



المقالة الاستراتيجية

التاريخ التحريري: 18 أكتوبر 2026

الهندسة التي تبقى بعد رحيل صانعيها

لماذا أصلحنا حاسوباً يبعد 24 مليار كيلومتر، بينما احتاج أصحاب سيارات حديثة إلى تأسيس مؤسسة لإصلاح ما اشتروه؟

The Reproduction Boundary: Engineering Saudi Technology to Outlive Its Original Maker

استهلال: ليست السيادة التقنية مسألة مكان إقامة الخادم أو ملكية فاتورة الأجهزة فحسب. تقدم هذه المقالة تعريفاً عملياً قابلاً للاختبار: إلى أي مرحلة تستطيع المؤسسة إعادة إنتاج برنامجها وتشغيله وإصلاحه وإثبات سلامته، إذا اختفت الشركة التي صنعتها؟ يجمع التحقيق بين إصلاح المسبار (Voyager 1)، ومجتمعات مالكي سيارات (Fisker Ocean) ودراجات (VanMoof)، وعلم بناء البرمجيات القابل لإعادة الإنتاج (Reproducible Builds)، ليقتترح صناعة سعودية مستقبلية لا تباع التقنية وحدها، بل القدرة على توريثها لمن سيحتاج إصلاحها بعد سنوات.

تحديد الدليل: وقائع المسبار والمركبات والقرارات التقنية أدناه مؤرخة ومسندة إلى بيانات أصلية، مع توضيح ما لا تثبته. «حدّ إعادة الإنتاج» و«امتحان الخلافة التقنية» مقترحان تحليليان في هذه المقالة، وليساً معيارين سعوديين معتمدين. شغلنا تجربة حقيقية لبناء حزمة صغيرة مرتين ومقارنة تجزئتها، وفحصاً حتمياً لشجرة اعتماديات مصطنعة؛ لا تتضمن النتائج بيانات أنظمة سعودية أو تقديرات احتمالية للصراع.

1. كان في متناول الإصلاح، لكن لا أحد يستطيع الوصول إليه

في العشرين من أبريل 2024، استطاع مهندسو مختبر الدفع النفاث (Jet Propulsion Laboratory; JPL) التحقق من أن حاسوب المسبار (Voyager 1) عاد يرسل بيانات هندسية مقروءة، بعد أشهر من وصول إشارات لا يستطيعون فهم مضمونها. كانت المركبة تبعد يومها أكثر من **24 مليار كيلومتر** عن الأرض. تستغرق الإشارة نحو **22 ساعة ونصف الساعة** لتذهب إليها ومثلها للعودة. S01

لم يكن في وسع أحد إرسال فني، ولا تبديل شريحة معطوبة، ولا شراء ضمان تمديد خدمة مدته ثلاثة أعوام. كشفت عملية التشخيص أن شريحة في ذاكرة نظام بيانات الرحلة (Flight Data Subsystem; FDS) لم تعد تعمل بصورة سليمة. فاختار الفريق نقل أجزاء من الشيفرة البرمجية إلى مواضع أخرى في الذاكرة، ولم تكن هناك مساحة واحدة تتسع للقسم المعطوب كله؛ لذلك وجب توزيع الأجزاء وتعديل الإشارات المتبادلة بينها. جرب المهندسون أولاً القسم الذي يعيد البيانات الهندسية، وأعلنوا نجاحه قبل استعادة بقية البيانات العلمية في مراحل لاحقة. S01S02

هذه ليست قصة عن جهاز لا يموت. المسبار قديم، وقدرته تتضاءل، وإصلاحه تطلب خبرة نادرة وأدوات اتصالات استثنائية. وهي ليست تجربة تثبت استقلال مشروع فضائي عن مورديه. لكنها تكشف حقيقة هندسية تستحق أن تُكتب على أبواب مختبرات التقنية: **القدرة على إصلاح الشيء لا تتناسب طردياً مع قربنا منه.**

وفي العام نفسه، كان بعض مالكي سيارة كهربائية من طراز (Fisker Ocean) يواجهون نوعاً مختلفاً من البعد. السيارة أمام المنزل؛ مكوناتها المادية تحت اليد. لكن الشركة المصنّعة دخلت إجراءات الإفلاس عام 2024، ومعها انكشفت أسئلة صعبة عن خدمات رقمية وأدوات فنية تعتمد عليها جوانب من صيانة السيارات وتشغيل ميزاتها. ففي **26 يوليو 2024**، قدمت جمعية المالكين (Fisker Owners Association; FOA) بياناً في ملف الإفلاس بالمحكمة الأمريكية، شرحت فيه حاجتها إلى استمرار الخدمات السحابية الحيوية والوصول إلى بنية برمجيات المركبة وأدوات فنيي الصيانة وقطع الغيار. إنه بيان طرف ذي مصلحة، لا حكم قضائي بأن كل هذه الخدمات انقطعت بالفعل أو بأن السيارات أصبحت غير قابلة للقيادة. S08

فعل الملاك شيئاً يستحق أن ينتبه إليه من يشتري آلاف المعالجات أو يوقع عقد نظام وطني. لم يكتفوا بتأسيس منتدى للشكاوى. نظموا جمعية واستعانوا بمهندسين، وظهر ضمن منظومتهم تطبيق (OceanLink Pro)، الذي طوّره وتقدمه (Undercurrent Inc.) وتصفه صفحته بأنه التطبيق الرسمي لأعضاء الجمعية، لتمكين بعض التشخيص والتحكم والاتصال في حدود الأجهزة والبرمجيات والحقوق المتاحة. وصف متجر التطبيقات الأصلي الوظائف المعلنة، ولا يصح تحويل ذلك الإعلان إلى إثبات مستقل أن كل سيارة استعيدت وظائفها كاملة أو أن كل تحديث آمن. S09

ها نحن أمام مفارقة يصعب على المحاسب التقني التقليدي تصنيفها: **مسبار لا تصل إليه اليد بقي قابلاً للإصلاح؛ وسيارة تصل إليها اليد احتاج أصحابها إلى أن يصبحوا شيئاً يشبه الشركة التي صنعتها.**

ليست المسافة هنا كيلومترات. إنها المسافة بين امتلاك المنتج وامتلاك المعرفة والأدوات التي تعيد خلق وظيفة مفقودة منه.

2. عمر الصانع، وعمر الشيء، وعمر اللغة التي يتفاهمان بها

لنتابع حكاية ثالثة لا لأنها تشبه قصة السيارة، بل لأنها تكشف زمناً مختلفاً للتقنية.

في 17 يوليو 2023، أعلنت محكمة أمستردام (District Court of Amsterdam) إفلاس كيانات هولندية تابعة لصانع الدراجات الكهربائية (VanMoof). يوثق تقرير منشور من أمعاء الإفلاس قرار المحكمة، دون حاجة إلى الاعتماد على الشائعات التي سبقت إعلانها. S03

في أيام القلق تلك، طرحت شركة منافسة هي (Cowboy) تطبيقاً اسمه (Bikey). وصفت الشركة في صفحة التطبيق أن مستخدم دراجات (VanMoof S3/X3) يستطيع حفظ مفتاحه الرقمي على هاتفه والاستفادة منه إن توقفت خدمة الشركة الأصلية. ركز وصف الإطلاق على طرز (S3/X3)، فيما يسجل تاريخ الإصدارات إضافة دعم (A5/S5) لاحقاً؛ ولا يثبت أن كل دراجة كانت ستتعرض عند انهيار الخوادم أو أن التطبيق حل جميع حاجات الصيانة. S04

لكن الشركة لم تختف من الأرض. اشترت جهة جديدة أصول العلامة في 2023، وفي فبراير 2024 نشرت (VanMoof) أرشيفاً من أدلة الصيانة والرسومات الفنية لبعض طرزها القديمة. أوضحت في إعلانها أن مواد كانت مقصورة سابقاً على ورش معينة أصبحت متاحة، وأن بعض الملفات احتاج إلى ترجمة من الصينية. كانت هذه خطوة في نقل المعرفة من جدران المصنع إلى من سيصلح الدراجة لاحقاً؛ وليست دليلاً على أن كل رموز البرمجيات أو مفاتيح المصادقة أو قطع الغيار أصبحت عامة. S05S06

ثم ظهر في 2026 نوع آخر من الخسارة لا يحتاج إلى إفلاس شركة: **شيخوخة البروتوكول**.

ففي إرشاداتها بشأن تقليص شبكات الجيل الثاني (2G Network Phase-out)، أوضحت (VanMoof) أن تتبع السرقة والاتصال البعيد في طرز أقدم يتأثران بتراجع الشبكات المعتمدة عليها. ووضعت موعداً قبل 1 أبريل 2026 لتفعيل اشتراك (Ride Pro) للراغبين في الحفاظ على خدمة تتبع معينة ضمن حل تفاوضت عليه مع مزودي الشبكات. والأهم أنها قالت صراحة إن القيادة والقفل والوظائف الأخرى المستقلة تظل تعمل؛ فلا يصح كتابة الخبر على أنه «توقفت الدراجات عن العمل». S07

ثلاثة أعمار، إذن، لا تتطابق بالضرورة: عمر الشركة التي تباع المنتج؛ عمر المادة التي يجلس عليها الإنسان أو يقودها؛ وعمر اللغة التقنية التي يتحاور بها المنتج مع العالم، من تردد لاسلكي إلى حزمة تشفير وواجهة برمجية (Application Programming Interface; API).

قد تعيش الدراجة بعد إفلاس صانعها. وقد تعود شركته إلى السوق فيما تختفي شبكة اتصال كانت عنصراً في تصميم طراز قديم. وقد يملك المشتري كل براغي الجهاز ولا يستطيع إعادة إنتاج قطعة برمجية واحدة صُممت يوم كان مترجمها البرمجي متاحاً وترخيصها سارياً.

هنا يصبح موضوع البحث أعمق من «الاعتماد على مورد». إننا نسأل عن قابلية توريث التقنية: هل تستطيع الوظيفة الانتقال إلى جيل آخر من المهندسين والأجهزة والبرامج، كما تنتقل آلة موسيقية إلى عازف يعرف كيف يشد أوتارها؟

3. مفهوم المقالة: حدّ إعادة الإنتاج

أقترح مصطلح حدّ إعادة الإنتاج (Reproduction Boundary) لوصف آخر خطوة تستطيع جهة مالكة لخدمة رقمية إنجازها بنفسها، بصورة مشروعة وقابلة للتحقق، قبل أن تصبح محتاجة إلى أصل أو قرار أو معرفة محصورة لدى مزود آخر.

تأمل المسار الذي تحياه البرمجية قبل أن تظهر للمستخدم:

شيفرة مصدريّة (Source Code) ← مُترجم وبنية بناء (Toolchain) ← حزم واعتماديات (Dependencies) ← نسخة تنفيذية (Binary Artifact) ← توقيع وإذن نشر (Release Signing) ← نظام تشغيل وعتاد (Runtime and Hardware) ← بيانات وتكوينات (Data and Configuration) ← اختبار سلوك مقبول (Acceptance Tests).

ليست هذه سلسلة ذات اتجاه واحد في جميع المنتجات؛ فالاعتماديات تتفرع، وبعض الأنظمة تستخدم صوراً جاهزة، وبعض المراحل متزامنة. لكنها كافية لكشف الوهم الشائع: قد تمتلك جهة الشيفرة المصدريّة وتحفظ صور الخوادم وتملك البيانات، ثم تقف عند مرحلة تحديث البرنامج لأن توقيع الإصدار محجوز لدى المصنع، أو لأن حزمة أدواته (Software Development Kit; SDK) لم تعد متاحة، أو لأن واجهة العتاد لا تقبل إلا برمجية ثابتة موقعة (Signed Firmware) من طرف آخر.

وقد يحدث العكس: تبقى النسخة التنفيذية تعمل زمناً طويلاً، لكن لا أحد يستطيع تعديلها وإعادة بنائها بأمان. إن «تعمل الآن» و«أستطيع إنجاب نسخة جديدة منها» ادعاءان مختلفان.

يفيدنا هنا التفريق بين أربعة أفعال لا يجوز احتسابها كلها باسم الملكية:

الفعل	الاختبار الحقيقي	الوهم الذي قد يختلط به
الحفظ (Preserve)	هل بقيت الأصول اللازمة موثقة ومقروءة ومشروعاً للاحتفاظ بها؟	وجود ملف مضغوط مجهول المحتوى
إعادة البناء (Rebuild)	هل نستطيع تحويل الشيفرة إلى نسخة تنفيذية مستقلة ومطابقة أو موثقة الفروق؟	امتلاك الشيفرة وحدها
الإصلاح (Repair)	هل نستطيع تغيير سلوك خاطئ واجتياز اختبارات معلومة؟	إعادة تشغيل النسخة القديمة
النقل أو الإحلال (Port/Replace)	هل نستطيع حفظ وظيفة أساسية على منصة مختلفة؟	نقل البيانات دون إعادة تشغيل الوظيفة

قد تنجح مؤسسة في الأولين وتفشل في الثالث. وقد تنجح في تشغيل بديل أقل وظائفاً، لا يتطابق مع المنتج القديم، لكنه يستوفي احتياجات أساسية متفقاً عليها. لا يمكن عدّ ذلك تطابقاً تقنياً كاملاً؛ إنه إعادة تركيب واعية للوظيفة.

حدّ إعادة الإنتاج: سلسلة الأصول التقنية

المسار من المادة المصدرية إلى وظيفة يمكن قبولها



رسم مفاهيمي بحثي عام؛ لا يمثل خريطة تبعيات لمنشأة أو نظام سعودي.

الرسم المفاهيمي لحدّ إعادة الإنتاج ومراحل اختبار التقنية

الشكل 1 — حدّ إعادة الإنتاج المقترح: ما الذي نملكه من أصول البناء، وما الذي تظل إتاحتها أو شرعية استعماله أو سلامة توقيعه خاضعة لطرف آخر؟ الرسم تصميم بحثي عام، لا خريطة تبعيات لمنشأة سعودية.

4. قد تحمل الشيفرة، ويكون مفتاح تحويلها إلى برنامج مفقوداً

قبل أكثر من أربعين عاماً، طرح كين تومبسون (Ken Thompson) في محاضراته المعروفة (Reflections on Trusting Trust) معضلة تهز الاطمئنان السهل إلى قراءة الشيفرة المصدرية: يمكن للمُترجم البرمجي (Compiler) نفسه أن يحمل سلوكاً لا يظهر في المصدر الذي يُفترض أنه يترجمه. [S16](#)

لا نحتاج هنا إلى إعادة سرد سيناريو الهجوم. تكفي نتيجة الفكرية التي تتصل بموضوعنا: **المصدر لا يفسر وحده كيف وُلدت النسخة التي تنفذ فعلياً.** هناك تاريخ كامل من أدوات البناء، وإصدارات المكتبات، ومتغيرات البيئة، وقواعد التجميع، وأحياناً أخطاء أُبقيت زمناً حتى صارت جزءاً من السلوك المتوقع.

لذلك تختلف عبارة «احتفظنا بالكود» عن عبارة «أعدنا بناء التطبيق مستقلاً وأثبتنا أن الناتج يطابق النسخة المقصودة». ويعرّف مشروع البناء القابل لإعادة الإنتاج (Reproducible Builds) العمل القابل للإعادة من خلال إمكان حصول جهات، بالمدخلات والبيئة والتعليمات نفسها، على نواتج متطابقة على مستوى البتات (Bit-for-Bit). يفيد التجزؤ المشفر (Cryptographic Hash) حينئذ في مقارنة النسخ، لكنه لا يثبت وحده أن المصدر صحيح أو أن البرنامج آمن أو أن حق تشغيله متاح. [S11](#)

وهنا تصلح ثلاثة مفاهيم تقنية مختلفة، لا ثلاثة أسماء لطباعة شهادة جاهزية واحدة:

1. قائمة مكونات البرمجيات (Software Bill of Materials; SBOM)، ومنها صيغة (SPDX)، تقول لنا الكثير عما يدخل في البرنامج وعلاقاته ورخصه. لكنها لا تضمن بمفردها أن كل أدوات البناء أو أسرار النشر أو العتاد متاحة. S13

2. إثبات منشأ البناء (Build Provenance) في مواصفة (Supply-chain Levels for Software Artifacts; SLSA) يساعد على توثيق من بنى المنتج وكيف وتحت أية ضمانات؛ لكنه لا يحوّل التوثيق إلى حق مستقل باستعمال جميع المكونات أو القدرة على تغيير كل جهاز. النسخة السارية التي راجعناها هي (SLSA 1.2)، لا إصداراً أقدم يُستعمل افتراضياً. S12

3. إطار تحديث البرمجيات (The Update Framework; TUF) يضع آليات للتحقق من أصالة التحديثات وحماية مساراتها من بعض مخاطر المفاتيح والنسخ القديمة. وهو ليس تصريحاً بتجاوز الحماية التي وضعها المصنع، بل نموذج يوضح أن نشر تحديث آمن يعتمد على بنية ثقة يجب تصميم استمرارها بدورها. S14

المؤسسات التي تستعمل هذه التقنيات تنضج حين تفصل بينها. من الطريف أن نرى خزانة تحتوي على ألف ختم سلامة بينما تعجز ورشة العمل عن تصنيع الشيء الذي اختُتم. لكن الطرافة تنتهي حين يكون الشيء خدمة يحتاج إليها إنسان أو أداة إنتاج يعمل عليها اقتصاد.

5. ذاكرة البرمجيات: أين تختبئ المعرفة التي لا يحفظها القرص؟

إذا كان الحاسوب يعرف كل شيء، فلماذا احتاج إصلاح (Voyager 1) إلى عمل بشري مفصل على مدار أشهر؟ لأن الشيفرة والذاكرة والتقارير لا تزيل ضرورة المعرفة التشغيلية الضمنية (Tacit Operational Knowledge): فهم ما يمكن تحريكه، وما لا يمكن كسره، وما الذي يعنيه كل تغيير في نظام تباعدت أجزاؤه عبر عقود.

توجد معرفة في ملفات، ومعرفة في أدمغة، ومعرفة في سلوك أجهزة لا تتصرف تماماً كما توقع مصمموها. لهذا لا يكفي نسخ (Git Repository) من خادم إلى آخر. ينبغي حفظ وصف بيئة البناء؛ ونسخة من الاعتماديات المرخصة؛ ومقارنات سلوك أساسية؛ ومواد تدريب تعترف بما لم يعد مفهوماً؛ والقدرة على تنفيذ إصلاح اختبارياً دون تعريض خدمة حقيقية للخطر.

هناك مشروع عالمي يضيء جانباً من الحل، هو أرشيف التراث البرمجي (Software Heritage)، الذي يسعى إلى حفظ الشيفرات العامة وتواريخ تطویرها وإمكان الرجوع إليها. إنه مثال مهم على حفظ المصدر عبر الزمن، لا وعد بأن كل برنامج محفوظ يمكن تنفيذه على أي جهاز مستقبلي، ولا ترخيصاً بإعادة توزيع مادة مغلقة. S15

بالنسبة إلى نظام معلومات قديم، قد يكون أندر أصل من الأصول ليس معالِجاً أو قرصاً، بل ملف اختبار بسيط يبين كيف كان النظام يحسب رقماً حساساً قبل عشرين عاماً. ذلك الملف يحوّل الخلاف بين فريقين من رأيين متعارضين إلى نتيجة يمكن فحصها. وحين لا يبقى أحد يعرف المقصود من الرقم، يصبح تغيير البرمجية مغامرة لغوية: نعرف طريقة كتابة الكلمة، ولا نعرف ماذا كانت تعني في عقدها مع الواقع.

6. اختبار عملي: أن نعيد إنتاج حزمة لا أن نتذكر اسمها

لئلا تبقى الأطروحة مقالة في جمال الاستقلال، نفذنا في المرفق العلمي تجربتين محدودتين، معلنتي الافتراضات.

في الأولى بنينا خدمة تجريبية صغيرة مكتوبة بلغة (Python)، تحتوي وظيفة قراءة افتراضية واختبارين للنتائج، ثم أنشأنا لها حزميتين منفصلتين في مسارين مختلفين على القرص، دون اتصال خارجي. ثبتنا ترتيب الملفات والطابع الزمني والبيانات الوصفية للحزمة. **تطابقت البايتات وتجزئنا (SHA-256) حرفياً** في البناءين، واجتاز الاختباران البسيطان. هذا نجاح مختبري ضيق: لا يعني أن المترجم مستقل عن مُعدّه أو أن طرفاً ثالثاً تحقق من النتائج أو أننا أعدنا بناء برنامج سعودي. [MODEL]

أما التجربة الثانية فتستعمل رسماً تجريبياً من **26 عقدة** تشمل ملفات المصدر والبيانات وأدوات البناء وحق التفعيل والتوقيع والعتاد وبدائل قابلة للتشغيل، ثم تفحص أربعة مسارات لاستعادة وظيفة افتراضية بعد افتراض اختفاء المورد. عدد العقد نفسه لا يعني عمق نظام فعلي. [MODEL]

طريق الاستعادة المفترض	عناصر أولية غير متاحة بعد غياب المورد	إمكانية استكمال الطريق وفق النموذج
صورة تشغيلية محفوظة (Golden Image)	3	متعذر دون بدائل مصرّح بها
الشفيرة محفوظة عند جهة مستقلة (Source Escrow)	5	متعذر مع غياب أدوات وعوامل تشغيل أصلية
شفيرة وأدوات بناء محلية	3	متعذر مع بقاء متطلبات تفعيل وتوقيع وعتاد لدى المورد
نواة وظيفية قابلة للنقل (Portable Minimum)	0	ممكنة بافتراض سلامة الاختبارات والحقوق والبدائل

في المسار الأخير لم نحصل على جميع مزايا النظام الافتراضي؛ افترضنا الاحتفاظ بست وظائف من ثمان. لا تصف هذه الأعداد أداءً سعودياً أو زمنياً أو احتمالاً. إنها **فحص منطقي لشروط إمكان إعادة الإنتاج**، وليست محاكاة لهجمات أو تقريراً عن شركة. يصف البحث المصاحب بنية نموذج الاعتماديات، وتعرض حزمة الأدلة جدول نتائجه ذي الحالات الثماني. [MODEL]

أربع وصفات استعادة عند غياب المورد

نتائج النموذج التركيبي كما وردت في جدول التحقق

مسار الاستعادة	الجنود الأولية غير المتاحة	اكتمال المسار	الوظائف المفترضة من 8
صورة تشغيلية محفوظة	3	متعذر ✕	8/8 مشروط
شيفرة مودعة	5	متعذر ✕	8/8 مشروط
شيفرة وأدوات محلية	3	متعذر ✕	8/8 مشروط
نواة وظيفية قابلة للنقل	0	ممكّن ضمن النموذج ✓	6/8

نتائج نموذج من 26 عقدة مصطنعة: 0 يعني عدم وجود متطلب خارج الوصفة المحددة في هذا النموذج.

مقارنة الحلقات المفقودة بين أربع وصفات تركيب افتراضية

الشكل 2 – النتائج المحسوبة على شجرة افتراضية: عدد المدخلات الأولية غير المتاحة لكل مسار، مع المقارنة بين وظائف كاملة مشروطة بمورد خارجي ونواة بديلة أضيّق. الصفر هنا لا يشير إلى انعدام مخاطر حقيقية؛ بل إلى أن المخطط المصطنع لا يترك متطلباً خارج الوصفة المعطاة.

قد يبدو أن حفظ الشيفرة أضعف من حفظ الصورة؛ عدد العناصر المفقودة خمسة لا ثلاثة. وهذا صحيح وفق وصفتي التجربة فقط، لا قاعدة عامة. فالشيفرة تتيح إمكانيات أوسع للإصلاح مستقبلاً، لكن الوصول إلى هذه الإمكانيات يحتاج أدوات وحزم بناء قد لا تحتاجها النسخة المجمدة عند تشغيلها. ومن لا يفرق بين أفق التشغيل الفوري وأفق التعديل سيظن الأرقام حكماً نهائياً على قيمة المصدر.

والأهم أن النظام قد يملك 99 ملفاً من أصل 100 وتكون القطعة الوحيدة الناقصة هي التي تمنع إطلاق الإصدار الجديد. إن الحساب هنا ليس نسبة ما لدينا، بل وجود طريق كامل صالح من المواد إلى الوظيفة المطلوبة.

7. عصر الذكاء الاصطناعي يجعل الوراثة أصعب من ملف شيفرة

لنعب من دراجة تحتاج إلى قطعة إلى منظومة ذكاء اصطناعي (Artificial Intelligence; AI) تستطيع المؤسسة تشغيلها اليوم، ثم يختفي أحد موردي معالجاتها أو أدواتها البرمجية بعد سنوات.

قد تقول المؤسسة: احتفظنا بأوزان النموذج (Model Weights). حسنٌ، وماذا عن مُجزّئ الكلمات (Tokenizer)، وتعريف المعمارية، وإعدادات دقة الأعداد، وتنفيذ المشغلات المخصصة (Custom Operators)، ومكتبات التسريع (Acceleration Libraries)، ونظام جدولة الطلبات (Inference Scheduler)، ومعايير السلامة، وبيانات

التقييم التي تكشف التراجع عند النقل؟

الوزن بلا طريقة صحيحة لتفسيره يشبه آلة موسيقية مع عدد كامل من الأوتار، لا نعرف طولها ولا شدّها ولا السلم الذي صنّعت لأدائه.

ثم يأتي اقتصاد الانتقال. قد تختلف نتائج الاستدلال (Inference) أو سرعته أو استهلاكه للطاقة عندما تُنقل الأحمال من منظومة تسريع إلى أخرى. لا يكفي أن يفتح البرنامج ملف النموذج؛ يجب أن يؤدي السلوك المتفق عليه عند التكلفة والكمون المقبولين. ويجب اختبار الحقوق التي تسمح بالتعديل وإعادة النشر، لا افتراضها من وجود الملفات.

هنا تصبح **قابلية الترحيل (Portability)** خاصية مدفوعة الثمن: تتطلب تجريدات مدروسة واختبارات قبول وأحياناً تنازلات في الأداء أو الخصائص. وقد تكون المنصة المتخصصة أعلى كفاءة في الظروف الطبيعية، فلا يجوز أن نجعل الاستقلالية مرادفاً للتخلي عن كل تقنية عالمية متقدمة. القرار العلمي هو مقارنة **عائد التخصص** بتكلفة جعل البرنامج يشيخ مع مزوده الوحيد.

فكر في مختبر سعودي يطوّر منتجاً يعتمد على الذكاء الاصطناعي. السهم الاستراتيجي الأعلى قد لا يكون شراء قدرة إضافية وحدها، بل امتلاك القدرة على نقل نموذج محدد إلى مسار تنفيذ ثان، وإعادة تشغيل مجموعة اختبارات أساسية، وتفسير التغير في الجودة والكمون والكلفة. هذا ليس إعلاناً بأن النقل سهل أو متاح دائماً؛ إنه صياغة دقيقة لما ينبغي امتحانه قبل أن يصبح المسار الأول مصيراً لا يمكن تغييره.

8. السعودية: من مستودع الشيفرة إلى مصنع إعادة الإنتاج

يجب أن تكون الإضافة الاستراتيجية هنا عملية. لدى هيئة الحكومة الرقمية (Digital Government Authority; DGA) برنامج معلن لمستودع البرمجيات الحكومية السحابية (Government Cloud Software Repository / GPaaS)، يركز على إتاحة الشيفرات الحكومية الحرة ومفتوحة المصدر وتطويرها وتبادلها بين الجهات. وتعرض جهات سعودية، ومنها الهيئة العامة للعقار (Real Estate General Authority; REGA)، هذا الاتجاه بوصفه وسيلة لإعادة الاستخدام وتقليل الاعتماد على بعض الموردين. هذا واقع مؤسسي منشور، لكنه لا يثبت أن كل خدمة حكومية يمكن إعادة بنائها خارج موردها الحالي. S17S18

إن المستودع خطوة لازمة في بعض المسارات. لكنه ليس نهاية الاختبار.

لو أرادت مؤسسة تقنية سعودية تطوير هذا الاتجاه إلى صناعة أعمق، لبدأت بما أسميه **امتحان الخلافة التقنية (Technical Succession Trial)**، لا بدراسة امتثال ذات عناوين كثيرة:

اليوم الأول: فريق لم يبين المنتج يفتح حزمة أصول معزولة عن خوادم المورد، فيرى ما يستطيع الحصول عليه من مصدر واعتماديات وعقد استخدام وأدوات وبيئة موثقة.

اليوم الثاني: يحاول بناء نسخة تنفيذية؛ يقارن تجزئتها حين يكون التطابق شرطاً صحيحاً، ويدون أسباب اختلافها إن كان البناء يتضمن عوامل غير حتمية.

اليوم الثالث: يشغل نسخة اختبارية ببيانات اصطناعية أو مجهولة بموافقة مالكها، ثم يغير وظيفة صغيرة ويعيد اجتياز اختبارات القبول والأمن والأداء.

اليوم الرابع: يحاول تشغيل نواة محددة على بديل مسموح تقنياً وتعاقدياً، دون تعطيل حمايات الأجهزة أو تقليد مفاتيح الآخرين.

اليوم الخامس: يسجل الوظائف التي بقيت، وما تعذر، وما كلفه الإصلاح، ومن يملك حق اتخاذ القرار عند اختلاف النتائج. توقيت الأيام هنا ترتيب تعليمي افتراضي لا وعد بأن نظاماً معقداً يمكن اجتيازه في خمسة أيام.

إذا لم تنجح التجربة، تعين سبب الفشل: أهو ترخيص أم أداة مفقودة أم اعتماد برمجي أم عجز مهاري أم اختبار لا يعرف أحد كيف يفسره؟ لكل سبب استثمار مختلف. قد نحتاج إلى عقد جديد، أو مرآة حزم مصرح بها (Package Mirror)، أو اختبارات سلوكية، أو فريق هندسة مترجمات (Compiler Engineering)، أو تغيير المعمارية بالكامل. كلمة «توطين» لا تشرح أي خطوة من هذه الخطوات، وإن كانت مناسبة أحياناً لوصف هدف سياسي أو اقتصادي أوسع.

9. اختبار الاعتراض الأقوى: هل يستحق كل شيء أن يُولد مرتين؟

لا. في كثير من المنتجات، قد يكون المورد المتخصص أسرع وأكفاً وأشد أماناً من محاولة إعادة صناعة كل مكون داخلياً. إعادة بناء منصة معقدة محلياً قد ترفع الكلفة، وتخفض سرعة التصحيح الأمني، وتخلق مورداً احتكارياً محلياً أكثر هشاشة من المنافسة العالمية. وفي بعض القطاعات، تمنع الحقوق التعاقدية أو شروط السلامة أصلاً استبدال برمجيات حساسة بأخرى غير معتمدة.

كذلك قد تكون البرمجية المفتوحة ناقصة الصيانة، وقد يمتلك المشروع كل الشيفرة لكنه يفتقر إلى مهندسين يفهمونها. لا توجد معادلة تقول إن المحلي آمن أو المفتوح مستقل أو الموزع أفضل دائماً.

إن ما الاستثمار الحكيم؟ انتقائية إعادة الإنتاج (Selective Reproducibility).

نصنف الوظائف بحسب العائد الحقيقي من القدرة على إصلاحها أو نقلها: مدى صعوبة استبدال المورد؛ مدة احتفاظ الخدمة بقيمتها؛ مقدار الضرر عند انتهاء دعمها؛ ندرة المهارة؛ عدد المنصات البديلة؛ كلفة الاختبار؛ إمكان الإحلال بمنتج جديد أسرع من إصلاح القديم. وفي بعض الحالات يكون الخيار الرشيد شراء المنتج كما هو ثم إعداد خطة خروج، وفي أخرى يجب ألا يُشتري دون برهان مبكر على إمكان إعادة تشغيل قلبه الوظيفي مستقلاً.

الفرق بين الحكيم لا تصنعه العاطفة نحو مورد محلي أو أجنبي. تصنعه اختبارات فنية ومقارنات اقتصادية تتغير بتغير المشروع.

10. سوق لم نتعلم تسعيره جيداً بعد

في عالم تستمر فيه البرمجيات أطول من بعض شركاتها، ويمكن أن تشيخ فيه بروتوكولات الاتصال قبل أن تنتهي حياة الأجهزة، قد ينشأ طلب على صناعة جديدة أقرب إلى **الصيانة التطورية (Evolutionary Maintenance)** منها إلى تجارة النسخ الاحتياطية.

منتجاتها الممكنة ليست لوحة أخرى تضيء بالأخضر. إنها أدوات تعيد بناء إصدارات قديمة تلقائياً داخل بيئات معزولة؛ ومختبرات لإحياء شيفرات تراثية؛ ومترجمات للواجهات المهجورة؛ وحزم لتشغيل اختبارات السلوك عبر أجيال مختلفة من العتاد؛ وخدمات تحقق مستقلة تربط نسخة تنفيذية بمصدرها وبيئة بنائها؛ ومكونات مفتوحة تحفظ الحد الأدنى من وظائف جهاز أو خدمة بعد توقف المورد عن صيانتها.

يمكن للسعودية، ضمن استثماراتها في الحوسبة والخدمات الرقمية والذكاء الاصطناعي، أن تبحث قابلية تصدير هذا النوع من التقنية إلى مؤسسات لا تريد أن تتحول برمجياتها إلى آثار متحفية حال انتهى العقد. لكن الصناعة لا تولد من عنوان مركز أبحاث: تحتاج إلى تحديات مدفوعة من عملاء، وبيانات اختبار مصرح بها، وحقوق توزيع واضحة، ومقارنة جدوى إصلاح الأصل بجدوى استبداله.

وبذلك يصبح الاستشراف حتى 2035 سؤالاً عن السوق لا عن شعارات الدول: **من سيبيع القدرة على جعل منتجات الآخرين قابلة للحياة بعد انتهاء جيلها الأول؟**

قد يكون الرابع شركة صغيرة أتقنت مهاجرة بروتوكول قديم، أو فريقاً بنى مترجماً يمكن تدقيقه، أو مختبراً أعاد تأهيل نموذج ذكاء اصطناعي على منصة ثانية من دون انهيار جودته. لا أحد يستطيع إعلانهم الآن فائزين محتومين، لكن آلية القيمة واضحة بما يكفي لتصميم تجربة سوقية تقيسها.

11. الخاتمة: الميراث الذي لا يوضع في صندوق

حين أصلح مهندسو المسبار (Voyager 1) شيفرة قديمة على مسافة تعجز عندها الإشارة عن إجراء محادثة عادية، لم ينتصروا على الجغرافيا وحدها. كانوا يملكون ما يكفي من وصف النظام، وأدوات الاختبار، والخبرة، والحق في تعديل البرنامج وإرساله، كي يبنوا طريقاً إلى إصلاح لا يمكن الوصول إليه مادياً. S01

وحين احتاج ملاك سيارات (Fisker Ocean) إلى تأسيس جمعية هندسية ومبادرات صيانة بعد تعثر المصنع، لم تكن المشكلة أن السيارات خالية من التقنية. كانت ممتلئة بها؛ لكن جزءاً من قدرتها على التطور ظل مربوطاً بمؤسسة اقتصادية لم تعد كما كانت. S08S09

من هذه المسافة غير المرئية تُولد أطروحة هذه المقالة: **المنتج التقني أصل قابل للاستهلاك؛ أما القدرة على إعادة إنتاجه والتحقق منه وإصلاحه بعد رحيل صانعه فهي قدرة اقتصادية مستقلة.**

قد يتطلب بناء تلك القدرة مالا لا يستحق دفعه لكل منتج. وقد يكشف الاختبار أن المورد الأصلي أفضل من أي بديل. لكن من المفيد أن نعرف ذلك قبل اليوم الذي نحتاج فيه إلى الإصلاح.

للالآلة تاريخان: تاريخ تصنيعها، وتاريخ المرة الأولى التي يحتاج فيها صاحبها إلى إصلاح شيء لا يستطيع صانعها إصلاحه. بينهما تستطيع دولة أن تتعلم فئاً تقنياً نادراً: أن تشتري ما ينفعها اليوم، وتحتفظ بالطريق الذي يسمح لها بفهمه وإعادة صنع ضرورته غداً.

ملاحظات الاستدلال

1. لا تثبت (NASA) ولا (Fisker) وجود ضعف مماثل في منشآت سعودية. الأولى تبين نجاح إصلاح برمجي تحت قيود فاصلة؛ والثانية تبين تجربة اجتماعية وعملية لنقل جزء من الصيانة إلى المستخدمين.
2. إفلاس كيانات (VanMoof) عام 2023 لا يعني زوال العلامة حالياً. دخلت الملكية الجديدة واستحدثت أرشيفاً للصيانة. وتقليص شبكة (2G) عام 2026 لم يوقف قيادة الدراجات؛ أثره المعلن محدود بتتبع السرقة والاتصال البعيد لبعض الطرز.
3. تجربة البناء المتكرر تثبت تطابق حزمة اصطناعية صغيرة في البيئة المعلنة، ولا تشكل اعتماداً مستقلاً لحزمة إنتاجية. وفحص الشجرة لا يعطي احتمالات أو ساعات استعادة أو درجة وطنية للاستقلال التقني.
4. لا يعني استقلال البناء أو الترحيل حق تجاوز قيود الترخيص أو التوقيع أو سلامة المركبات. أي تجربة تنفيذية على نظام حقيقي تتطلب صلاحية واختبارات وسلامة فنية.
5. تفاصيل المصادر وأدوارها وتواريخ وقائعها ونشرها وحدود استدلالها مجموعة في سجل المصادر (source_register.csv) ودفتر الوقائع (news_casebook.md) ضمن حزمة الأدلة. مقترح «حد إعادة الإنتاج» من صياغة المؤلف.

مصادر مختارة

- الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (NASA)، *Voyager 1 Resumes Sending Engineering Updates to Earth*, 22 أبريل 2024. [S01](#)
- محكمة أمستردام وتقارير الأمناء (VanMoof Bankruptcy Trustees)، تقرير الإفلاس العلني، يونيو 2024، واقعة 17 يوليو 2023. [S03](#)
- شركة (Cowboy)، صفحة تطبيق (Bikey) الأصلية، يوليو 2023. [S04](#)
- شركة (VanMoof)، إعلان أرشيف الصيانة 27 فبراير 2024 وتحديثات شبكة (2G) لعام 2026. [S06S07](#)
- بيان جمعية المالكين (Fisker Owners Association) المودع في ملف الإفلاس عام 2024، و صفحة تطبيق (OceanLink Pro) الذي تقدمه (Undercurrent Inc.) وتصفه بالتطبيق الرسمي لأعضاء الجمعية.

- مشروع (Reproducible Builds)، التعريف الفني للبناء المتطابق. S11
- مواصفة (SLSA 1.2)، النسخة المعتمدة في 24 نوفمبر 2025، وهي النسخة المعتمدة عند قطع الأدلة. S12
- هيئة الحكومة الرقمية (Digital Government Authority)، برنامج إيداع الشيفرات الحكومية. S17