الحقول الفارغة)، (4) نسبة التكرار (٪ من المعرفات المكررة)، (5) زمن إنتاج التقرير (بالدقائق)، (6) تكلفة التصحيح (بوحدات زمنية عمل)، (7) جودة البيانات الإجمالية (درجة مركّبة من 0 إلى 100). ويُحسب المؤشران (1) و(5) من معاملات نمذجة افتراضية (45 و28 و20 ثانية للسجل، و180 و95 و30 دقيقة للتقرير للنماذج الثلاثة على التوالي) لا من قياس مباشر، بينما تُحسب بقية المؤشرات من الكود. كما قيس مؤشر الجاهزية الرقمية (DRS) كمخرج لخوارزمية الانتقال، وقُورنت قيمته بالعتبات والحدود الدنيا المقترحة لاختبار سلوك الخوارزمية في اتخاذ قرارات الانتقال.

الإفصاح المنهجي :يُصرّح صراحةً بأن Dataset المستخدم مُحاكى (Synthetic) وليس بيانات ميدانية حقيقية، وذلك لأسباب تتعلق بحماية خصوصية بيانات الطلاب من جهة [27]، وبعدم توافر بيانات ميدانية مفتوحة من السياقات الأربع المدروسة من جهة أخرى. وقد صُمِّم المُحاكي وفق أنماط الأخطاء الموثّقة في تقارير اليونسكو والبنك الدولي واليونيسف [2]، [8]، [15]، [16]، بحيث تعكس الأرقام الناتجة أنماطاً واقعية لا قِيَماً اعتباطية. ويبقى التحقق الميداني شرطاً للتعميم، كما هو مُوضَّح في القسم 12.4.

حدود التنفيذ الحاسوبي :لا يُغني التنفيذ الحاسوبي عن الاختبار الميداني، إذ إن Dataset المُحاكى لا يلتقط التعقيدات المؤسسية والبشرية الكاملة للبيئات الورقية الحقيقية (كمقاومة التغيير، والضغوط السياسية، وتفاوت المهارات الرقمية). لكنه يُقدّم إثبات جدوى كمياً أولياً على أن منطق النموذج قابل للتنفيذ وأن آثاره

المتوقعة على جودة البيانات قابلة للقياس. ويُتيح الكود المصدري المُرفق كملحق إلكتروني (الملحق A) إعادة تشغيل المنظومة والتحقق المستقل من النتائج.

إتاحة الكود المصدري :يتضمن الكود المصدري عدة ملفات بلغةPython :(1) مولّد البيانات المُحاكى dataset_generator.py، (2) محرك جودة البيانات dq_engine.py، (3) وحدة اكتشاف الشذوذ anomaly_detector.py، (4) خوارزمية قرار الانتقال transition_algorithm.py، (5) وحدة المحاكاة hybrid_simulation.py، (6)ملف التشغيل run_all.py، (7)لوحة القيادة dashboard.py (في الملحق الإلكتروني).

4. تحليل دراسات الحالة

يعرض هذا القسم أربع حالات دولية التُقطت منها أنماط فنية وإدارية متكررة لبناء النموذج المقترح، دون أن تمثل هذه الحالات توصية جغرافية بعينها، ومع الأخذ بعين الاعتبار تحيزها نحو سياقات النزاع كما أُشير سابقاً.

4.1 فلسطين[21]

تُعد فلسطين حالة فريدة من حيث تعدد مقدمي الخدمات التعليمية، إذ تتداخل مسؤوليات التعليم بين السلطة الوطنية والأونروا والمؤسسات الخاصة، مما يُنتج بيئة معلوماتية مجزأة تفتقر إلى التنسيق المركزي الكامل. يعتمد نظام "التعداد المدرسي" على استبيانات ورقية سنوية تتضمن بيانات الطلاب والمعلمين والفصول، مع منح المدارس خيار الإدخال عبر ملف Excel كبديل، تُجمع عبر المديريات وتُدمج وتُنظف في قاعدة Microsoft Access، وتُصدر سنوياً في كتاب إحصائي يُستخدم للتخطيط المركزي. يتم التكامل عبر سلسلة إدارية (مدرسة ← مديرية ← مركز) دون ربط آلي مباشر، وتوجد نظم محوسبة معزولة خاصة بمناطق بعينها تحتاج طبقة تكامل لتجنب "جزر البيانات"، ولا يوجد ربط أفقي مع أنظمة الحضور أو الامتحانات. ويُقلل إبقاء الورق قناة رئيسية من مقاومة التغيير لكنه ينقل عبء العمل إلى المديريات.

أبرز الدروس :المرونة عبر Excel لا تحل مشكلة الثقل الكتابي الناتج عن تعدد النماذج، وغياب وصول المدارس لبياناتها المرتدة يُضعف حافز تحسين الجودة، مما يؤكد الحاجة إلى حد أدنى من التغذية الراجعة كلوحات مؤشرات مبسطة.

4.2 الصومال[22]

يعاني النظام التعليمي الصومالي من تحديات استثنائية نتيجة عقود من الصراع والنزوح الداخلي، أدت إلى تشتت البيانات وضعف القدرة على جمعها. طورت وزارة التعليم بالتعاون مع البنك الدولي واليونيسف نظاماً

هجيناً يعتمد على فرق ميدانية مدربة تجمع البيانات عبر استبيانات ورقية مرمّزة، مع خيار الإرسال عبر SMSفي مناطق التغطية، ثم تُنقل الاستبيانات إلى مراكز إقليمية للإدخال الرقمي قبل إرسالها إلى مقديشو للتنقية والتحليل. وبسبب عدم الاستقرار الأمني قد تتعطل عمليات الجمع لشهور، وتُعد تكلفة الدورة الواحدة للتعداد من الأعلى نسبياً في المنطقة [15] بسبب الحاجة إلى فرق ميدانية كبيرة وتكاليف نقل وأمن. في المناطق المستقرة جُرِّبت أجهزة لوحية محمولة كمرحلة انتقالية لكن توزيعها كان محدوداً.

أبرز الدروس :التأخر يُفقد البيانات قيمتها التشغيلية في دعم قرارات مثل توزيع المعلمين، ويستلزم التنوع السياقي خيارات متعددة لجمع البيانات (ورق، وSMS، وأجهزة محمولة)، وتُعد التكاليف التشغيلية عاملاً حاسماً في التخطيط للتوسع.

4.3 تشاد[23]

تعاني تشاد من ضعف البنية التحتية التعليمية نتيجة تداعيات الصراعات والنزوح المتكرر، ما يجعل جمع البيانات عملية شاقة. يعتمد النموذج الأساسي على استبيان ورقي موحد يوزَّع عبر المفتشين التربويين، مع دعم رقمي محدود عبر أقراص أو وحدات USB في الولايات المستقرة نسبياً لتجنب مشكلات الاتصال، ثم تُنقل البيانات إلى المركز الوطني للإحصاء للمعالجة السنوية. التحديات الرئيسية: ضعف الاتصال بين المديريات يُطيل دورة الإنتاج المعلوماتي، وتتعدد مصادر الأخطاء من تعبئة الاستبيان إلى النقل المادي إلى الإدخال الرقمي، ولا توجد آلية تدقيق ميدانية مستقلة.

أبرز الدروس :يُعد النقل المادي للاستبيانات نقطة ضعف رئيسية يجب تقليل الاعتماد عليها، ويلزم التدريب المستمر للمفتشين على معايير الجودة، ويبقى التدقيق العيني على عينة محدودة أداة لا غنى عنها.

4.4 جامايكا[24]

بخلاف الحالات السابقة، يعمل النظام التعليمي الجامايكي في سياق مستقر نسبياً لكنه يعاني تقادم النظم الورقية وضعف التكامل. توجد أنظمة منفصلة لإدارة الطلاب والموارد البشرية والمالية والامتحانات تعمل كل منها بمعزل عن الأخرى، وتُجمع البيانات عبر نماذج ورقية من المدارس ثم تُدخل في أنظمة مختلفة على مستوى المديريات، وتم تطوير قاعدة بيانات مركزية لتجميع البيانات لكن الربط بينها يبقى ضعيفاً بسبب غياب معايير موحدة. التحديات الرئيسية: "جزر البيانات" المتفرقة تعيق الرؤية الشاملة، وغياب معرفات موحدة للطلاب والمعلمين والمدارس يُسبب تكراراً وأخطاء ربط، ويُستخدم قدر محدود من البيانات في التحليلات مقارنة بالتقارير السنوية الروتينية، ويفتقر النظام إلى كوادر متخصصة في تحليل البيانات.

أبرز الدروس :التوحيد شرط أساسي لأي تكامل بين الأنظمة، ويُفضَّل بناء طبقة تكامل تربط الأنظمة القائمة بدل استبدالها، والاستثمار في الكوادر البشرية لا يقل أهمية عن الاستثمار التقني.

يوضح الجدول (2) مقارنة الحالات الأربع وفق سبعة أبعاد رئيسية.

الجدول (2): التحليل المقارن لدراسات الحالة الأربع

البعد	فلسطين	الصومال	تشاد	جامايكا
السياق	صراع/ تعدد جهات	صراع/ نزوح	صراع/ نزوح	مستقر/ تقادم نظمي
المعمارية	اختياري Excel + ورق	SMS + ورق اختياري	USB + ورق	أنظمة منفصلة + ورق
التكامل	غير مباشر (سلسلة إدارية)	غير مباشر (مركزي)	غير مباشر (مركزي)	ضعيف / جزر بيانات
جودة البيانات	متوسطة / فجوات	متباينة / ضعيفة	متوسطة / أخطاء نقل	ضعيفة / عدم توحيد
التغذية الراجعة	غائبة تقريباً	غائبة	غائبة	محدودة
عبء العمل	مرتفع (مديريات)	مرتفع (فرق ميدانية)	مرتفع (مفتشون)	مرتفع (إدخال متعدد)
التكلفة	مرتفعة تشغيلياً	مرتفعة جداً	مرتفعة	مرتفعة (تكامل)

تتشابه الحالات الأربع في مركزية معالجة البيانات وتأخر إنتاج المعلومات، وضعف التكامل الأفقي بين الأنظمة الفرعية، وغياب فعلي للتغذية الراجعة نحو المدرسة، والاعتماد على إدخال يدوي متكرر يرفع الأخطاء وعبء العمل، مما يؤكد أن المشكلة تكمن في دورة حياة البيانات كاملة لا في الجمع فقط. ومع ذلك، ونظراً لكون ثلاث من الحالات الأربع تنتمي لسياقات نزاع، فإن هذا التشابه قد يعكس جزئياً خصوصية سياق الأزمات أكثر مما يعكس نمطاً عاماً للبيئات الورقية المستقرة، هذا التحفظ يُؤخذ بعين الاعتبار عند صياغة الدروس أدناه.

الدروس المستخلصة لبناء النموذج :النماذج الهجينة ضرورة مرحلية لا حالة دائمة، وتصميم النماذج الورقية(وضوح الحقول، والترميز وفق [13] ISO15489) يؤثر مباشرة في جودة البيانات الرقمية، وغياب التغذية الراجعة يُضعف النظام بأكمله ويحوّل البيانات إلى "التزام إداري" لا "أداة تحسين"، والمعرفات الموحدة شرط أساسي لتقليل التكرار وتمكين التحليلات [2]، ويلزم التوازن بين جودة البيانات وعبء العمل عبر مبدأ "الإدخال مرة واحدة"، والتكامل التدريجي عبر "طبقة تكامل" أفضل من القفزة المفاجئة [16]، وتحدد الكفاءة التشغيلية مصير استمرارية النموذج الهجين اقتصادياً. هذه الدروس استقرائية (inductive) مستمدة من أربع حالات فقط، وتبقى فرضيات عمل توجّه تصميم النموذج التالي أكثر من كونها استنتاجات قابلة للتعميم إحصائياً. وقد استُخلصت من هذه الحالات الدروس التي بُني عليها النموذج المقترح (القسم 5)، ثم تُرجمت إلى منظومة تجريبية قابلة للتنفيذ حاسوبياً (القسم 3.9) لقياس أثرها كمياً (القسم 7.5).

5. النموذج الهجين المقترح: إطار مفاهيمي وتنفيذ حاسوبي

5.1 فلسفة النموذج

يقوم النموذج على ثلاث ركائز: البيانات هي الأصل بصرف النظر عن الوسيط الحامل لها، فيُركز النموذج على تحسين جودتها من منبعها الورقي قبل الرقمنة [2]، والتحول تدريجي لا قطعي يحوّل الازدواجية غير المنظمة إلى ازدواجية منضبطة [9]، والنجاح مرهون بجودة البيانات والحوكمة عبر بوابات انتقال تستند إلى معايير مقترحة لا معايير مُثبتة بعد [6]. ويهدف النموذج إلى تجنب "فشل القفزة الرقمية" الناتج عن فرض أنظمة متكاملة على بيئات غير مهيأة، مع التأكيد أن كل عنصر كمي فيما يلي مرشّح للمراجعة عبر خطة التحقق (القسم 3.8)، وقد طُبِّق في إثبات جدوى حاسوبي أولي (القسم 3.9).

5.2 المكونات الهيكلية (طبقات أربع)

الطبقة الأولى — المدخلات الفيزيائية :تشمل دفاتر الحضور وسجلات الدرجات وملفات الطلاب واستبيانات التعداد. تُعاد صياغتها وفق مبادئ[13] ISO 15489 ، بترميز موحد/QR) باركود (يربطها بالقاعدة الرقمية، وتوحيد للحقول متوافق مع معايير مثل Ed−Fi و[12] OneRoster، مع تبسيطها لتقليل عبء العمل.

الطبقة الثانية — التكامل الرقمي" :منطقة عازلة" تحوّل البيانات الورقية إلى رقمية قابلة للتبادل دون إلغاء الوثيقة الورقية كمصدر رسمي، عبر واجهة إدخال مبسطة، ومعايير تبادل[12] (Ed−Fi/OneRoster) ،

وقاعدة بيانات مؤقتة، وآليات تحقق آلية تمنع تناقض القيم (مثل تسلسل التواريخ ومنع تكرار المعرفات). يركز النموذج على رقمنة البيانات لا كل الوثائق، ويبدأ التكامل بعدد محدود من العمليات ثم يتوسع تدريجياً.

الطبقة الثالثة — الحوكمة والتدقيق :تضم سياسات جودة البيانات عبر مؤشري نضج واستخدام البيانات [2]، وآليات تدقيق عيني دوري وتدقيق آلي مستمر [8]، وإدارة معرفات فريدة موحدة تصدر مركزياً، وآليات تغذية راجعة (لوحات مؤشرات مبسطة، وتقارير دورية موجزة، وقنوات اتصال مباشرة مع المدارس). وتُوظَّف فيها خوارزمية Isolation Forest [41] لاكتشاف الشذوذ في السجلات.

الطبقة الرابعة — التحليل واتخاذ القرار :تشمل لوحات مؤشرات تفاعلية، وتقارير دورية آلية، وأنظمة إنذار مبكر للتسرب، ومنصة بيانات مفتوحة مع مراعاة الخصوصية. تربط التقارير مباشرة بقرارات تشغيلية تحقيقاً للانتقال من "نظام تقرير" إلى "رافعة قرار" [16]، مع تدرج في التعقيد وتغذية راجعة مزدوجة الاتجاه.

وقد جُسّدت هذه الطبقات الأربع في منظومة تجريبية بلغة Python (القسم 3.9)، تُتيح اختبار منطق النموذج وقياس أثره على جودة البيانات قبل التطبيق الميداني.

5.2.1 توضيح المفاهيم التقنية الأساسية

معايير التبادل المفتوحة Ed-Fi و OneRoster: هي مواصفات فنية معتمدة دولياً تحدّد أسماء الحقول وأنواع البيانات وطريقة ترميزها، بحيث يمكن لأي نظامين مختلفين (كنظام حضور ونظام درجات) أن يتبادلا البيانات آلياً دون تدخل بشري. فعلى سبيل المثال، يضمن معيار OneRoster أن حقل (رقم الطالب) يُسمّى ويُرمَّز بالطريقة نفسها في كل الأنظمة، فلا يحتاج الموظف إلى إدخال الاسم مرتين بصيغتين مختلفتين. أما Ed-Fi فيوسّع هذا المنطق ليشمل بيانات المعلمين والمدارس والنتائج، ويعمل بمثابة (لغة مشتركة) بين الأنظمة. واعتماد هذين المعيارين في الطبقة الأولى (تصميم النماذج الورقية) والطبقة الثانية (الإدخال الرقمي) هو ما يمنع ظهور "جزر البيانات" التي رصدتها حالات جامايكا وفلسطين.

طبقة التكامل (Integration Layer) كمنطقة عازلة :المقصود بها برمجياً طبقة وسيطة تقع بين الوثيقة الورقية والنظام الرقمي المركزي، ولا تُلغي أيّاً منهما. تعمل هذه الطبقة عبر ثلاث وظائف: (1) واجهة إدخال مبسطة تُتيح للموظف إدخال البيانات الورقية في نموذج رقمي محدود الحقول؛ (2) آليات تحقق آلية فورية تمنع تناقض القيم (كتاريخ ميلاد لاحق لتاريخ التسجيل، أو تكرار معرف طالب) وتُنبّه الموظف قبل الحفظ؛ (3) قاعدة بيانات مؤقتة (Staging Database) تُخزّن البيانات المدخلة قبل ترحيلها إلى النظام المركزي، بحيث يمكن مراجعتها وتصحيحها دون المساس بالسجل الرسمي. وتُوصف هذه الطبقة بـ "العازلة" لأنها تحمي النظام المركزي من الأخطاء البشرية ومن البيانات غير المكتملة، وتتيح في الوقت ذاته الرجوع

إلى الورق كمصدر قانوني عند أي تعارض– وهو ما يحوّل "الازدواجية غير المنظمة" إلى "ازدواجية منضبطة."

5.3 آلية عمل النموذج

تعمل الطبقات في دورة متكاملة: إنتاج سجلات ورقية موحدة (الطبقة الأولى) ← نقلها رقمياً مع تحقق فوري (طبقة التكامل) ← تنقيتها وربط معرفاتها (طبقة الحوكمة) ← تحليلها وإصدار تغذية راجعة للمدارس (طبقة التحليل) ← استخدام هذه التغذية لتحسين النماذج والتدريب ومعايير الجودة. تتكرر هذه الدورة دورياً مع تحسن تدريجي يهيئ المؤسسة للانتقال بين المراحل.

5.4 إدارة المخاطر

يلخص الجدول (3) أبرز المخاطر التي قد تُهدد نجاح النموذج الهجين وآليات التخفيف المقابلة لها.

الجدول (3): المخاطر الرئيسية في النموذج الهجين وآليات التخفيف

الخطر	الوصف	آلية التخفيف
تضارب البيانات بين الورق والنظام	اختلاف المعلومات المسجلة ورقياً عن المدخلة رقمياً	تحقق آلي مستمر (مطابقة مع النسخة الممسوحة ضوئياً) وتنبيهات قبل الاعتماد
فقدان البيانات أثناء النقل	فقدان الاستبيانات الورقية أو تلف الملفات الرقمية	نسخ احتياطي منتظم ولحظي، ونسخ احتياطية ورقية، وقنوات نقل آمنة
الاعتماد المفرط على الإدخال اليدوي	زيادة الأخطاء البشرية وتراجع الكفاءة نتيجة كثافة الإدخال	توزيع حمل الإدخال على مستويات متعددة، ومبدأ "الإدخال مرة واحدة"، وأدوات مسح ضوئي ذكية

الخطر	الوصف	آلية التخفيف
مقاومة التغيير	تخوف الموظفين من النظام الجديد أو زيادة أعبائهم	إشراك المستخدمين في التصميم، وتدريب مستمر، وإظهار الفوائد مبكراً
ضعف جودة البيانات الورقية	عدم اكتمال الحقول أو أخطاء كتابية أو تلف السجلات	إعادة تصميم النماذج وفق معايير واضحة، وتدريب القائمين على التعبئة، وتدقيق عيني قبل الإدخال
عدم التوافق التقني	عجز الأنظمة عن تبادل البيانات لاختلاف المعايير	اعتماد معايير مفتوحة(Ed-Fi ، و OneRoster) وبناء طبقة تكامل
تكاليف تشغيلية مرتفعة	استمرار النموذج الهجين طويلاً دون تحسين كفاءة العمليات	مؤشرات دورية لقياس الكفاءة، وسقف زمني لمرحلة الهجين قبل الانتقال

5.5 دور الذكاء الاصطناعي

نُفِّذت خوارزمية Isolation Forest [41] لاكتشاف الشذوذ في السجلات المدرسية، وعلّمت المنظومة 400 سجل (8.00%) من أصل 5000 سجل بحسب معامل الضبط contamination = 0.08 (وهو سقف مضبوط مسبقاً لا نتيجة). وبمقارنتها بالشذوذ المحقون في المولّد (434 سجلاً: أعمار غير منطقية 150، ودرجات خارج النطاق 75، وتواريخ قيد متناقضة 125، وحضور متطرف 100، مع تداخل بين بعضها) بلغت الدقة 0.89 والاستدعاء 0.82 و0.85 = F1. ويستند الأساس النظري لهذه الخوارزمية إلى عمل Liu وزملائه [41]، وقد أُختيرت لأنها لا تفترض توزيعاً معروفاً للبيانات، وهو ما يناسب السجلات المدرسية غير المتجانسة.

5.6 موقع النموذج بين الأطر القائمة (الإسهام الفريد)

لتوضيح الإضافة العلمية للنموذج المقترح مقارنة بالأطر الدولية القائمة، يُقدم الجدول (4) مقارنة منهجية عبر ستة أبعاد.

الجدول (4): مقارنة النموذج المقترح بالأطر الدولية القائمة

البُعد	SABER-EMIS [6]	EMIS 2.0 [16]	OpenEMIS [14]	النموذج الهجين المقترح
طبيعة الإطار	أداة تقييم وتشخيص شامل	رؤية استراتيجية عامة	حل برمجي مفتوح المصدر	نموذج تشغيلي مرحلي قابل للتنفيذ
معالجة الازدواجية الورقية–الرقمية	غير مباشرة	إشارة عامة دون تفصيل إجرائي	لا تتناولها	محور مركزي بمراحل وبوابات محددة
معايير الانتقال بين المراحل	غير محددة كمياً	غير محددة	غير منطبق	عتبات مقترحة استنباطياً، مرتبطة بأبعاد جودة البيانات الخمسة، ومُختبرة أولياً حاسوبياً
الإطار الزمني التنفيذي	غير محدد	غير محدد	غير منطبق	مرجعي (12–24 شهراً) مع مرونة سياقية
آلية التحقق قبل التطبيق	غير منصوص عليها	غير منصوص عليها	غير منطبق	خطة دلفي صريحة (القسم 3.8) قبل أي اعتماد ميداني
التنفيذ الحاسوبي	غير منطبق	غير منطبق	حل برمجي كامل (لكن غير مرتبط بنموذج انتقالي)	منظومة تجريبية مُنفَّذة بلغة Pythonقابلة لإعادة التشغيل

يتضح من المقارنة أن الأطر القائمة تقدم تشخيصاً شاملاً (SABER-EMIS) أو رؤية استراتيجية عامة (EMIS 2.0)أو حلاً تقنياً جاهزاً(OpenEMIS) ، لكنها لا تقدم مساراً إجرائياً مرحلياً يُترجم هذه الرؤى

إلى خطوات تنفيذية بمعايير انتقال، ولا تُتيح اختباراً حاسوبياً قابلاً لإعادة التشغيل. وهذا يمثل الإسهام الفريد لهذا النموذج: تجسير الفجوة بين "ماذا ينبغي أن يتحقق" (الأطر القائمة) و"كيف يُنفَّذ تدريجياً دون تعطيل" (النموذج المقترح)، مع تقديم منظومة تجريبية للتحقق الكمي — على أن يبقى هذا الإسهام في طور المقترح المفاهيمي إلى حين تحققه خبروياً وتجريبياً.

6. مراحل التنفيذ ومعايير الانتقال المقترحة

ملحوظة منهجية :كما ذكرنا سابقاً فإن جميع المدد والعتبات الرقمية الواردة في هذا القسم (الجداول 5، 6، 7) هي قيم مرجعية مقترحة استنباطياً من الأدبيات ومن الدروس الاستقرائية للحالات الأربع، وليست معايير مُختبرة إحصائياً. وقد طُبِّقت في إثبات جدوى حاسوبي أولي (القسم 7.5).

يستند الجدول الزمني المرجعي (12–24 شهراً) إلى الدروس المستفادة من دراسات الحالة التي أظهرت أن الفترات القصيرة جداً تُفشل التنفيذ بينما الطويلة جداً تُفقد الزخم [16]. ويُقسم التنفيذ إلى خمس مراحل رئيسية يوضحها الجدول(5) .

الجدول (5): مراحل التنفيذ المرجعية للنموذج الهجين

#	المرحلة	المدة المرجعية	الهدف العملي	أبرز مؤشرات الأداء
1	التهيئة والحوكمة	4–8أسابيع	تثبيت تعريف "الورق مرجع" وبناء لجنة حوكمة وقاموس بيانات وسياسة إدارة سجلات وفق ISO 15489	اكتمال جرد السجلات 100%
2	رقمنة الملفات الرئيسية	2–3أشهر	إنشاء معرفات فريدة وترميز إداري وقواعد تحقق أساسية	تكرار معرفات ≤1% (مقترح)، اكتمال سجلات الملفات الرئيسية

#	المرحلة	المدة المرجعية	الهدف العملي	أبرز مؤشرات الأداء
				المرقمنة ≥98% (مقترح)
3	إدخال مزدوج محدود للمعاملات	4–3أشهر	إدخال رقمي موازٍ للحضور والنتائج الدورية مع تدقيق عيني	اكتمال ≥90%، دقة ≥95% (على كامل السجلات المُدخلة)
4	التكامل والتحليلات الأولية	6–3أشهر	إنتاج لوحات متابعة وتقارير تحليلية للمدرسة والمديرية	خفض زمن إصدار التقرير الرئيسي ≤30% (مقترح)
5	التوسع والتحول الانتقائي	12–6شهراً	توسيع الرقمنة للعمليات الأكثر نضجاً	اكتمال ودقة ≥98% (مقترح)، توقيت ≥95% (مقترح)

أبرز مخاطر المرحلة الأولى تضخم المتطلبات، فيُقترح الالتزام بحد أدنى من المؤشرات "ذات القرار"، وفي المرحلة الثانية يُقترح اشتراط تدريب ≤80% من الكوادر قبل الانتقال (قيمة مقترحة تخضع أيضاً للتحقق). تُحدَّد بوابات انتقال بين كل مرحلتين متتاليتين استناداً إلى أبعاد جودة البيانات الخمسة التي وضعها معهد اليونسكو للإحصاء [2]، ويوضح الجدول (6) طريقة قياسها والقيم المرجعية المقترحة للانتقال، مع القيم المحققة في التنفيذ الحاسوبي.

الجدول (6): أبعاد جودة البيانات ومؤشرات قياسها كمعايير انتقال

البعد	طريقة القياس في النموذج	القيمة المرجعية للانتقال	القيمة المحققة في التنفيذ الحاسوبي (النموذج الهجين)
الاكتمال (Completeness)	نسبة السجلات الخالية من أي حقل فارغ	≥90%(مرحلة 3) / ≥98% (مرحلة 5) — مقترح	93.5% (يستوفي حد المرحلة 3)
الدقة(Accuracy)	تدقيق عيني ومقارنة القيم الرقمية بالورقية؛ ويُستعاض عنه في المحاكاة بقواعد صلاحية آلية	≥95%(مرحلة 3) / ≥98% (مرحلة 5) — مقترح	97.4% (يستوفي حد المرحلة 3)

البعد	طريقة القياس في النموذج	القيمة المرجعية للانتقال	القيمة المحققة في التنفيذ الحاسوبي (النموذج الهجين)
التوقيت (Timeliness)	نسبة السجلات المدخلة خلال المدة المحددة (موعد المحاكاة: 15 فبراير 2024)	≥95% / ≥85%(مرحلة 3) (مرحلة 5) — مقترح	90.5% (يستوفي حد المرحلة 3)
الإتاحة (Availability)	متوسط زمن استرجاع تقرير معين؛ ويُستعاض عنه في المحاكاة بنسبة السجلات ذات المعرّف الفريد والحقول التعريفية الكاملة	أقل من 30% من مدة المرحلة السابقة — مقترح	99.1% (مؤشر بديل في المحاكاة)
الملاءمة (Relevance)	عدد القرارات التشغيلية المدعومة بالتقارير؛ ويُستعاض عنه في المحاكاة بنسبة السجلات الداعمة لمؤشر قراري	وجود أدلة استخدام فعلي (مرحلة 5) — مقترح	96.5% (مؤشر بديل في المحاكاة)

يبقى الجدول الزمني المقترح (12–24 شهراً) مرجعاً مرناً لا جدولاً جامداً، إذ تختلف المدة الفعلية بحسب عوامل سياقية يلخصها الجدول.(7)

الجدول (7): العوامل المؤثرة في مرونة الجدول الزمني وإجراءات التكيف

إجراءات التكيف المقترحة	تأثيره على المدة الزمنية	العامل المؤثر
تقسيم التنفيذ إلى وحدات أصغر (مديريات/مناطق) مع تنفيذ موازٍ	المؤسسات الكبيرة (وزارات، مديريات متعددة) تحتاج وقتاً أطول	حجم المؤسسة
التركيز على الحلول غير المتصلة (Offline) في المراحل الأولى، والتوسع تدريجياً في المناطق الأكثر استعداداً	ضعف الاتصال أو التيار الكهربائي يُطيل المدة	البنية التحتية
برامج تدريبية مكثفة بمواد مبسطة والاستفادة من مدربين محليين	نقص المهارات يُطيل مدة التدريب	المهارات الرقمية
اعتماد حلول مفتوحة المصدر (Open Source) والاستفادة من دعم المنظمات الدولية	محدودية الموارد قد تؤخر اقتناء الأجهزة والبرمجيات	الموارد المالية
استخدام قنوات بديلة) مثل (SMS في المناطق غير المستقرة واعتماد فترات جمع مرنة	عدم الاستقرار يُعطل الجمع الميداني	السياق الأمني

ويمكن للمؤسسات التي ترغب في تطبيق النموذج أن تبدأ بمرحلة تجريبية (Pilot Study) على عينة محدودة من المدارس، كما سيُعرض في القسم التالي، لتقييم الجدوى وتحديد المدة المناسبة لسياقها قبل التوسع، وبعد إتمام خطوة التحقق الخبروي الموصوفة في القسم 3.8.

7. التطبيق التجريبي ومقاييس التقييم

7.1 التصميم شبه التجريبي المقترح للاختبار الميداني

يُقترح تصميم دراسة شبه تجريبية [29] لاختبار جدوى النموذج قبل التوسع — على أن تُجرى بعد مرحلة التحقق الخبروي (القسم 3.8) لا قبلها — على عينة من 10–20 مدرسة متنوعة من حيث الحجم والموقع الجغرافي ومستوى الاتصال ونوع التعليم، مقسمة إلى مجموعة تجريبية تطبق الإدخال المزدوج المحدود ومجموعة ضابطة تستمر بتحسينات إجرائية فقط، لمدة فصلين دراسيين (6–8 أشهر). يشمل التدخل توحيد النماذج الورقية، واعتماد معرفات فريدة، وإدخال رقمي لعمليتين رئيسيتين (الحضور والنتائج مثلاً)، وتحققاً آلياً، وتدقيقاً عينياً أسبوعياً (5–10% من السجلات)، وتغذية راجعة شهرية.

7.2 مقاييس التقييم

تُصنَّف مقاييس التقييم في أربع فئات رئيسية يوضحها الجدول(8)

الجدول (8): فئات مقاييس تقييم الدراسة التجريبية

الفئة	أبرز المقاييس	القيمة المستهدفة
جودة البيانات	اكتمال السجلات، ودقة الإدخال، وعدد القيم الشاذة، ومعدل تكرار المعرفات	اكتمال ≥90%، ودقة ≥95%، وشذوذ 5/100>سجل، وتكرار ≥1%
الكفاءة التشغيلية	زمن إنتاج التقرير، وزمن إدخال الدفعة الأسبوعية، وساعات العمل الإضافية	خفض زمن التقرير ≥30%، والتزام بالمواعيد ≥85%
التبني والرضا	نسبة الالتزام بالإدخال، ورضا المستخدمين، والاستعداد للاستمرار	التزام ≥80%، ورضا ≥5/3.5، واستمرار ≥70%
أثر القرار	عدد القرارات المدعومة بالبيانات، ونسبة تحسن مؤشرات الأداء، ودقة الإنذار المبكر	3≥قرارات خلال التجربة، وإنذار مبكر ≥70%

وتُعد فئة "أثر القرار" الأكثر أهمية لأنها تعكس الانتقال من "نظام تقرير" إلى "رافعة قرار" [16]، وهي أيضاً الفئة التي تُختبر فيها فرضية النموذج الأساسية المستعارة من نموذج.[37] DeLone & McLean

7.3 إجراءات التحليل

يُحلَّل النتائج كمياً عبر مقارنة قبل/بعد، وفرق الفروق بين المجموعتين، واختبارات إحصائية T-test(أو Mann-Whitneyإذا قلّت العينة عن 30[30])، ونوعياً عبر تحليل الأسباب الجذرية للتحديات التنفيذية وتحليل نقاط الألم في استبيانات الرضا. وتُفضي النتائج إلى أحد قرارات ثلاثة: التوصية بالتوسع التدريجي، أو تعديل الإجراءات وإعادة التجربة، أو إيقاف التوسع وإعادة تقييم التصميم، مع توثيق النماذج والإجراءات وخطة التدريب المحسَّنة في جميع الحالات. القيم المستهدفة أعلاه هي بدورها قابلة للتعديل بعد جولة التحقق الخبراتي، ولا ينبغي التعامل معها كمعايير نجاح/فشل جامدة قبل ذلك.

7.4 قرارات ما بعد التجربة

تُفضي نتائج التحليل إلى أحد ثلاثة قرارات: (1) التوصية بالتوسع التدريجي إذا تحققت المؤشرات المستهدفة، (2) تعديل الإجراءات وإعادة التجربة إذا تحققت بعض المؤشرات دون الأخرى، (3) إيقاف التوسع وإعادة

تقييم التصميم إذا فشلت المؤشرات الجوهرية، مع توثيق النماذج والإجراءات وخطة التدريب المحسَّنة في جميع الحالات.

7.5 النتائج الكمية للتنفيذ الحاسوبي

إضافةً إلى التصميم شبه التجريبي المقترح للاختبار الميداني (7.1–7.4)، نُفِّذ اختبار حاسوبي أولي لمنطق النموذج عبر المنظومة التجريبية الموصوفة في القسم 3.9، على Dataset مُحاكى من 5000 سجل. وقد حُسبت سبعة مؤشرات للنموذج الورقي (aselineB) وللنموذج الهجين بعد تطبيق قواعد التحقق وحلّ العيوب بنسب افتراضية مصرَّح بها (الجدول 9)، مع حساب مؤشر الجاهزية الرقمية (DRS) للنماذج الثلاثة (الجدول 10).

الجدول (9): النتائج الكمية قبل/بعد التنفيذ الحاسوبي

المؤشر	النموذج الورقي (Baseline)	النموذج الهجين (بعد التنفيذ)	التحسن	مصدر القيمة
زمن إدخال البيانات (ث/سجل)	45	28	-37.8%	معامل افتراضي
نسبة الأخطاء(%)	12.84	2.56	-80.1%	محسوب
نسبة البيانات المفقودة(%)	2.93	0.86	-70.6%	محسوب
نسبة التكرار(%)	2.00	0.44	-78.0%	محسوب
زمن إنتاج التقرير (دقيقة)	180	95	-47.2%	معامل افتراضي
تكلفة التصحيح (وحدة عمل)	100	32.66	-67.3%	محسوب
جودة البيانات الإجمالية–0) (100	87.54	95.42	+9.0%	محسوب

الإفصاح المنهجي :الأرقام ناتجة عن تشغيل المنظومة على Dataset مُحاكى (5000 سجل) حُقنت فيه عيوب بنسب صُمّمت وفق الأنماط الموثّقة في المراجع [2]، [8]، [15]، [16]. زمنا الإدخال والتقرير معاملا نمذجة افتراضيان، وبقية المؤشرات محسوبة من الكود (الملحق A). لا يُدّعى أنها قياسات ميدانية ولا اختبار للفرضيات، بل إثبات جدوى لمنطق النموذج قابل لإعادة التشغيل.

الجدول (10): مؤشر الجاهزية الرقمية (DRS) وقرار الانتقال

القرار عند بوابة المرحلة 5 (4 → 5)	القرار عند بوابة المرحلة 3 (2 → 3)	DRS	النموذج
استمرار)البوابة غير مستوفاة(	استمرار (البوابة غير مستوفاة)	86.9	الورقي الخالص
استمرار) الاكتمال (98 > 93.5	انتقال إلى المرحلة 3	95.2	الهجين المُنفَّذ
استمرار)الاكتمال (98 > 97.3	انتقال إلى المرحلة 3	98.2	الرقمي الكامل

العتبات المستخدمة(2 →1) 50 = DRS :، و(3 →2) 65، و(4 →3) 75، و(5 →4) 85، مقرونة بحدود دنيا للاكتمال والدقة والتوقيت عند دخول المرحلتين 3و) 5الجدول (6؛ وهي جميعاً مقترحة استنباطياً وغير مُختبرة ميدانياً، ويُطبَّق قرارا 3→2و 5→4على النماذج الثلاثة بغرض المقارنة.

ويُظهر الجدول (9) تحسناً في جميع المؤشرات السبعة في المحاكاة، تراوح بين -37.8% في زمن الإدخال و-80.1% في نسبة الأخطاء، مع ارتفاع جودة البيانات الإجمالية من 87.54 إلى 95.42 (+9.0%)؛ وهي نتائج إثبات جدوى لا قياسات ميدانية. وتراوحت الجودة الإجمالية للهجين بين 94.73 و95.76 عند تغيير نسبة حلّ القيم المخالفة بين 0.6 و0.9، وتراوح DRS بين 94.97 و95.43 عند تغيير كل وزن بمقدار ±5%. ويُظهر الجدول (10) أن SDR وحده لا يميّز بين النماذج (86.9 للورقي مقابل 95.2 للهجين، ويتجاوز الورقي عتبات DRS الأربع جميعاً)، بينما تميّز الحدود الدنيا (الجدول 6) بينها: يخفق الورقي في بوابة المرحلة 3، ويستوفيها الهجين فيُوصى بالانتقال إلى المرحلة 3 دون أن يستوفي بوابة المرحلة 5 (الاكتمال 93.5% مقابل 98%)، ويخفق الرقمي الكامل فيها بفارق 0.7 نقطة في الاكتمال. كما علّمت وحدة اكتشاف الشذوذ 400 سجل (8.00%) بحسب contamination = 0.08، وبلغت الدقة 0.89 والاستدعاء 0.82 مقابل الشذوذ المحقون (434 سجلاً).

8. المناقشة

تتوافق نتائج تحليل الحالات الأربع مع أدبيات البنك الدولي واليونسكو حول التحديات البنيوية لنظم المعلومات التعليمية في السياقات النامية [2]، [6]، مع مراعاة أن هذا التوافق مستمد من عينة صغيرة يغلب عليها سياق النزاع كما نُوقش في القسم 3.2.

أولاً، التوافق مع إطار SABER–EMIS: تُظهر النتائج أن البيئة التمكينية (السياسات والتشريعات والحوكمة) هي العامل الأكثر تأثيراً في نجاح أو فشل النماذج الهجينة. ففي حالة فلسطين، أدى غياب سياسة واضحة لإدارة السجلات الرقمية إلى استمرار الاعتماد على الورق كمصدر قانوني وحيد، مما أبقى النظام في حالة "ازدواجية غير منظمة" [21]، وهو ما ينسجم مع تأكيد إطار البنك الدولي–SABER EMISعلى ضرورة بيئة تمكينية متكاملة تشمل التشريعات والموارد والحوكمة [6]. ويمكن تفسير هذا أيضاً عبر إطار TOE [35]: غياب البُعد البيئي (تشريع واضح) عطّل تبني الحل رغم توفر جاهزية تقنية نسبية.

ثانياً، التوافق مع توصيات EMIS 2.0: تؤكد النتائج أن جودة البيانات ليست نتيجةً للنظام بل شرطاً لنجاحه، وهو ما ينسجم مع جوهر دليل EMIS 2.0 الذي يُشدد على أن تحسين جودة البيانات يجب أن يسبق أي استثمار تقني كبير [16]. ففي حالة جامايكا، كان ضعف جودة البيانات نتيجة غياب المعايير الموحدة والمعرفات الفريدة، مما جعل أي محاولة ربط بين الأنظمة محفوفة بالفشل [24]، وهو ما يعزز توصية EMIS بربط البيانات بمعرفات فريدة كشرط حاسم لربط السجلات عبر الزمن. وهذا يتطابق مباشرة مع منطق DeLone & McLean [37]: جودة المعلومات هنا شرط سابق للاستخدام، لا نتيجة له — تماماً كما افترض النموذج المقترح في الطبقة الثالثة.

ثالثاً، التوافق مع أدبيات الحوكمة وإدارة التغيير: أدى غياب آليات التغذية الراجعة في الصومال إلى تراجع دافع المدارس لتحسين جودة بياناتها [22]، بما يتوافق مع نموذج الحوكمة متعدد المستويات الذي يُشدد على تناغم المستويات الاستراتيجي والتشغيلي والتقني [18]، فغياب قناة تغذية راجعة يعني عملياً غياب المستوى التشغيلي من هذا النموذج، وهو ما يفسر جزئياً استمرار المشكلة رغم وجود دعم استراتيجي (دولي) واضح في الحالة الصومالية.

رابعاً، التوافق مع منظور النظم الاجتماعية–التقنية ونظرية انتشار الابتكار: تُفسَّر النتائج عبر افتراض أن أي نظام معلوماتي يتكون من تفاعل بين مكونات تقنية وبشرية، وأن فشل مشاريع كثيرة لا يعود إلى قصور تقني بل إلى عدم توافق هذه المكونات [7]. ففي حالة تشاد، لم يكن التحدي الأكبر تقنياً (ضعف الاتصال) بل تنظيمياً وبشرياً (غياب التدريب المستمر وضعف الرقابة الميدانية)، مما أدى إلى استمرار أخطاء نقل البيانات رغم بنية تحتية مقبولة في بعض المناطق [23]. ويُقرأ هذا أيضاً عبر نظرية انتشار الابتكار [36]: غياب "القابلية للتجربة" على نطاق محدود (إذ طُبق النموذج على المستوى الوطني دفعة واحدة في تشاد) حرم النظام من فرصة التعلّم التدريجي التي يوفرها التصميم المرحلي المقترح هنا.

وفي حين ركزت أدبيات سابقة على الجوانب التقنية للرقمنة [5] أو على تحديات جودة البيانات بشكل منفصل [2]، تُسهم هذه الدراسة في إثراء الأدبيات المحدودة حول النماذج الهجينة بتقديم نموذج يجمع بين هذه الأبعاد في إطار متكامل مع معايير انتقال مرحلية مقترحة قائمة على مؤشرات قابلة للقياس، مع التأكيد المتكرر على أن قيمة هذه المساهمة نظرية–تصميمية وتطبيقية–حاسوبية في هذه المرحلة.

يمكن تفسير الفشل الجزئي للنماذج الهجينة في الحالات المدروسة بعوامل تنظيمية (غياب سلطة مرجعية عند تعارض البيانات)، وبشرية (نقص التدريب وضعف الحوافز)، وتقنية (غياب معايير موحدة)، وبيئية (عدم استقرار يُعطل الجمع). ويقترح النموذج المطروح هنا معالجة هذه العوامل مجتمعة عبر أربع طبقات متكاملة بدل التركيز على جانب واحد، وتحديد بوابات انتقال موضوعية (وإن كانت مقترحة أولياً) تمنع "الاندفاع الرقمي"، وتصميم تغذية راجعة مزدوجة الاتجاه، وتدرج في التعقيد، وتركيز على البيانات قبل الأدوات التقنية.

8.1 حدود الدراسة وتهديدات الصدق

حدود الدراسة :*منهجياً*، تعتمد على مصادر ثانوية دون تحقق ميداني وقد تتأثر بتحيز النشر نحو النتائج الإيجابية، *جغرافياً*، تقتصر العينة على أربع حالات تعاني ظروفاً استثنائية (ثلاث منها في سياق نزاع أو نزوح) لا تمثل كل السياقات الورقية عالمياً، وتحديداً لا تمثل جيداً البيئات الورقية المستقرة منخفضة الموارد التي تُعد الأكثر شيوعاً عالمياً، *زمنياً*، تشمل تقارير من 2015 حتى 2025 وقد لا تعكس بعض التقارير الأقدم التطورات التقنية الحديثة كالذكاء الاصطناعي، *اقتصادياً*، يعتمد التحليل الوارد في القسم 9 على تقديرات توضيحية عامة دون بيانات فعلية مفصلة، ويجب عدم استخدامه كأساس لقرارات ميزانية فعلية، *وأخلاقياً*، لم تتعمق الدراسة في الآثار الأخلاقية لجمع بيانات الطلاب الحساسة في سياقات النزوح، مما يستدعي بحثاً متخصصاً مستقبلياً.

وتوضيحاً لصرامة هذه الحدود منهجياً، تُناقَش الدراسة وفق معايير تهديدات الصدق الأربعة المعتمدة في أبحاث علوم التصميم والدراسات النوعية [38] ,[27]

الصدق البنائي :(Construct Validity) يرتبط بمدى تمثيل أبعاد جودة البيانات الخمسة ومؤشرات الأداء المقترحة للمفاهيم النظرية التي تقيسها فعلياً. خُفِّف هذا التهديد باستناد المؤشرات مباشرة إلى إطار معتمد دولياً [2] (UIS) بدل اشتقاقها اجتهادياً، لكن العتبات الرقمية المحددة (كـ ≥90%، و≥95%) تبقى غير مُختبرة إحصائياً (كصدق البناء التقاربي والتمايزي) إلى حين التحقق الخبروي والتطبيق الفعلي — وهذا هو بالضبط سبب تصميم خطة دلفي في القسم 3.8.

الصدق الداخلي :(Internal Validity) يخص مدى صحة الروابط السببية المفترضة بين مكونات النموذج (كافتراض أن تحسين جودة البيانات يقود إلى تحسن القرارات). خُفِّف هذا التهديد جزئياً بالاستناد إلى دروس مستخلصة من حالات واقعية موثقة [21]، [22]، [23]، [24]، وبالربط الصريح بنماذج نظرية مختبرة سابقاً في سياقات أخرى([37] DeLone & McLean) ، وبالاتساق الأولي مع نتائج المحاكاة (القسم 7.5)، وهو اتساق ناتج عن بنية المحاكاة نفسها وليس دليلاً سببياً؛ كما أن غياب التطبيق الميداني يمنع تأكيد العلاقات السببية إحصائياً في السياق التعليمي تحديداً.

الصدق الخارجي :(External Validity) يخص قابلية تعميم النموذج خارج السياقات الأربعة المدروسة، وهو التهديد الأكثر أهمية هنا نظراً لتحيز العينة نحو سياقات النزاع. عولج هذا التهديد جزئياً بتصميم النموذج بمرونة سياقية صريحة (الجدول 7) بدل افتراض قالب واحد، إلا أن التعميم الكامل يحتاج اختباراً في سياقات إضافية غير متأثرة بالنزاع (آسيوية، وأوروبية شرقية، وأفريقية مستقرة) لم تشملها العينة. ويُقترح، لمعالجة هذا التهديد بشكل منهجي، أن تتضمن أي دراسة تحقق لاحقة عينة متعمدة من بيئات تعليمية مستقرة ذات بنية ورقية (في آسيا أو أوروبا الشرقية أو أفريقيا المستقرة) لاختبار قابلية النموذج للنقل خارج سياق الأزمات.

صدق الاستنتاج :(Conclusion Validity) يخص اتساق الاستنتاجات مع الأدلة المتاحة. عولج عبر التمييز الصريح بين "الدروس المستخلصة من الحالات" (استقرائية) و"مكونات النموذج المقترحة" (استنباطية)، وتجنب تعميمات كمية لا تدعمها طبيعة العينة النوعية الصغيرة، ووسم كل عتبة رقمية بوضوح بأنها "مقترحة" لا "مُثبتة"، مع إثبات الجدوى الكمي الأولي عبر التنفيذ الحاسوبي (القسم 7.5) الذي لا يُعدّ دليلاً تجريبياً على صحة الفرضيات.

8.2 الاتساق الأولي لمنطق النموذج عبر التنفيذ الحاسوبي (إثبات جدوى)

قدّمت النتائج الكمية للتنفيذ الحاسوبي (الجدولان 9 و10) اتساقاً أولياً مع منطق النموذج الهجين دون أن تُشكّل اختباراً للفرضيات، لأن معاملات حلّ العيوب في المحاكاة مُحدَّدة افتراضاً فلا تصلح دليلاً سببياً أو إحصائياً:

أولاً، منطق "جودة البيانات شرط لا نتيجة:" رافق ارتفاعَ جودة البيانات من 87.54إلى) 95.42الجدول (9انخفاضٌ في الأخطاء والتكرار وتكلفة التصحيح، لكن هذا الارتباط ناتج عن بنية المحاكاة نفسها فلا يُعدّ دليلاً على السببية .ويتسق هذا المنطق مع [37] DeLone & McLeanومع توصية دليل EMIS 2.0بأن تحسين الجودة يسبق الاستثمار التقني [16]ومع إطار [44] Kenett & Shmueliلتوليد

المعرفة القابلة للتنفيذ (Actionable Knowledge)، ويبقى اختباره سببياً مرهوناً بالدراسة شبه التجريبية)القسم .(7.1

ثانياً، منطق "التدرج يُخفّض المخاطر:" طبّقت الخوارزمية عتبات DRSمقترحة استنباطياً، مقرونة بحدود دنيا للأبعاد، على قيم DRSالمحسوبة من بيانات المحاكاة)الجدول (10، وأظهرت أن DRSوحده لا يميّز بين النماذج بينما تميّزها الحدود الدنيا؛ فهي تُطبّق العتبات ولا تشتقّها من البيانات .وهذا يُترجم مبدأ "القابلية للتجربة [36] "إلى آلية تشغيلية قابلة للقياس.

ثالثاً، منطق "التكامل التدريجي أفضل من القفزة:" استوفى النموذج الهجين بوابة المرحلة 3 (DRS = 95.2)، بينما بلغ DRSالرقمي الكامل 98.2دون أن يستوفي بوابة المرحلة 5إلا بفارق 0.7نقطة في الاكتمال؛ وفارق 3.0) DRSنقاط (صغير ولا يُبرّر بذاته القفزة المباشرة إلى الرقمي الكامل نظراً لتكاليفها ومخاطر التعطل، وهو ما يتوافق مع تحذيرات الأدبيات من "الاندفاع الرقمي.[32] ,[31] ,[16] "

رابعاً، دور:Isolation Forest أظهرت الوحدة قدرة معقولة على رصد السجلات الشاذة المحقونة)دقة 0.89واستدعاء (0.82، مما يُبرّر توظيفها في الطبقة الثالثة)الحوكمة والتدقيق(، مع التنبيه إلى أن الشذوذ المحقون قيم متطرفة واضحة قد تُسهّل الكشف مقارنةً بالبيانات الحقيقية .[41]

9. تحليل اقتصادي توضيحي للنموذج الهجين

ملحوظة منهجية: للتذكير فإن جميع الأرقام والنسب الواردة في هذا القسم —بما فيها بيانات الجدول — (11)ليست نتائج محاسبة تكاليف ميدانية ولا قياسات مستمدة من الحالات الأربع أو من تطبيق فعلي للنموذج، بل نماذج افتراضية توضيحية (Illustrative Hypothetical Models)صيغت استناداً إلى أنماط عامة في أدبيات تكلفة التحول الرقمي في القطاع العام، وغرضها الوحيد توضيح المنطق الاستثماري القائل إن توزيع التكاليف على مراحل قد يُخفّض المخاطرة مقارنة بالاستبدال الفوري .ولا يجوز استخدامها أساساً لقرار ميزانية أو استثمار فعلي؛ وعلى أي مؤسسة تقدير تكلفتها الفعلية بدراسة تكاليف محلية مستقلة، وهو ما تُوصي به الدراسة في القسم .12.4

تعتمد مشاريع التحول الرقمي غالباً استراتيجية "الاستبدال الكلي" التي ترفع التكلفة الإجمالية للملكية (TCO) بسبب الحاجة إلى بنية تحتية فورية وتدريب مكثف وتعطل تشغيلي أثناء الانتقال، وتشير دراسات إلى أن نسبة كبيرة من مشاريع التحول الرقمي في القطاع العام تفشل أو تتجاوز ميزانياتها [31]، [32]. في المقابل، يقترح النموذج الهجين توزيع التكاليف على فترة أطول (12–24 شهراً)، بما قد يُخفض النفقات الرأسمالية الفورية باتجاه طبقة التكامل والتحقق) مع إمكانية اعتماد حلول مفتوحة المصدر مثل([33] OpenEMIS ،

ويُقلل تكاليف تعطل العمل بإبقاء الورق مساراً بديلاً، مقارنة بارتفاع هذه التكاليف المتوقع في النموذج الرقمي الكامل — وهذا استنتاج منطقي مستمد من بنية النموذج، لا رقم مقيس.

تشير تقارير البنك الدولي واليونسكو إلى أن البيانات غير الدقيقة قد تُكلف الحكومات جزءاً معتبراً من ميزانية التعليم بسبب سوء توزيع الموارد [1]، [34]. ويُفترض أن يرفع النموذج الهجين "قيمة المعلومة" عبر تقليل الأخطاء بالتحقق الآلي والتدقيق العيني، وتحسين توقيت البيانات، وتعزيز استخدامها الفعلي في القرار، وهذا افتراض تشغيلي يستند إلى منطق النموذج لا إلى قياس مباشر.

يُقدم الجدول (11) نموذجاً افتراضياً توضيحياً بالكامل (نسب مئوية نمطية غير مشتقة من قياسات فعلية) للمقارنة بين النماذج الثلاثة على مدى خمس سنوات، لتوضيح منطق المفاضلة فحسب لا تقديم تقدير تكلفة يُعتمد عليه، إذ قد تختلف الأرقام جوهرياً بحسب البلد وحجم المؤسسة ومستوى البنية التحتية.

الجدول (11): مقارنة تقديرية–توضيحية (غير قابلة للتعميم الكمي) للتكاليف بين النماذج الثلاثة

بند التكلفة	النموذج الورقي الخالص	النموذج الهجين المقترح	النموذج الرقمي الكامل
التكاليف الرأسمالية(CAPEX)	5%	30%	100%
التكاليف التشغيلية السنوية(OPEX)	80%	60%	70%
تكاليف تعطل العمل(Downtime)	0%	10%	50%
تكاليف التدريب والتغيير	5%	40%	80%
تكاليف تصحيح الأخطاء	90%	30%	20%
التكلفة الإجمالية (TCO) على 5 سنوات	85%	55%	100%
العائد على الاستثمار(ROI)	منخفض جداً	مرتفع	متوسط

يُظهر الجدول، على المستوى المفاهيمي فقط، أن النموذج الورقي الخالص يبدو منخفض التكلفة الرأسمالية لكنه قد يُنتج هدراً كبيراً بسبب ضعف الجودة، بينما يتطلب النموذج الرقمي الكامل استثماراً مبكراً ضخماً قد يفشل في السياقات غير المهيأة، في حين يُفترض أن يحقق النموذج الهجين توازناً بين التكلفة والمخاطر والعائد — وهذا الافتراض هو بالضبط ما تختبره الدراسة التجريبية المقترحة في القسم 7 من خلال قياس فعلي لزمن التقرير وتكاليف تصحيح الأخطاء. وتتسق نتيجة المحاكاة (القسم 7.5) اتساقاً أولياً مع هذا

الافتراض النظري: إذ بلغت تكلفة التصحيح في النموذج الهجين المُحاكى نحو 32.7% من نظيرتها في الورقي، وهو قريب من التقدير التوضيحي في الجدول (11) الذي يُقدّر تكاليف التصحيح في الهجين بنحو ثلث نظيرتها في الورقي (30% مقابل 90%)، وهذا القرب ليس دليلاً على صحة التقدير التوضيحي لأن كليهما افتراضي.

وبناءً على ذلك، يُوصى اقتصادياً بالبدء بدراسة تجريبية محدودة لتقدير التكاليف الفعلية محلياً قبل أي تعميم، والاستفادة من الحلول مفتوحة المصدر مثل OpenEMIS [33] ودعم المنظمات الدولية [1]، [16]، وتوزيع التكاليف على 2–3 سنوات ضمن الميزانيات التشغيلية بدل طلب ميزانية استثنائية، وبناء شراكات مع القطاع الخاص لتوفير البنية التحتية بتكلفة مخفضة، مع التركيز على تدريب استراتيجي فعال من حيث التكلفة.

10. إسهامات الدراسة

نظرياً :تسد الدراسة فجوة في أدبيات التحول الرقمي التعليمي بتقديم نموذج مفاهيمي منهجي للتحول التدريجي غير المعطل بدلاً من نماذج الاستبدال الفوري أو الإلغاء التام، وتربط جودة البيانات بمعايير الانتقال الرقمي ضمن إطار مفاهيمي واحد، وتوسع تطبيق نظرية النظم الاجتماعية–التقنية [7] ونموذج الحوكمة متعدد المستويات [18] والأطر التكميليةTOE) ، وانتشار الابتكار، و (DeLone & McLeanإلى سياق البيئات التعليمية الورقية، مع تقديم مسار صريح ومحدد لاختبار صحة هذا الإسهام. وقد تجاوزت الدراسة حدود الإسهام النظري إلى الإسهام التطبيقي الحاسوبي، عبر تقديم منظومة تجريبية قابلة لإعادة التشغيل تُترجم الفرضيات إلى نتائج كمية قابلة للتحقق.

تطبيقياً :يوفر النموذج أداة تخطيط أولية قابلة للتطوير بتكاليف معقولة تعتمد مبدأ "البدء بما هو متاح"، وإطاراً مرحلياً ببوابات قرار مقترحة تستند إلى مؤشرات قابلة للقياس بدل الحدس، وآليات تغذية راجعة مزدوجة تعزز التحسين المستمر، وأداة أولية لتقييم جاهزية المؤسسات، وتصوراً لدراسة تجريبية قابلة للتنفيذ ميدانياً بعد التحقق الخبراتي. وتقديم منظومة تجريبية مفتوحة قابلة لإعادة التشغيل (متاحة كملحق إلكتروني — الملحقA) تُتيح للمؤسسات اختبار منطق النموذج على بياناتها الخاصة قبل أي استثمار ميداني.

منهجياً :يجمع التصميم بين المراجعة المنهجية للأدبيات وتحليل أربع حالات دولية متنوعة (مع الإقرار الصريح بتحيزها نحو سياقات النزاع)، ويطور مجموعة مؤشرات أداء رئيسية مقترحة عبر أربع فئات (جودة البيانات، والكفاءة التشغيلية، والتبني والرضا، وأثر القرار)، ويقدم تصميماً شبه تجريبي بمجموعتين تجريبية وضابطة قابل للتكرار في سياقات مختلفة، إلى جانب خطة تحقق خبراتي صريحة (دلفي) تسبق أي اعتماد

تطبيقي، وإطار مبسط توضيحي لتقييم الجدوى الاقتصادية للنماذج الهجينة، والجمع بين المنهج النوعي والتنفيذ الحاسوبي، بما يُنتج إثبات جدوى كمياً أولياً على قابلية النموذج للتنفيذ.

11. الخاتمة

هدفت هذه الدراسة إلى تحليل آليات دمج نظم المعلومات الإدارية في البيئات التعليمية الورقية، وتطوير نموذج هجين تدريجي يهدف إلى تحقيق التحول غير المعطل مع التركيز على جودة البيانات والحوكمة، اعتماداً على المنهج النوعي التحليلي وتحليل أربع حالات دولية، مع الانتقال إلى التصميم والتنفيذ الحاسوبي للتحقق من منطق النموذج كمياً.

أظهر التحليل الاستقرائي للحالات أن النماذج الهجينة خيار عملي وضروري محتمل في المراحل الأولى من التحول، وأنها تواجه تحديات متكررة في جودة البيانات وعبء العمل والتكامل والتغذية الراجعة، وأن جودة البيانات تبدو شرطاً لنجاح التحول لا نتيجة له. وقد اتسق هذا الاستنتاج مع نتائج المحاكاة الحاسوبية: إذ أظهر تشغيل المنظومة التجريبية على 5000 سجل مُحاكى تحسناً في جميع المؤشرات السبعة، تراوح بين انخفاض بنسبة 37.8% في زمن الإدخال (معامل نمذجة افتراضي) و 80.1% في نسبة الأخطاء، مع ارتفاع جودة البيانات الإجمالية من 87.54 إلى 95.42. كما طبّقت خوارزمية قرار الانتقال عتبات مقترحة مقرونة بحدود دنيا لأبعاد الجودة على مؤشر جاهزية رقمية (DRS) محسوب من بيانات المحاكاة، وتبيّن أن الحدود الدنيا هي التي تميّز بين النماذج الثلاثة لا DRS وحده؛ وهي نتائج إثبات جدوى لا قياسات ميدانية ولا اختبار للفرضيات.

ويقدم النموذج المقترح إطاراً مفاهيمياً بأربع طبقات متكاملة (فيزيائية، وتكامل رقمي، وحوكمة وتدقيق، وتحليل واتخاذ قرار)، وجدولاً زمنياً مرجعياً (12–24 شهراً) بخمس مراحل تنفيذية وبوابات انتقال، مع منظومة تجريبية قابلة لإعادة التشغيل وتصور لدراسة تجريبية ميدانية.

وتخلص الدراسة إلى أن نجاح التحول نحو نظم معلومات تعليمية فعالة يتطلب توازناً بين الاستمرارية التشغيلية والتحول الرقمي، مع تعزيز الحوكمة المؤسسية وبناء القدرات البشرية واستخدام البيانات في دعم القرار، خاصة في السياقات النامية والمتوسطة الدخل التي لا تحتمل تكاليف القفزة الرقمية الكاملة أو تعاني ضعف البنية التحتية وعدم الاستقرار. وتؤكد الدراسة، في ختامها، أن قيمتها الحالية تكمن في تقديم إطار مفاهيمي متماسك، ومنظومة تجريبية قابلة للتحقق، ومسار تحقق واضح (دلفي فتجربة ميدانية)، لا في تقديم معيار جاهز للتطبيق الفوري. اعتماد النموذج ميدانياً قبل إتمام هاتين الخطوتين يحمل مخاطرة معرفية ينبغي أن يعيها صناع القرار.

12. التوصيات

تُقدَّم التوصيات التالية في أربع فئات: سياساتية، وتقنية، وبناء قدرات، وبحثية مستقبلية، تم عرضها ضمن الجداول.(15–14–13–12)

12.1 التوصيات السياساتية

الجدول (12): التوصيات السياساتية

الأساس المنطقي	التوصية
الاعتراف القانوني بالنسخ الرقمية شرط أساسي لتقليل الاعتماد على الورق كمصدر وحيد ومنح الثقة في النظام الرقمي	تبني أطر قانونية تعترف بالسجلات الرقمية المحوَّلة من أصل ورقي، وتوحيد معايير الأرشفة وفق[13] ISO 15489
يوفر الإطار الوطني التوجيه والموارد اللازمة ويضمن اتساق الجهود على المستوى القطري، مع ترك هامش للتكيف السياقي	تطوير سياسات وطنية للتحول التدريجي بأطر زمنية مرنة (12–24 شهراً كمرجع أولي) ومؤشرات انتقال تخضع للتحقق المحلي قبل اعتمادها
يقلل غياب المعايير الموحدة من "جزر البيانات" ويسهل التكامل الأفقي	إلزام المؤسسات بمعايير بيانات موحدة مثل Ed–Fi و OneRoster [12]
تشير النتائج الاستقرائية للحالات الأربع إلى أن جودة البيانات والحوكمة أكثر تأثيراً في نجاح التحول من التقنية وحدها	تخصيص ميزانيات دورية تركز على جودة البيانات والحوكمة، لا على الأجهزة والبرمجيات فقط
تثير نظم المعلومات التعليمية قضايا أخلاقية تتعلق بجمع بيانات حساسة عن الطلاب	وضع سياسات واضحة لحماية البيانات وخصوصيتها وفق مبدأ "الخصوصية بالتصميم"

12.2 التوصيات التقنية

الجدول (13): التوصيات التقنية

الأساس المنطقي	التوصية
تُعد طبقة التكامل قلب النموذج الهجين وتُقلل تكاليف الربط بين الأنظمة	بناء "طبقات تكامل" مفتوحة المصدر معتمدة على معايير Ed–Fi و[12] OneRoster

الأساس المنطقي	التوصية
شرط أساسي لتقليل التكرار والأخطاء وتمكين التحليلات الزمنية	اعتماد نظام معرفات فريد وموحد للطلاب والمعلمين والمدارس يُصدر مركزياً
يؤثر تصميم النموذج الورقي مباشرة في جودة البيانات الرقمية الناتجة عن إدخاله	إعادة تصميم النماذج الورقية بحقول موحدة ورموز QRأو باركود تربطها بالقاعدة الرقمية
يُقلل الأخطاء البشرية ويُحسّن دقة البيانات ويقلل الحاجة للتصحيح اللاحق	تفعيل آليات التحقق الآلي في واجهات الإدخال مع تنبيهات فورية عند التناقض
تُعزز التغذية الراجعة المرئية دافع المدارس لتحسين جودة بياناتها	تطوير لوحات مؤشرات مبسطة تعكس أداء المدرسة وتُتاح في الوقت المناسب
يُعزز جودة البيانات مع اشتراط توفر بيانات جيدة أولاً، استخدامه المبكر قبل نضج البيانات قد يُضخّم الأخطاء بدل تصحيحها	توظيف التعلم الآلي لاكتشاف الشذوذ البياني وسد الفجوات التقديرية الموثقة، بعد التأكد من نضج جودة البيانات الأساسية
تُتيح قياس الأثر المتوقع على جودة البيانات بتكلفة شبه معدومة، وتكشف العقبات التقنية قبل التعميم	اعتماد المنظومة التجريبية المُنفَّذة كنموذج اختبار أولي (Testbed) قبل أي استثمار ميداني

12.3 توصيات بناء القدرات والتدريب

الجدول (14): توصيات بناء القدرات والتدريب

الأساس المنطقي	التوصية
يؤدي نقص فهم جودة البيانات وأخلاقياتها إلى ضعف الأداء وتراجع الالتزام	توسيع التدريب ليشمل جودة البيانات وأمن المعلومات وأخلاقيات الرقمنة، لا الاقتصار على المهارات التقنية
التدريب العملي أكثر فعالية من النظري لذوي المهارات الرقمية المحدودة	تطوير برامج تدريبية مرحلية عملية (On-the-Job Training)قبل كل مرحلة تنفيذية
يُقلل الدعم الفني القريب من الإحباط الناتج عن المشكلات التقنية	إنشاء وحدات دعم فني على مستوى المديريات لمساعدة المدارس ميدانياً

الأساس المنطقي	التوصية
تُعزز الحوافز الدافع وتُشجع التنافس الإيجابي	تصميم برامج تحفيزية للمدارس والموظفين المتميزين في جودة البيانات
يُعد تبسيط المواد وتوفيرها محلياً شرطاً لفعالية التدريب	إعداد مواد تدريبية مبسطة باللغة المحلية (أدلة مصورة، فيديوهات قصيرة)

12.4التوصيات البحثية المستقبلية

يقدم الجدول (15) خارطة بحثية مرحلية تُترجم توصيات هذا القسم إلى تسلسل زمني ومنهجي محدد، بما يُبرز موقع الدراسة الحالية (المرحلة الأولى) ضمن برنامج بحثي متكامل متعدد المراحل، ويُبرز تحديداً أن المراحل 2 و3 (التحقق الخبراتي والتجريبي) شرط ضروري قبل أي توصية بالتطبيق الواسع.

الجدول (15): خارطة بحثية مرحلية لتطوير النموذج والتحقق منه

الحالة	المخرج المتوقع	الوصف	المرحلة
مُنجزة	نموذج مفاهيمي أولي بأربع طبقات وخمس مراحل تنفيذ، مع عتبات مقترحة غير مُختبرة	تصميم النموذج نظرياً واستقراء دروس من حالات دولية موثقة	المرحلة 1 (هذه الدراسة)
مُنجزة	كود Python + نتائج كمية أولية + مؤشر DRS	التنفيذ الحاسوبي للمنظومة التجريبية وقياس الأثر كمياً	المرحلة 1.5 (جديدة)
مقترحة (القسم 3.8)	نسخة منقّحة من النموذج وعتباته الرقمية معتمدة خبراتياً	تحقق خبراتي عبر لوحة دلفي (12–15 خبيراً، 2–3 جولات)	المرحلة 2
مُصمَّمة (القسم 7)	بيانات كمية عن الجدوى والفعالية	دراسة تجريبية شبه تجريبية على 10–20 مدرسة، بعد إتمام المرحلة 2	المرحلة 3
مستقبلية	نموذج مُحسَّن قابل للتعميم عبر سياقات متنوعة	تطبيق موسّع متعدد السياقات (نامية، ومتوسطة الدخل، ومستقرة، وغير متأثرة بالنزاع)	المرحلة 4

الحالة	المخرج المتوقع	الوصف	المرحلة
مستقبلية	أدلة تجريبية على العلاقة بين جودة البيانات وجودة التعليم	دراسات طولية (3–5 سنوات) لقياس الأثر بعيد المدى	المرحلة 5

وإلى جانب هذه الخارطة المرحلية، توصي الدراسة أيضاً بما يلي: تطوير نماذج كمية لتقدير تكلفة التحول وعائده ببيانات فعلية من تطبيقات ميدانية بدل التقديرات التوضيحية الواردة في القسم 9، ودراسة الآثار الأخلاقية والنفسية لجمع بيانات الطلاب الحساسة في سياقات النزوح والصراع، واستكشاف تقنيات الذكاء الاصطناعي المتقدمة) كـ OCRالمدعوم بالذكاء الاصطناعي (لاستخراج البيانات من النماذج الورقية الممسوحة ضوئياً بعد التأكد من جودة البيانات الأساسية، ودراسة قابلية تطبيق النموذج الهجين في قطاعات أخرى (الصحة، والخدمات الاجتماعية، والإدارة الحكومية) تواجه تحديات مماثلة في الازدواجية الورقية–الرقمية، وتوسيع عينة الحالات المستقبلية لتشمل سياقات مستقرة غير متأثرة بالنزاع ذات بنية ورقية خالصة، لتصحيح التحيز التمثيلي الحالي، وللتحقق تحديداً من فرضية أن النموذج المقترح يلبي احتياجات البيئتين معاً (بيئات الأزمات والبيئات المستقرة منخفضة الموارد) لا إحداهما فقط. وتُوصي الدراسة، بناءً على نتائج التنفيذ الحاسوبي، بأن تُوسّع الدراسات المستقبلية نطاق المنظومة التجريبية لتشمل: (1) بيانات ميدانية حقيقية من سياقات متنوعة، (2) توسيع وحدة اكتشاف الشذوذ لتشمل تقنيات تعلّم آلي إضافية، (3) تكامل المنظومة مع واجهات برمجية (APIs) لأنظمة إدارة المدارس الفعلية، و(4) اختبار المنظومة في سياقات مستقرة غير متأثرة بالنزاع لتصحيح التحيز التمثيلي الحالي.

المراجع

[1] UNESCO, "Education Management Information Systems: Progress Assessment Tool — Methodological Guide for Educational Planners," UNESCO Publishing, Paris, 2021.

[2] UNESCO Institute for Statistics (UIS), "EMIS Buyer's Guide: A Guide to Procuring Education Management Information Systems," UIS, Montreal, 2020.

[3] Education Cannot Wait (ECW), "Strengthening Education Management Information Systems (EMIS) and Data for Increased Resilience to Crisis: Country Case Study — Palestine," ECW, New York, 2022.

[4] UNESCO, "Strengthening Education Management Information Systems in Crisis Contexts," UNESCO Publishing, Paris, 2023.

[5] UNESCO Institute for Statistics (UIS), "EMIS Assessment Framework," UIS, Montreal, 2021.

[6] World Bank, "SABER-EMIS Framework: Systems Approach for Better Education Results — Education Management Information Systems," World Bank Group, Washington, DC, 2018.

[7] D. E. Avison and G. Fitzgerald, Information Systems Development: Methodologies, Techniques and Tools, 4th ed., Maidenhead, UK: McGraw-Hill Education, 2006.

[8] Inter-American Development Bank (IDB), "Analysis of the Education Management and Information System of Jamaica: Diagnosis and Proposal for Strengthening the EMIS," IDB Publications, Washington, DC, 2020.

[9] UNICEF, "Education Management Information Systems: A Guide for Practitioners — Arabic Version," UNICEF Regional Office for Europe and Central Asia, Geneva, 2021.

[10] UNICEF, "Evaluation of UNICEF's Education Management Information Systems (EMIS) Interventions," UNICEF Evaluation Office, New York, 2020.

[11] UNESCO Institute for Statistics (UIS), "Data Quality Indicators for Education Management Information Systems," UIS, Montreal, 2022.

[12] Ed-Fi Alliance, "Ed-Fi Data Standard Documentation," Ed-Fi Alliance, Austin, TX, 2023.

[13] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 15489-1:2016 — Information and Documentation — Records Management — Part 1: Concepts and Principles," ISO, Geneva, 2016.

[14] OpenEMIS, "OpenEMIS Implementation Strategy," OpenEMIS Initiative, 2018.

[15] World Bank, "Status of Education Management Information System: Somalia Country Report," World Bank Group, Washington, DC, 2019.

[16] World Bank, "EMIS 2.0: A Vision for the Future of Education Data Systems," World Bank Group, Washington, DC, 2023.

[17] J. P. Kotter, Leading Change, Boston, MA, USA: Harvard Business Review Press, 2012.

[18] The Institute of Internal Auditors (IIA), "The IIA's Three Lines Model," IIA, Lake Mary, FL, 2020.

[19] J. W. Creswell and C. N. Poth, Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches, 4th ed., Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications, 2018.

[20] R. K. Yin, Case Study Research and Applications: Design and Methods, 6th ed., Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications, 2018.

[21] Education Cannot Wait (ECW), "Strengthening Education Management Information Systems in Crisis Contexts: Palestine Case Study," ECW, New York, 2022.

[22] World Bank, "Education Management Information Systems in Fragile and Conflict-Affected States: Somalia Case Study," World Bank Group, Washington, DC, 2020.

[23] Education Cannot Wait (ECW), "Strengthening Education Management Information Systems in Crisis Contexts: Chad Case Study," ECW, New York, 2022.

[24] Inter-American Development Bank (IDB), "Diagnosis and Proposal for Strengthening the Education Management Information System in Jamaica," IDB Publications, Washington, DC, 2020.

[25] G. A. Bowen, "Document Analysis as a Qualitative Research Method," Qualitative Research Journal, vol. 9, no. 2, pp. 27–40, 2009.

[26] V. Braun and V. Clarke, "Using Thematic Analysis in Psychology," Qualitative Research in Psychology, vol. 3, no. 2, pp. 77–101, 2006.

[27] Y. S. Lincoln and E. G. Guba, Naturalistic Inquiry, Newbury Park, CA, USA: SAGE Publications, 1985.

[28] IMS Global Learning Consortium, "Caliper Analytics Specifications," IMS Global, 2023.

[29] L. Thabane et al., "A Tutorial on Pilot Studies: The What, Why and How," BMC Medical Research Methodology, vol. 10, no. 1, pp. 1–10, 2010.

[30] M. H. Kutner, C. J. Nachtsheim, and J. Neter, Applied Linear Statistical Models, 5th ed., New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2005.

[31] B. Marr, "The Cost of Digital Transformation in Education," Forbes, 2022.

[32] McKinsey & Company, "Digital Transformation Success Rates in the Public Sector," McKinsey Global Institute, 2021.

[33] OpenEMIS, "OpenEMIS: Open Source Education Management Information System," OpenEMIS Initiative, 2023.

[34] UNESCO, "Cost–Benefit Analysis of Education Information Systems," UNESCO Publishing, Paris, 2022.

[35] L. G. Tornatzky and M. Fleischer, The Processes of Technological Innovation, Lexington, MA, USA: Lexington Books, 1990.

[36] E. M. Rogers, Diffusion of Innovations, 5th ed., New York, NY, USA: Free Press, 2003.

[37] W. H. DeLone and E. R. McLean, "The DeLone and McLean Model of Information Systems Success: A Ten-Year Update," Journal of Management Information Systems, vol. 19, no. 4, pp. 9–30, 2003.

[38] A. R. Hevner, S. T. March, J. Park, and S. Ram, "Design Science in Information Systems Research," MIS Quarterly, vol. 28, no. 1, pp. 75–105, 2004.

[39] K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, and S. Chatterjee, "A Design Science Research Methodology for Information Systems Research," Journal of Management Information Systems, vol. 24, no. 3, pp. 45–77, 2007.

[40] H. A. Linstone and M. Turoff, Eds., The Delphi Method: Techniques and Applications, Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 1975.

[41] F. T. Liu, K. M. Ting, and Z.-H. Zhou, "Isolation Forest," in Proc. 8th IEEE Int. Conf. Data Mining (ICDM), Pisa, Italy, 2008, pp. 413–422.

[42] W. McKinney, "Data Structures for Statistical Computing in Python," in Proc. 9th Python in Science Conf. (SciPy), Austin, TX, USA, 2010, pp. 56–61.

[43] F. Pedregosa et al., "Scikit-learn: Machine Learning in Python," Journal of Machine Learning Research, vol. 12, pp. 2825–2830, 2011.

[44] R. S. Kenett and G. Shmueli, Information Quality: The Potential of Data and Analytics to Generate Knowledge, Chichester, UK: Wiley, 2016.

[45] C. Batini and M. Scannapieco, Data and Information Quality: Dimensions, Principles and Techniques, Cham, Switzerland: Springer, 2016.

ملحق A

الشيفرة مجرّدة من التعليقات اختصاراً؛ النسخة الكاملة) مع (dashboard.py في الملحق الإلكتروني.

الملف dataset_generator.py :مولّد البيانات المُحاكى ، يُنتج 5000 سجل مدرسي بمشكلات واقعية موثّقة في الأدبيات [16], [15] , [8] ,[2]

```
import numpy as np
import pandas as pd
from datetime import datetime, timedelta
N, SEED = 5000, 42
def build_clean(rng, n=N):
    return pd.DataFrame({
        "student_id": [f"S{10000+i}" for i in range(n)],
        "student_name": [f"Student_{i}" for i in range(n)],
        "age": rng.integers(6, 18, n),
        "grade": rng.integers(1, 13, n),
        "enrollment_date": [(datetime(2023, 9, 1) +
timedelta(days=int(d))).strftime("%Y-%m-%d")
                            for d in rng.integers(0, 60, n)],
        "attendance_rate": rng.uniform(0.5, 1.0, n).round(2),
        "math_score": rng.integers(0, 101, n).astype(float),
        "arabic_score": rng.integers(0, 101, n).astype(float),
        "submission_date": [(datetime(2024, 1, 15) +
timedelta(days=int(d))).strftime("%Y-%m-%d")
                            for d in rng.integers(0, 30, n)],
    })
def inject_defects(clean, rng):
    n, df, anomaly = len(clean), clean.copy(), np.zeros(len(clean), dtype=bool)
```

```
    pick = lambda f: rng.choice(n, int(f * n), replace=False)
    d = pick(0.04); h = len(d) // 2
    df.loc[d[h:], "student_id"] = df.loc[d[:h], "student_id"].values[:len(d) - h]
    a = pick(0.03)
    df.loc[a, "age"] = rng.choice([2, 3, 30, 45, 59], len(a)); anomaly[a] = True
    s = pick(0.015)
    df.loc[s, "math_score"] = rng.choice([-10, 150, 200], len(s)); anomaly[s] =
True
    e = pick(0.025)
    df.loc[e, "enrollment_date"] = "1990-01-01"; anomaly[e] = True
    t = pick(0.02)
    df.loc[t, "attendance_rate"] = rng.choice([0.0, 0.05, 1.5], len(t)); anomaly[t] =
True
    df.loc[pick(0.18), "submission_date"] = "2024-03-15"
    df.loc[pick(0.06), "math_score"] = np.nan
    df.loc[pick(0.06), "attendance_rate"] = np.nan
    df.loc[pick(0.05), ["math_score", "arabic_score", "attendance_rate"]] = np.nan
    nm = pick(0.06)
    df.loc[nm, "student_name"] = df.loc[nm, "student_name"].str.lower() + " "
    df["true_anomaly"] = anomaly
    return df
```

2. **الملف dq_engine.py** : محرك جودة البيانات

```
import numpy as np
import pandas as pd
DEADLINE = pd.Timestamp("2024-02-15")
REQUIRED = ["student_id", "student_name", "age", "grade"]
```

```
ALL_FIELDS = REQUIRED + ["math_score", "arabic_score", "attendance_rate",
                         "enrollment_date", "submission_date"]
def _valid(df):
    enr = pd.to_datetime(df["enrollment_date"], errors="coerce")
    name = df["student_name"]
    return pd.DataFrame({
        "age": df["age"].between(4, 25) | df["age"].isna(),
        "math": df["math_score"].between(0, 100) | df["math_score"].isna(),
        "arabic": df["arabic_score"].between(0, 100) | df["arabic_score"].isna(),
        "att": df["attendance_rate"].between(0, 1) | df["attendance_rate"].isna(),
        "enroll": (enr >= "2023-08-01") | enr.isna(),
        "name": name.isna() | ((name == name.str.strip()) &
name.str[:1].str.isupper()),
    })
def compute_completeness(df):
    return round(100 * df[ALL_FIELDS].notna().all(axis=1).mean(), 2)
def compute_accuracy(df):
    return round(100 * _valid(df).all(axis=1).mean(), 2)
def compute_timeliness(df):
    return round(100 * (pd.to_datetime(df["submission_date"], errors="coerce")
<= DEADLINE).mean(), 2)
def compute_availability(df):
    return round(100 * (df[REQUIRED].notna().all(axis=1) &
~df["student_id"].duplicated(keep=False)).mean(), 2)
def compute_relevance(df):
    v = _valid(df)
```

```
    s = (df["math_score"].notna() & v["math"]) | (df["arabic_score"].notna() &
v["arabic"])
    return round(100 * (df["attendance_rate"].notna() & v["att"] & s).mean(), 2)
def duplication_rate(df): return 100 * df["student_id"].duplicated().mean()
def missing_rate(df):     return 100 * df[ALL_FIELDS].isna().mean().mean()
def error_rate(df):       return 100 * (~_valid(df).all(axis=1)).mean()
def overall_quality(df):
    scores = {"completeness": compute_completeness(df), "accuracy":
compute_accuracy(df),
              "timeliness": compute_timeliness(df), "availability":
compute_availability(df),
              "relevance": compute_relevance(df)}
    scores["overall"] = round(float(np.mean(list(scores.values()))), 2)
    return scores
```

3. **الملف anomaly_detector.py** : وحدة اكتشاف الشذوذ

```
import pandas as pd
from sklearn.ensemble import IsolationForest
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.metrics import precision_score, recall_score, f1_score
def detect_anomalies(df, contamination=0.08):
    X = df[["age", "math_score", "arabic_score", "attendance_rate"]].copy()
    X["enroll_year"] = pd.to_datetime(df["enrollment_date"],
errors="coerce").dt.year
    X_scaled = StandardScaler().fit_transform(X.fillna(X.median()))
    model = IsolationForest(n_estimators=100, contamination=contamination,
                            random_state=42, n_jobs=-1)
```

```
    df = df.copy(); df["anomaly"] = model.fit_predict(X_scaled)
    df["anomaly_score"] = model.decision_function(X_scaled)
    return df
def evaluate(df):
    y, p = df["true_anomaly"], df["anomaly"] == -1
    return {"flagged": int(p.sum()), "injected": int(y.sum()),
            "precision": round(precision_score(y, p), 2),
            "recall": round(recall_score(y, p), 2), "f1": round(f1_score(y, p), 2)}
```

4. الملف transition_algorithm.py: خوارزمية قرار الانتقال

```
import pandas as pd
from dq_engine import overall_quality
WEIGHTS = {"completeness": 0.25, "accuracy": 0.25, "timeliness": 0.20,
           "availability": 0.15, "relevance": 0.15}
THRESHOLDS = {1: 50, 2: 65, 3: 75, 4: 85}
GATES = {3: {"completeness": 90, "accuracy": 95, "timeliness": 85},
         5: {"completeness": 98, "accuracy": 98, "timeliness": 95}}
def compute_drs(scores, w=WEIGHTS): return round(sum(scores[k] * w[k] for
k in w), 2)
def gate_failures(scores, stage):
    return [k for k, v in GATES.get(stage, {}).items() if scores[k] < v]
def decide_transition(scores, stage):
    drs, fails = compute_drs(scores), gate_failures(scores, stage + 1)
    if drs < THRESHOLDS[stage] - 15: return "pause and reassess"
    if drs >= THRESHOLDS[stage] and not fails: return f"advance to stage
{stage + 1}"
```

```
    return "stay in current stage" + (f" (unmet gates: {', '.join(fails)})" if fails else
"")
def sensitivity(scores, delta=0.05):
    out = []
    for k in WEIGHTS:
        for s in (-delta, delta):
            w = {**WEIGHTS, k: WEIGHTS[k] + s}; tot = sum(w.values())
            out.append(compute_drs(scores, {a: b / tot for a, b in w.items()}))
    return min(out), max(out)
```

5. الملف hybrid_simulation.py: وحدة محاكاة النماذج الثلاثة (معدلات حلّ العيوب افتراضية)

```
import numpy as np
PARAMS = {
    "paper":   dict(p_valid=0.00, p_missing=0.00, p_late=0.00, entry_sec=45,
report_min=180),
    "hybrid":  dict(p_valid=0.80, p_missing=0.70, p_late=0.50, entry_sec=28,
report_min=95),
    "digital": dict(p_valid=0.95, p_missing=0.90, p_late=0.80, entry_sec=20,
report_min=30),
}
FIELDS = ["student_id", "student_name", "age", "grade", "enrollment_date",
          "attendance_rate", "math_score", "arabic_score", "submission_date"]
def _bad(clean, df, c): return ~((df[c] == clean[c]) | (df[c].isna() &
clean[c].isna()))
def simulate(clean, paper, model, rng, override=None):
    p = {**PARAMS[model], **(override or {})}
    out = paper.copy()
```

```
    for c in FIELDS:
        bad = _bad(clean, out, c)
        miss, late = bad & out[c].isna(), bad & (c == "submission_date")
        prob = np.where(miss, p["p_missing"], np.where(late, p["p_late"],
p["p_valid"]))
        fix = (rng.random(len(out)) < prob) & bad
        out.loc[fix, c] = clean.loc[fix, c]
    return out
def correction_cost(clean, df):
    return sum(int(_bad(clean, df, c).sum()) for c in FIELDS) + 2 *
int(df["student_id"].duplicated().sum())
```

6. الملف run_all.py: ملف التشغيل (يُنتج الجدولين 9 و10)

```
import numpy as np
import dataset_generator as dg, dq_engine as q, hybrid_simulation as hs
import transition_algorithm as ta, anomaly_detector as ad
rng = np.random.default_rng(dg.SEED)
clean = dg.build_clean(rng); paper = dg.inject_defects(clean, rng)
results = {}
for m in ["paper", "hybrid", "digital"]:
    df = paper if m == "paper" else hs.simulate(clean, paper, m,
np.random.default_rng(dg.SEED + 1))
    s = q.overall_quality(df)
    results[m] = dict(entry=hs.PARAMS[m]["entry_sec"], error=q.error_rate(df),
                      missing=q.missing_rate(df), dup=q.duplication_rate(df),
                      report=hs.PARAMS[m]["report_min"],
cost=hs.correction_cost(clean, df),
```

```
                scores=s, drs=ta.compute_drs(s))
base = results["paper"]["cost"]
for m, r in results.items():
    r["cost_idx"] = 100 * r["cost"] / base
    print(m, {k: (round(v, 2) if not isinstance(v, dict) else v) for k, v in r.items()})
    for st in (2, 4):
        print("  stage", st, "->", ta.decide_transition(r["scores"], st))
print("DRS sensitivity (hybrid):", ta.sensitivity(results["hybrid"]["scores"]))
print("anomaly detection:", ad.evaluate(ad.detect_anomalies(paper)))
```