

الملحق البحثي

Editorial cutoff: 25 October 2026 · Publication: 26 October 2026

مفارقة الازدهار الرقمي: إطار لقياس استمرارية الخدمات تحت الاعتماديات والصدمات المشتركة

The Digital Prosperity Paradox: A Service-Coverage Framework and an Executed Synthetic Dependency Experiment

MERIDIAN FUTURES LAB | M01 Scientific Companion | Working Paper 1.0 | 25
October 2026

نوع العمل: ورقة مفاهيمية نقدية مع تجربة حسابية اصطناعية منفذة وقابلة لإعادة التشغيل (Conceptual Working Paper with an Executed Synthetic Computational Experiment).

الحالة: استعراض أدلة أصيلة محدد النطاق، ونموذج تشغيلي تجريبي اصطناعي بنتائج حسابية فعلية، وبروتوكول بيانات وتحقق مقترح. لا تحتوي الورقة على قياسات تشغيلية سعودية أصلية، ولم تُعرض للتحكيم العلمي.

قطع المعلومات: 25 أكتوبر 2026. أفق السياسة والاختبار: 2023–2026.

الملخص

تبحث الورقة سؤالاً له نتيجتان محتملتان: هل يزيد التكامل الرقمي كفاءة الدولة وقدرتها على الاستمرار في الأزمات، أم أن جمع الوظائف في اعتماديات مشتركة يرفع أثر بعض الصدمات؟ لا تُشتق الإجابة من مجرد انتشار الإنترنت أو حجم السوق التقني؛ فهذه مقاييس لخصائص تختلف عن مقدار الخدمة الضرورية التي تنجز عندما تتعرض طبقات الحوسبة والاتصالات والموردين والصيانة لضغوط متزامنة. نراجع بصورة نقدية نماذج الفشل المتسلسل (Cascading Failure) والاعتماديات البديلة (Redundant Interdependencies)، وأدبيات الهندسة المرنة، وأمثلة واقعية عن ضربات ألحقت ضرراً بمناطق سحابية في الخليج عام 2026، وعن التأخر التشغيلي بعد تعطل برمجي واسع عام 2024، وحالة عدم وصول مكالمات طوارئ إلى غايتها عام 2023.

نقترح مقياساً مقيداً على مستوى الخدمة لتغطية الطلب الصالح ضمن نافذة زمنية محددة، مع مؤشرات مستقلة للتراكم وزمن الاستعادة والتكلفة. ثم نفذ تجربة اصطناعية من 40,000 نافذة لكل واحدة من تسع مجموعات افتراضات، ونقارن ثلاث معماريات مجردة: مساراً واحداً مشتركاً، ومسارين احتيابيين، ومسارين مع قدرة عمل مخفضة محدودة. في حالة افتراضية يكون فيها احتمال الصدمة المشتركة 20% خلال 48 ساعة ويظل المسار الثاني مستقلاً عن الأول، بلغت متوسطات تغطية الطلب 88.40% و92.44% و93.31% على التوالي. وعندما افترضنا مشاركة الطريقتين الحدث نفسه مع إبقاء عبء القدرة الإضافية، أصبحت النسب 88.37% و87.04% و88.81%. هذه أرقام ناتجة من تشغيل الشيفرة المرفقة تحت قيم مفترضة بالكامل؛ وهي لا تقيس أو تتنبأ بأداء خدمات المملكة.

النتيجة المفاهيمية هي أن اتجاه المفاضلة يتوقف على نوع الاعتماد والتغاير الفعلي بين أسباب الفشل، وصلاحيه البديل، وكلفته، وتوقيت حاجة المستخدم إلى الخدمة. وتقتصر الورقة بروتوكولاً للتحقق باستخدام قياسات مجمعة من تمارين استعادة مصرح بها وتصاميم مقارنة تراعي اختلاف جودة المؤسسات والتمويل وتعقيد الخدمات. مساهمة الورقة هي أداة واضحة لتحديد ما ينبغي قياسه وما الذي يغير القرار، لا تقرير سلامة بنية بعينها.

الكلمات المفتاحية: مرونة الدولة الرقمية (Digital-State Resilience); الفشل المتسلسل (Cascading Failure); الاعتماد المشترك (Common-Cause Dependency); استمرارية الخدمة (Service Continuity); المحاكاة الاصطناعية (Synthetic Simulation); التعافي (Recoverability); الصدمات المركبة (Compound Shocks).

English abstract

This conceptual working paper examines a conditional proposition: digital integration may raise routine service efficiency while increasing exposure to failures shared across dependent functions; alternatively, integration may strengthen monitoring, redundancy and recovery. The paper distinguishes access, experience, cybersecurity market size, and operational service continuity. It critically reads foundational work on cascading failures alongside evidence that redundant interdependencies can improve robustness. Three real-world evidence clusters inform the mechanism without serving as measurements of Saudi performance: wartime physical damage to Amazon Web Services infrastructure in the Gulf in 2026, a software-update outage with post-restoration backlogs in 2024, and an Australian telecommunications outage affecting emergency calls in 2023.

We propose a bounded valid-demand-coverage measure and separately track backlog, recovery duration, cost and unequal exposure. An executed, fully synthetic Monte Carlo experiment compares a shared single path, two paths, and two paths with limited safe fallback. Nine illustrative parameter combinations each use 40,000 paired trial windows of 48 hours. Under one assumed common-shock probability of 0.20 and independent path failures, mean valid-demand coverage is 88.40%, 92.44%, and 93.31% respectively. When two paths are forced to share an outage event, the respective results are 88.37%, 87.04%, and 88.81%. These outcomes are **conditional outputs of an invented model, not empirical Saudi estimates or operational forecasts**. A validation protocol specifies authorized aggregate data, rival hypotheses, causal identification requirements, uncertainty and decision thresholds.

Keywords: digital public infrastructure; interdependent networks; common-cause failure; resilience; service-coverage measurement; stochastic simulation; Saudi Arabia.

1. سؤال الدراسة ومشكلة الاستدلال

السؤال الرئيسي: كيف يغير توسيع التكامل الرقمي مقدار الطلب الضروري الذي تستطيع الخدمات الاستمرار في تلبية بصورة صحيحة وأمنة خلال صدمات متزامنة، بعد احتساب بنية الاعتماد والبدائل والقدرة المؤسسية والتكلفة؟

ينبثق عنه خمسة أسئلة فرعية:

1. تحت أي شروط يخفض التكامل تكلفة الخدمة المعتادة أو يحسن الجودة، ومتى يجب فصل هذه النتيجة عن مرونة الخدمة؟
2. ما نسبة الانخفاض الناتج من مكونات تعمل بصورة مستقلة، وما نسبته الناتجة من حدث واحد يصل إلى مكونات مشتركة؟
3. متى تكون المسارات الاحتياطية بديل وظيفية مستقلة، ومتى تكون مجرد تكرار يتأثر بالحدث نفسه؟
4. هل يستمر جزء مفيد وآمن من الخدمات عند تعذر المعالجة أو الاتصال الكامل، وما أثر ذلك على التراكم والتسوية اللاحقة؟
5. كيف تُقارن تكلفة البدائل بالخسارة المتوقعة وبالقائمة الاجتماعية للاستمرار، دون تسعير حقوق الناس الأساسية على أنها معاملات تجارية عادية؟

تتداخل في السؤال ثلاثة أهداف: **وصفي** يقيس الانخفاض الذي حدث؛ **وسببي** يقدّر أثر اختيار بنية على أداء خدمة مقارنة بديل ممكن؛ و**قراري** يسأل أي تصميم يستحق التكلفة والقيود. لا يساوي نجاح الهدف الأول إثبات الهدفين التاليين. وقد تتحسن الخدمات في بلد أكثر ثراءً وخبرة لأسباب متعددة لمجرد أن بنيته أكثر تكاملاً؛ لذلك لا تكفي علاقة إحصائية بسيطة بين عدد المنصات والتعافي.

فرضيات متنافسة

- **H1 — مكسب التكامل:** عند تساوي مستوى التمويل والإدارة ونوع الطلب، يؤدي التكامل إلى تحسين الأداء المعتاد وقد يحسن الاستعادة بفعل الرصد الموحد والخبرة المركزة.
- **H2 — تعريض مشترك:** عندما تشترك وظائف متعددة في شرط تشغيلي حرج واحد، يزداد نطاق الانخفاض المحتمل تحت صدمة تصيب هذا الشرط.
- **H3 — أثر البديل الحقيقي:** إذا كانت آلية البديل مستقلة بالقدر الكافي ويمكن تشغيلها بأمان، يمكن أن يتراجع فقد الخدمة مع زيادة الاعتماد المتعدد.
- **H4 — حدود البديل الشكلي:** إذا اشترك البديل مع الأصل في فشل سببي واحد، قد تلتهم كلفة الاحتياط منفعتة.
- **H5 — التراكم جزء من الأداء:** استعادة الاتصال التقني قد تسبق اكتمال الحقوق والمعاملات والطلبات التي تأخرت؛ لذلك يمكن أن يختلف زمن الإصلاح عن زمن التعافي الاجتماعي.

وجود H1 و H3 يجعل الأطروحة قابلة لأن تنتهي إلى **ميزة للتكامل** في حالات قابلة للقياس. أما H2 و H4 فتفتتحان باب الضرر المشروط؛ و H5 تمنع قياس النجاح على واجهة النظام وحدها. لا نزعج تسجيل هذه الفرضيات مسبقاً في جهة خارجية.

2. موقع الورقة من الأدبيات

2.1 من قوة العنصر إلى قوة الشبكة المركبة

قدّم سيرغي بولديريف (Sergey Buldyrev) وزملاؤه عام 2010 نموذجاً رياضياً يوضح أن الاعتماد المتبادل بين شبكات محددة النوع قد ينقل فقد العقد بين الطبقات بصورة متكررة، فيتجاوز أثره صدمة أولية صغيرة. تساعد الورقة على توضيح لماذا لا يكفي اختبار مئاة كل طبقة وحدها. [S11](#) لكنها تستخدم افتراضات شبكية بعينها؛ ونقل نتائجها العددية مباشرة إلى اقتصاد أو دولة سيكون خطأ في الصلاحية الخارجية (External Validity).

وتُعادل هذه الفكرة دراسة فيليبو راديتشي (Filippo Radicchi) وجينسترا بيانكوني (Ginestra Bianconi) لعام 2017 التي تبني آلية مختلفة: في بعض الشبكات متعددة الطبقات، تسمح الاعتماديات البديلة بزيادة المئاة بدلاً من خفضها. [S12](#) لذا ينبغي أن يحدد البحث منطق الحاجة إلى المكونات: **AND** عندما يجب أن تعمل جميعاً، أو **OR** عندما يكفي بديل واحد، أو قاعدة أكثر تعقيداً مرتبطة بجودة الخدمة وسلامتها. هذه ليست فروقاً لغوية؛ إنها تغير مجموعة الحالات التي تنجح فيها الخدمة.

من جهة هندسة الأنظمة، يقدم إصدار المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا (National Institute of Standards and Technology; NIST) رقم SP 800-160، المجلد الثاني، المراجعة الأولى، مرجعية للتفكير في توقع الظروف المعاكسة، وتحملها، والتعافي منها، والتكيف بعدها. [S13](#) يتناول هذا الإطار قدرة الأنظمة على القيام بوظائفها عبر دورة حياتها، بينما يتيح بحثنا ترجمة بعض جوانبه إلى مؤشرات كمية على مستوى الخدمة.

2.2 التاريخ الفكري للتعقيد والترابط

يقدم تشارلز بيرو (Charles Perrow) في **الحوادث العادية (Normal Accidents)** منظوراً مؤسسياً يفرق بين تفاعلات صعبة التوقع وبين اقتران لا يترك فسحة زمنية للتدخل، وهي فكرة نافعة لفحص الخدمات الرقمية شديدة التشابك. [S14](#) ويقدم هربرت سايمون (Herbert A. Simon) في **معمار التعقيد (The Architecture of Complexity)** أساساً للتفكير في البنى القابلة للفصل النسبي (Near-Decomposability)، أي تنظيم يسمح بمقدار من الاستقلال الوظيفي داخل نظام كبير. [S15](#) نعتمد أفكارها بوصفها أدوات تفسير، من دون تحويل أمثلتهما التاريخية إلى دليل تجريبي على حالة الخليج الراهنة.

2.3 أين تسكن الفجوة؟

تُظهر الأوراق النظرية وجود آليات ممكنة ومتعارضة، وتُظهر تقارير الحوادث وقوع نتائج عملية محددة. **الحلقة المفقودة** هنا هي بيانات مقيسة تربط درجة التكامل ونوع الاعتماد ومقدار الطلب الصالح المنجز بعد تعطل مشترك. لا يمكن ملء هذه الحلقة بمتوسطات رضا المستفيدين أو عدد مراكز البيانات. لذا تدمج الورقة مراجعة محددة النطاق، وتجربة قابلة لإعادة التشغيل، وخطة تحقق ميداني مصرح به.

لم تُنفذ مراجعة منهجية شاملة (Systematic Review) لجميع الأدبيات: اختيار الأوراق قائم على تأسيس الآليات ووجود منظور منافس ومراجع هندسية أصلية. لم نَدعِ فحص كل قاعدة بيانات أو استخراج حجم أثر تجريبي قابل للتحليل التلوي (Meta-analysis). وكان معيار التوقف كفاية المراجع لتوضيح الفرضيات المتنافسة وحدودها، لا اكتساب وصف «مراجعة منهجية».

3. أدلة الواقعة وحدود نقلها

الواقعة الأصلية	الملاحظة المؤيدة بالمصدر	ماذا تفيد في هذه الورقة؟	ماذا لا تثبت؟
إصابة منشآت لشركة أمازون ويب سيرفيسز (Amazon Web Services; AWS) في الخليج في مارس 2026، وتحديث الاستعادة في سبتمبر	ضرر مادي في منشأتين بالإمارات العربية المتحدة (United Arab Emirates) وأثر ضربة مجاورة في البحرين (Bahrain)؛ وفي سبتمبر تعذر الوصول إلى موارد كانت مستضافة حصراً في أجزاء محددة. S05S07	اختبار حدود الفصل المكاني واستعادة البيانات أمام صدمة مادية متزامنة؛ وإمكان نجاح إعادة التشغيل لدى العملاء الذين نقلوا أعمالهم. S06	أنها أصابت منشأة سعودية، أو أن كل العملاء فقدوا بياناتهم، أو أن ضعف البنية المحلية ثبت.
تحديث برمجي معيب لدى كراودسترايك (CrowdStrike)، يوليو 2024	الشركة أقرت بخلل، وجهة محلية من ضرورة فصل الجاهزية الخدمة الصحية الوطنية (NHS) أعلنت أن تراكم المهام بقي بعد عودة التراكم وزمن إنجاز نظامها. S08S09	التقنية عن تسوية نتائج سببية لكل إجراء احتياطي.	حجم الآثار في كل المرافق الصحية أو نتيجة سببية لكل إجراء احتياطي.
انقطاع أوبتس (Optus) بأستراليا (Australia)، نوفمبر 2023	وجد المنظم تعذر الوصول إلى خدمة الطوارئ لـ 2,145 مستخدماً وإخفاق 369 متابعة لازمة. S10	وزن جودة الخدمة وتوقيتها، خاصة عندما تكون القيمة مرتبطة بالوصول العاجل.	وفيات أو خسائر فردية محددة، أو تعميم الاحتمال على بلد آخر.

ملاحظة سببية: أشار خبر رويترز (Reuters) في مارس 2026 إلى أن مصرفاً إقليمياً أعلن اضطراب تطبيقاته وخدماته خلال الفترة، لكنه لم يُسند تعطله مباشرة إلى واقعة أمازون ويب سيرفيسز (AWS). [S05](#) لذلك لا تستخدم الورقة التزامن وحده لإثبات انتقال الأثر من تلك المنشآت إلى مصرف مسمى.

وتشير بيانات سعودية رسمية إلى انتشار استخدام الإنترنت بنسبة 99.6% خلال 2025 بحسب تقرير صدر في 2026، ونضج تجربة رقمية بنسبة 86.71% وفق تقييم 50 منصة عام 2025، وسوق أمن سيبراني بقيمة 16.3 مليار ريال في 2025 بحسب إصدار أكتوبر 2026. [S01S02S03](#) لا نركب هذه المقادير في مؤشر مركب للاستمرار: تختلف موضوعاتها، ووحداها، ومصادرها، ومقاماتها. وظيفتها إثبات اتساع النشاط والموضوع الذي نريد اختباره، لا إثبات نتيجة الاختبار.

4. المقياس المقترح: مقدار الخدمة النافعة خلال نافذة محددة

ليكن لدينا خدمة (j) ، وسيناريو (s) ، وفترة $(T>0)$. نعرّف $D_{j,s}^*(t)$ بأنه **الطلب المرجعي المبرر** على خدمة أساسية في الزمن (t) ، و $Q_{j,s}^{\text{valid}}(t)$ بأنه **الناتج المنجز فعلياً** الذي يستوفي شروط السلامة والجودة والإتاحة والتوقيت خلال الفترة نفسها. ثم نعرّف:

$$C_{j,s,T} = \frac{\int_0^T \min\{Q_{j,s}^{\text{valid}}(t), D_{j,s}^*(t)\} dt}{\int_0^T D_{j,s}^*(t) dt}.$$

توجد أربعة اشتراطات حتى يكون التعبير قابلاً للتفسير: $Q^{\text{valid}} \geq 0$ ، و $D^* \geq 0$ ، واتفاق الوحدات بين البسط والمقام، وأن يكون مجموع الطلب في المقام موجباً. ووجود $\min$ يجعل $0 \leq C \leq 1$ عندما تصح الافتراضات. إذا

كان الطلب المرجعي صفراً، تُسجل حالة غير قابلة للتطبيق بدلاً من القسمة على صفر أو تغيير المقام بصمت.

إذا أُريد مجموع عبر خدمات، يمكن اقتراح $R_{s,T} = \sum_j w_j C_{j,s,T}$ بأوزان غير سالبة مجموعها واحد. لكن ذلك يحتاج إلى تبرير اجتماعي ومؤسسي للأوزان، وتقرير لكل خدمة على حدة، ومراجعة تأثير اختلاف توزيع الطلب إقليمياً أو على فئات المستخدمين. قد يبقى المعدل مرتفعاً مع فشل خدمة قليلة الوزن لكنها شديدة الخطورة. وعندما يتعذر جمع أوزان متوافقة، تكون لوحة المؤشرات المنفصلة أصدق.

لماذا نحتاج طلباً مرجعياً؟

ينخفض الطلب المسجل أحياناً لأن المستخدمين لا يستطيعون تقديمه أصلاً، ولأن الأنظمة تتوقف عن استقبال الأعمال. لو استخدمنا الطلب المسجل خلال العطل مقاماً وحيداً، قد تتحسن النسبة بينما ينتظر المستخدمون خارجه. لذلك نحتاج إلى خط أساس معقول يستند إلى تاريخ الاستخدام والمواسم ونوع الخدمة وسلوك الناس أثناء الأزمة، مع تقدير حساسية النتيجة للتغير في ذلك الخط.

لماذا لا يكفي هذا المقياس منفرداً؟

لأنه لا يحصي بالضرورة الأعمال المؤجلة بعد نافذة الرصد، أو الضرر غير القابل للعكس، أو أخطاء التسوية، أو جودة المعاملة غير المرصودة، أو تكاليف التشغيل. نقترح إلى جانبه: أشد عجز مستمر لمدة معرفة؛ وقت الوصول إلى حد الخدمة المطلوب والاستقرار عنده مدة محددة؛ حجم التراكم وكيفية التخلص منه؛ حالة البيانات غير القابلة للوصول؛ التكلفة الاقتصادية المقدرة بصورة منفصلة؛ والفروق المجمعّة بين المناطق أو الخدمات. ويجب أن تُوسم الحالات التي لم تتعاف قبل نهاية الفترة بأنها مقيدة بنهاية الرصد (Right-Censored)، لا «تعافت في اليوم الأخير».

5. التجربة الحسابية المنفذة

5.1 غرض التجربة ونطاقها

المهمة العلمية الضيقة للتجربة هي فحص حساسية نتيجة التغطية لبنية البدائل واعتماديات الفشل. لا تحاكي شبكة فعلية، ولا تقدّر تواتر الغارات أو أعطال المكونات في الخليج، ولا تختبر خطة استجابة مؤسسة حقيقية. الحالات جميعها مفترضة، والمخرجات مخرجات نموذجية مشروطة بهذه الافتراضات.

أنشأنا خمس فئات مجردة من الخدمات، بلا أسماء مؤسسات، بأوزان طلب هي $W=[0.28,0.24,0.20,0.16,0.12]$ ومجموعها واحد. تساوي وحدة الطلب لكل خدمة وحدة افتراضية في الساعة لمدة ($T=48$) ساعة. لا تتغير أوزان الطلب أو شدته أثناء الأزمة، وهو تبسيط مهم يمنع الدراسة من ادعاء تمثيل سلوك مستخدمين حقيقيين. لكل نافذة أحداث تعطل قد تبدأ في جزء من الفترة، وللخدمات أحداث محلية أخرى مستقلة. وتعاد المقارنة عبر المسارات تحت أحداث مشتركة مولدة مرة واحدة داخل كل مجموعة افتراضات، وهي طريقة مقارنة مقترنة (Paired Comparison) تخفف تباين فروق التصميم.

5.2 المعماريات الثلاث

A — الطريق المشترك المفرد (Single Shared Path). تعتمد الخدمة على مكون رئيسي واحد وعلى عدم وقوع صدمة مشتركة وعلى سلامة مكوناتها المحلي. عند فشل أي شرط يساوي الناتج المؤهل صفراً لتلك الساعة؛ وفي غير ذلك يساوي وحدة كاملة.

B — طريقان قابلان للاستبدال (Two Paths). يكفي أن يبقى أحد الطريقين الرئيسيين صالحاً، شريطة عدم وقوع الصدمة المشتركة وسلامة الخدمة المحلية. وضعنا قدرة عادية قدرها 0.985 وحدة لكل ساعة سليمة، باعتبار تراجع افتراضي بنسبة 1.5% في القدرة التشغيلية لمقابلة تشغيل هذا التصميم. لا نعد هذا التراجع تكلفة مالية مقدرة أو خصماً عالمياً للتوزيع؛ إنه معامل اصطناعي يتغير في نماذج لاحقة.

C — طريقان مع استمرار صالح محدود (Two Paths with Bounded Fallback). يشبه B عندما تتاح البنية المشتركة، ويضيف قدرة افتراضية محكومة أثناء تعطلها لبعض فئات الخدمات: $f=[0.30,0.25,0.10,0,0]$. افترضنا أن هذه النسب قابلة لتقديم خدمة آمنة ومعتبرة، من دون أن نثبت ذلك لخدمة واقعية. وجود أصفار في الفئتين الأخيرتين اعتراف بأن بعض الأعمال لا يصح تنفيذها في وضع مخفض أو دون التحقق المطلوب. لا يحسب النموذج أخطاء المصالحة أو التخزين المؤجل، وهي قيود تؤثر في الجدوى الفعلية.

لتمثيل المنطق جبرياً، ليكن C_t حدث صدمة مشتركة يعطل المنظومة الرئيسية، و P_t فشل المسار الأول، و B_t فشل البديل، و $L_{j,t}$ صلاحية المكون المحلي للخدمة (j)؛ قيمة كل من أحداث الفشل واحد في ساعة التعطل وصفر خارجها، أما (L) فالعكس. نستخدم ضرب الأقتعة المنطقية للتبسيط. فيكون الناتج المؤهل المجرد:

$$Q_{j,t}^A = L_{j,t}(1 - C_t)(1 - P_t),$$

$$Q_{j,t}^B = 0.985L_{j,t}(1 - C_t)(1 - P_tB_t),$$

$$Q_{j,t}^C = L_{j,t} [0.985U_t + f_j(1 - U_t)], \quad U_t = (1 - C_t)(1 - P_tB_t).$$

هذه الصياغة تميز بين **الضرورة المتزامنة** لسلامة شروط الخدمة المفردة وبين **الإحلال** عبر مسارين. كما تفصل نتيجة «الخدمة صالحة» المفترضة عن مجرد اتصال الشبكة.

5.3 أحداث الصدمة والعشوائية

المعلمة	القيم الاصطناعية المستخدمة	التفسير والحدود
طول النافذة	48 ساعة	مدة مقارنة معيارية لا تساوي زمن تعافٍ فعلي.
عدد التجارب	40,000 نافذة لكل مجموعة من تسع مجموعات	360,000 نافذة مولدة؛ يُقارن كل تصميم ضمن مجموعته، فتنتج 27 مجموعة مخرجات تصميمية.
احتمال حدوث فشل أساسي خلال النافذة	0.38	فرضية تجربة؛ لا يمثل تواتر الفشل في السحابة أو المؤسسات.
احتمال حدوث خلل محلي لكل خدمة	0.10	ترسم أحداث محلية لكل فئة بصورة مستقلة.
احتمال صدمة مشتركة	0.50, 0.20, 0	ثلاثة شروط حساسية، وليست توقعات عن 48 ساعة مقبلة.
مشاركة حدث فشل المسارين	1.00, 0.50, 0	مزج أحداث مستقلة مع أحداث متطابقة؛ ليست هذه أرقاماً لمعامل الارتباط الإحصائي (Pearson Correlation).
مدد أحداث المسار الأول	4 أو 12 ساعة	تُختار عشوائياً داخل كل حدث منفذ.
مدد الصدمة المشتركة	6 أو 18 ساعة	تنطبق على البنية الرئيسة للمسارين معاً.
مدد أحداث الخدمة المحلية	ساعتان أو 6 ساعات	تؤثر في إحدى الخدمات حتى مع بقاء المسارات المشتركة.
القدرة العادية لمساري C و B	98.5%	ثمن سعة اصطناعي مفترض؛ لا يشمل مالاً أو طاقة أو صيانة.
قدرة الوضع المخفض لبعض الخدمات	0%, 10%, 25%, 30%	الأرقام مشروطة بسلامة لا يمكن ضمانها قبل تجربة خدمة حقيقية.

تُسحب نافذة كل حدث من ساعات بداية تسمح باحتواء أطول مدة محددة للمكون في نافذة الرصد؛ ولذلك يمكن أن تُرجح بدايات مبكرة للأحداث القصيرة. وهذه خاصية معلنة للسيناريو، لا وصف للتوزيع الزمني للأعطال في الواقع. عندما نضع مستوى «مشاركة الفشل» عند 1، ينسخ البديل نافذة تعطل الأصل نفسها. وعندما نضعه عند صفر، يسحب البديل حدثاً مستقلاً بالقيم الهامشية نفسها. وفي المستوى الوسيط، يجري الاختيار بين النسخ والاستقلال وفق مزيج محدد في الشيفرة.

استخدمنا مولّد الأعداد العشوائية في مكتبة نامباي (NumPy) ببذرة أصلية 20261025 ومشتقات معلنة لكل مجموعة. والشيفرة التي أنشأت المخرجات موجودة في `analysis/reproduce.py`، وتكتب جدول النتائج الكامل في `data/simulation_results.csv` وملف الافتراضات `data/assumptions.json`. وقد شُغلت الشيفرة بالفعل لإنتاج الجداول والرسوم المرفقة. تكرارها يعيد الأرقام نفسها ضمن البيئة والنسخة البرمجية الموثقتين.

5.4 المخرجات والإحصاءات

لكل نافذة تجريبية نحسب المتوسط الزمني لتغطية الطلب الموزونة، ثم متوسط هذه النتيجة عبر الأربعين ألف نافذة. نحسب أيضاً نسبة النوافذ التي لم تحقق تغطية 90%، ونسبة ساعات التجربة التي كان فيها المجموع الموزون أقل من 50%. هذان الحدان اختياراً كاختبارات عرض داخل النموذج؛ ولم تُجرَ عليهما عملية اعتماد مؤسسي أو معايرة لحد أمان خدمات حقيقية.

نقدم إلى جانب المتوسط الخطأ المعياري لمونت كارلو (Monte Carlo Standard Error)، وهو الانحراف المعياري بين مخرجات النوافذ مقسوماً على الجذر التربيعي لعددها. يصف تقلب التقدير العددي الناشئ عن حجم المحاكاة؛ ولا يقيس الجهل بالاحتمالات الحقيقية أو خطأ اختيار الأوزان أو عمومية النموذج. وعليه فإن شرائط الخطأ في الشكل الحسابي لا يجوز وصفها بأنها «فترات ثقة بمرونة المملكة».

6. النتائج المنفذة وقراءتها

6.1 التغطية تحت تغير الصدمة والاعتماد

احتمال الصدمة المشتركة لكل نافذة مزيج فشل المسارين A: مسار واحد B: مساران C: مساران + استمرار محدود

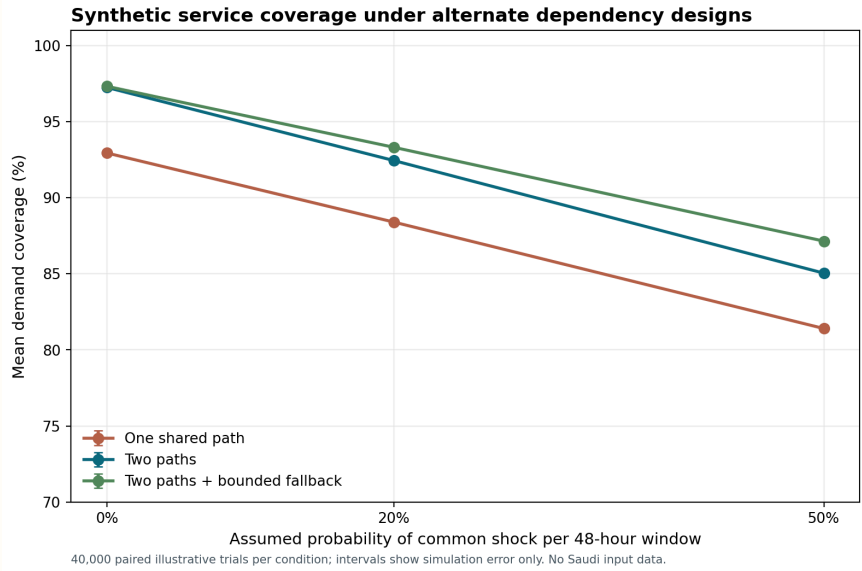
0%	0.0	92.93%	97.24%	97.31%
0%	0.5	92.88%	94.32%	94.88%
0%	1.0	92.96%	91.56%	92.58%
20%	0.0	88.40%	92.44%	93.31%
20%	0.5	88.24%	89.61%	90.95%
20%	1.0	88.37%	87.04%	88.81%
50%	0.0	81.40%	85.04%	87.14%
50%	0.5	81.44%	82.67%	85.17%
50%	1.0	81.40%	80.18%	83.09%

الجدول 3 — نتيجة فعلية لنموذج اصطناعي. كل خلية متوسط 40 ألف نافذة، وليس قياساً لقطاع أو دولة. فرق الأعداد الصغيرة بين بعض صفوف A ناتج عن سحبات عشوائية مستقلة عبر مجموعات الشروط.

أول استنتاج مشروط أن استقلال أسباب الفشل يؤثر أكثر من مجرد عدد المسارات. عند احتمال الصدمة المشتركة الافتراضي 20% وعدم مشاركة أحداث المسارين، تفوق B على A بنحو 4.04 نقاط مئوية. عندما فرضنا مشاركة حدث الفشل نفسه، انعكس ترتيب A و B بفارق نحو 1.33 نقطة مئوية لمصلحة A؛ والسبب داخل هذا النموذج هو عبء السعة المفترض في B من غير تعويضه باستقلال فعلي. هذا ليس قانوناً واقعياً بأن الاحتياط «يضر»، بل نتيجة اختيار المعاملات وقاعدة الفشل.

ثاني استنتاج مشروط أن الوضع المخفض أضاف تغطية في جميع الحالات المعروضة، لأنه يضيف افتراضاً إيجابياً لا تملكه المماريتان الأخريان: قدرة صالحة للخدمة عند انقطاع المسار. وهو استنتاج مبني في البنية الرياضية؛ ولكي يتحول إلى توصية ينبغي إثبات أن تلك القدرة حقيقية وأمنة ومقبولة لدى المستخدم والجهة التنظيمية، وأن تكلفتها والتزامات تسويتها لا تجعلها أسوأ من التأجيل المنظم.

ثالثاً، لا تستطيع زيادة عدد المسارات وحدها إزالة أثر الصدمة المشتركة التي تعطلها معاً. ففي شرط الاحتمال الافتراضي 50% بقيت تغطية B أقل من 86% حتى مع مسارين مستقلين في أحداثهما الفردية. ويعتمد حجم هذا العجز على مدة الصدمة الافتراضية: تغيير مددها سيغير النتيجة، وهو اختبار حساسيات تالي لم نفذه في هذه الطبعة.



متوسط تغطية الطلب في محاكاة اصطناعية مع تغير الصدمة المشتركة

الشكل 1 في الورقة البحثية — نسب متوسطة اصطناعية ضمن السيناريو الذي لا يتشارك فيه المساران أحداث فشلها الفردية. المصدر: تشغيل سيطرة هذه الدراسة فقط.

6.2 مقياس الذيل: النوافذ التي تعجز عن 90%

في شرط 20% صدمة مشتركة مع استقلال المسارين، بلغت نسبة النوافذ التي هبط متوسط تغطيتها عن 90% نحو 37.7% في A، و21.5% في B، و21.2% في C. وعند فرض مشاركة حدث الفشل نفسه صارت النسب 41.0% و37.8% على التوالي. يختلف هذا السؤال عن متوسط نسبة التغطية: قد يكون المتوسط متقارباً مع اختلاف واضح في عدد الفترات الرديئة. لكنه يظل حساباً اصطناعياً تابعاً لحد 90% المختار.

ولا تُقاس هنا خسارة المعاملة عند نهاية الفترة أو تعويضها اللاحق. لا تمثل هذه التجربة تراكم الطلب غير المنجز أو أولوية الحالات الفعلية أو توزيع الضرر بين الأسر والمناطق، لأن النموذج لم يتلقَ هذه المتغيرات. لذلك لا يتسع عنوان «دراسة محاكاة» إلى ادعاء أنه يحاكي الحياة الاقتصادية والاجتماعية كلها.

6.3 أين يكون الاستنتاج قابلاً للانقلاب؟

- إذا زادت كلفة قدرة B المفقودة في الظروف الطبيعية، فسيتغير الحد الفاصل الذي عنده تكون المنفعة المتوقعة من الاستقلال أعلى من الكلفة. ولم نفحص مجموعة واسعة من هذه الكلف بعد.
- إذا كانت أنماط أعطال البدائل أكثر ارتباطاً مما افترضناه، تتراجع منفعة التكرار؛ وإذا استُخدمت تقنيات وموردون مستقلون فعلاً فقد تتحسن.
- إذا أخفق الوضع المخفض في التحقق من هوية المستفيد أو سلامة البيانات، يمكن أن تنخفض حصته **المعتبرة** إلى الصفر أو يصبح تشغيله غير مقبول رغم قدرته التقنية.
- إذا ارتفع الطلب في وقت الخل، أو ظهر تراكم يستمر بعد عودة الموارد، قد تتغير تغطية الطلب والنتائج التشغيلية اللاحقة بصورة لا يلتقطها النموذج الحالي.
- إذا ساعد التكامل على اكتشاف العطل أو نقل الخدمة أسرع، فستنخفض مدة الفشل الفعلية، وقد ترتفع مرونته رغم وجود اعتماديات مشتركة. لا يقدر النموذج هذه المزية المؤسسية مباشرةً.

7. كيف يمكن اختبار الفرضية في خدمات حقيقية بالملكة؟

تتطلب الدراسة التطبيقية نقطة انطلاق متواضعة: لا نملك هنا سجلات تشغيلية مصرحاً بها لقياس استمرارية خدمات **سعودية محددة أثناء حرب أو تمرين تعاف**. كما أن مؤشرات الأداء الرقمية العامة لا تقدم تسلسلاً زمنياً تفصيلياً للطلب المعبر والانتقاط والتراكم والبدائل. لذلك ما يأتي بروتوكول مقترح، وليس وصفاً لبيانات جُمعت أو تجارب نُفذت.

7.1 وحدة التحليل والعينة

أفضل وحدة أولية هي **الخدمة الضرورية خلال نافذة زمنية وتعطل محدد**، مع إمكان المقارنة بين مواقع مجمعة أو مجموعات مؤسسية لا تُفصح عن سمات منشآت حساسة. تُختار الخدمات تبعاً لشروط الأهمية الزمنية والسلامة والإتاحة، وبوجود موافقة للوصول إلى بيانات مجمعة. قبل اختيار العدد النهائي للخدمات أو مدة الرصد، يلزم تقييم وجود سجلات كافية وطريقة عادلة لتحديد الفئات؛ ولا يجوز اختراع حجم عينة مناسب لمجرد أنه يبدو علمياً.

يمكن تصنيف الاعتماد الرقمي وصفيّاً إلى خمس فئات لا تكشف تفاصيل نقاط الضعف: **مزود حوسبة: اتصال، هوية وتفويض؛ مكوّن تسوية أو تكامل؛ قدرة بشرية أو تشغيلية**. الهدف تحديد ما إذا كانت الوظائف تعتمد على فئة واحدة من الموردين أو آلية استعادة أو مفتاح تنظيمي، دون نشر مسارات تشغيل أو عناوين أو تفاصيل الاستهداف. يُستكمل ذلك ببيانات مدة انخفاض الخدمة، لا بفهرس عتاد فقط.

7.2 مصفوفة الحد الأدنى للمتغيرات

المتغير المقترح	التعريف التشغيلي الذي يجب الموافقة عليه مسبقاً	طريقة حماية الصلاحية
نوع الخدمة	فئة وظيفية ذات مستوى حساسية وزمن سماح محددين	عدم خلط الخدمة العاجلة بخدمة يمكن تأجيلها دون ضرر مماثل.
حجم الطلب المرجعي	طلب متوقع مبرر ببيانات سابقة أو نموذج ذي عدم يقين	الإبلاغ عن فترات الطلب والمواسم والحالات التي لم يصل طلبها للنظام.
النتائج المؤهل	طلبات أنجزت بسلامة وصحة وتوقيت وتعريف نجاح ثابت	تدقيق العينة في بيانات الإنجاز والتميز بين الاستلام والالتزام.
الاعتماد المشترك	فئات الاعتمادات والموردين على مستوى مجمع	منع نشر نقطة أو مؤسسة يمكن استنتاج قابليتها للاستهداف.
الاستقلال البديل	نتيجة تمرين انتقال فعلي مصرح به، وزمن نقل الخدمة	التحقق من عمل النسخ والمفاتيح والإجراءات وليس مجرد وجودها.
التراكم	طلبات لم تُنجز ضمن الوقت المحدد أو تتطلب تسوية لاحقة	تسجيل عمر الطلبات، والأخطاء، والمرتجع، لا عدد الطلبات فقط.
التكلفة	تكلفة دورة حياة قدرة الاستمرار ونفقات حدث الاختبار	فصل التكلفة الثابتة عن الحديثة وعن الخسارة غير المحققة.
السياق المؤسسي	الموارد، وطبيعة المستخدم، ونضج الإدارة، وتعقيد الخدمة	إدراجها في تفسير الفروق قبل نسبها إلى التكامل.

في دراسة أولية يمكن حساب $C_{j,s,T}$ على مستوى الخدمة، وإرفاقه بسلسلة زمنية لعدد الطلبات المتراكمة وبنتيحة تمرين بديل محدد. يذكر التقرير ما إذا كانت البيانات تجريبية أو مصدرها اختبار داخلي أو حادثة فعلية مرصودة؛ فلا تُسوّى الأنواع في متوسط واحد لمجرد توفر ملف جداول شامل.

7.3 تعريف المفاضلة السببية

لنفترض أن القرار المقترح هو الانتقال من بنية تشغيل A إلى بنية B . السؤال السببي الحقيقي يتعلق بفرق نتيجة الخدمة لو عملت في ظروف قابلة للمقارنة تحت كل منهما. لا يمكن رصد النتيجةين المحتملتين للخدمة ذاتها في الصدمة ذاتها في الوقت ذاته؛ فنحتاج إلى تصميم استدلال.

إذا كانت التمارين الدفاعية مأذوناً بها وأمنة، يمكن مقارنة معماريات أو سيناريوهات استعادة تحت قواعد طلب موحدة وقياسات واضحة، مع منع أثر خبرة فريق الاختبار من التراكم بطريقة تجعل التصميم الأخير يبدو أفضل لمجرد أنه اختُبر بعد تدريب إضافي. ويمكن أن تساعد تصاميم التدرج في التبرني، أو المقارنات المتكررة، إذا كانت اختلافات المجموعات والوقت مفهومة؛ لكن ينبغي فحص الاتجاهات السابقة، والأحداث المتزامنة، وانتقال الأثر بين المؤسسات أو الموردين.

البديل الضعيف هو جمع درجات «التكامل» و«المرونة» من استبيان واحد ثم استنتاج السببية من ارتباط مرتفع. قد تُمنح المؤسسة ذات الميزانية الأعلى وفريق الخبراء الأقوى درجات أعلى في الاثنين. هذه **متغيرات مربكة (Confounders)** ينبغي توصيفها، وقد يصعب ضبط بعضها إحصائياً. وأحياناً لا تتوفر شروط تعرّف الأثر السببي (Causal Identification)؛ فيكون الوصف المقارن المنضبط أوفى بالحقيقة.

7.4 معيار يمكن أن يغيّر استنتاج الورقة

تضعف أطروحة التعريض المشترك ضمن الفئة التي نبحثها إذا أظهرت تمارين متكررة مستقلة في خدمة متكاملة ارتفاع تغطية الطلب الصالح وانخفاض زمن الاستعادة والتراكم عبر صدمات متنوعة، بعد ضبط بدائل الموردين والتمويل ونضج الإدارة. وتتقوى إذا كان انخفاض الوظائف المتزامن قابلاً للإسناد إلى اعتماد مشترك موثق، ثم تبين تجريبياً أن بدائل مستقلة تخفض تلك الخسارة دون أخطاء جديدة مؤثرة. وفي كلا الاتجاهين ينبغي تفسير التكاليف والمنافع والقيود، والتحقق مما إذا كان الأثر يبقى لدى فئات خدمة أخرى.

8. من المقياس إلى قرار اقتصادي واجتماعي

قد يدفع المسؤول المؤسسي مبلغاً متكرراً لاحتياط لا يحتاج إليه في معظم الأيام. ويبدو احتساب تلك الدفعة هدرًا إذا نظرنا إلى متوسط يوم طبيعي فقط. لكنه قد يصبح خياراً عقلانياً عندما يكون للانقطاع ثمن يتجاوز إصلاح الحاسوب: انتظار الدواء، أو تعذر إثبات معاملة، أو تأخر إنتاج مصنع، أو خطر عدم وصول اتصال عاجل. لا يجوز دمج تلك الأضرار في رقم نقدي واحد دون أساس أخلاقي ومنهجي، لكن لا ينبغي محوها أيضاً من الموازنة لأنها صعبة التسعير.

يمكن صياغة مقارنة اقتصادية تصويرية على صورة:

$$\text{Total expected lifecycle burden} = \text{routine operating cost} + \text{resilience investment} + \mathbb{E}[\text{permitted disruption loss}] + \text{tr}$$

ليس هذا تقديراً رقمياً للاقتصاد السعودي، ولا يوحي بأن كل منفعة إنسانية تقبل التسعير. كل حد يتطلب تعريفاً ومصادر، مع تجنب عد الخسارة نفسها مرتين حين تنتقل بين مورد ومتعامل. ويتغير القرار بحسب شدة الصدمات ومدتها، والتعويضات التأمينية، والامتثال التنظيمي، ووجود بدائل خارجية قابلة للاستخدام. وقد يبرر خياراً متواضعاً للاستمرار في خدمة، واستثماراً كبيراً في خدمة أخرى، وتأجيلاً منظماً في ثالثة.

من زاوية الاقتصاد الحاسوبي (Computational Economics)، ينبغي مقارنة وفورات التشغيل في الظروف الطبيعية بما قد يضيفه الاعتماد المشترك إلى شدة التدهور أو سرعته وتكلفته. وإذا كانت الخدمات تستطيع تبديل المسارات أو استعادة المعاملات قبل انتهاء نافذة ضررها، تصبح قيمة الاستقلال أكبر. وإذا كان الإنفاق المتكرر على المراكز الاحتياطية يقطع موارد أكثر نفعاً من دون تحسين قابل للقياس، يمكن أن تكون زيادة التعقيد غير مبررة. هذه العلاقة تحتاج بيانات حقيقية لتحديد أرقامها.

ويحمل الأمر بُعداً توزيعياً: معدل خدمة مرتفع لدى الأغلبية لا يضمن وصولها إلى شخص لا يستطيع استعمال قناة بديلة، أو إلى مشروع صغير تعجز موازنته عن شراء نسخة سحابية ثانية. لذا تقترح الورقة الفصل بين **المتوسط والعجز الشديد والإنصاف في الوصول** عند تقييم نتائج الاستمرار. أي اختيار للأوزان أو الحدود يُنشر مع أثر تغييره حتى لا يحجب المؤشر الواحد فئة متضررة.

9. سيناريوهات شرطية حتى 2035

هذه السيناريوهات ليست توقعات ذات احتمالات مقدرة؛ هي طرق لتعريف القرارات والمؤشرات التي ينبغي أن تتغير معها.

1. **مسار تحسين موثوقية التكامل:** تنفذ المؤسسات قياساً للخدمة عبر رحلة المستخدم، وتختبر الانتقال إلى بدائل مستقلة وتدير التراكم. الاختبار الملاحظ: نقصان مدة الأداء المنخفض، مع تكلفة متناسبة وتغطية أصلح للطلب.
2. **مسار تركّز الاعتماديات:** تكبر أعداد المستخدمين والمعاملات والتجهيزات، لكن يظل الانتقال الفعلي معتمداً على آليات محدودة ومتشابهة. الاختبار الملاحظ: تكرار إخفاق الانتقال في تمارين مختلفة، أو بقاء بيانات حصرًا ضمن حدود يصعب تجاوزها وقت صدمة واسعة.
3. **مسار تعلّم مؤسسي وصناعة متخصصة:** تتحول خبرات مراقبة الوظيفة والتعافي والتشغيل المخفض إلى منتجات قابلة للاختبار والبيع لمؤسسات عديدة. الاختبار الملاحظ: مبيعات فعلية وأداء موثق لدى عملاء مستقلين، مع إمكان إعادة قياس المنفعة.

ويجب أن يرتبط تحديث هذه السيناريوهات بتغيّر بيانات موثقة أو وقوع اختبار جديد. فتقرير صحفي عن تهديد عسكري محتمل يغيّر السيناريوهات التي تستحق الفحص، لكنه لا يكفي لتسجيل حدث وقع فعلاً أو إسناد احتمال

دقيق إلى موعد وقوعه. وبناء ثقة تنبؤية (Forecast Calibration) يحتاج إلى سجل توقعات صدر قبل النتيجة وقواعد حسم واضحة، وهو خارج الإنجاز الحالي لهذه الورقة.

10. قيود البحث وتقييم المعقولة

قيود المعلومات: الصفحات العامة للجهات الحكومية توفر مؤشرات انتشار ونضج وسوق لكنها لا تتيح هنا المكونات اللازمة لتحليل تجربة خدمة سعودية أثناء صدمة مركبة. وينبغي عدم تفسير عدم وجود البيانات في هذا العمل بأنه إثبات عدم وجودها لدى المؤسسات. أما واقعة المنشآت السحابية فقد وُصفت بمصادر أصلية ومهنية، لكن لا تتوافر لنا سجلات العملاء اللازمة لاستنتاج تكرار الخسارة أو توزيعها أو أثرها على وظائف سعودية.

قيود مصادر الحوادث: تصريحات مزودي الخدمة مصادر أساسية لما أعلنوه، وقد تبقى بعض الاستنتاجات بحاجة إلى تدقيق مستقل؛ كما أن خبر التوقف المتزامن لدى مؤسسة أخرى لا يكفي وحده لإثبات انتقال العطل إليها. ما ثبت عن أوبتس (Optus) في بيان المنظم لا يُحوّل حالات عدم وصول الاتصال إلى ادعاءات صحية فردية لم تثبت. وما ثبت عن الخدمة الصحية البريطانية يخص خدمات ومكاناً محددين.

قيود التجربة: الفئات والأوزان والاحتمالات ومدد الانقطاع والمعماريات ومقدار الوضع المخفض اصطناعية. لا توجد موارد مالية أو مراعاة قانونية مطبقة فعلياً، ولا نموذج ازدحام أو طلب يتحول بين الخدمات، ولا توزيع اجتماعي للضرر، ولا تعلم مؤسسي بعد كل حدث. كما أن افتراض وجود نافذة تعطل واحدة لكل مكُون داخل 48 ساعة لا يناسب بالضرورة الأزمات الممتدة أو الهجمات المتتابة. و«مشاركة الفشل» خليط احتمالي للتجربة وليست تقديراً لارتباط عالمي بين الموردين.

قيود مؤشرات الأداء: عدد ساعات العمل السليمة لا يساوي استمرار الحقوق تلقائياً؛ ولا تكفي تغطية الطلب ذاتها من دون صلاحية الطلب المرجعي، وآثار التأخير، وتوزيع الوصول. وتصبح المقارنة عبر خدمات مختلفة مضللة إذا تغير تعريف «الإنجاز السليم» أو طريقة احتساب الأعمال التي لم تصل إلى البوابة.

قيود الأدبيات: المراجعة انتقائية ومحددة الآليات. ورقتا الشبكات مختلفتان في افتراضاتهما، وما قد يبدو تناقضاً في النتيجة هو معلومة عن شرط تشغيل النظام. لم ننفذ مسحاً شاملاً لكل الأوراق المنشورة، أو استعراضاً منهجياً مصنفاً وفق قواعد الإبلاغ الخاصة بالمراجعات المنهجية.

ما تم التحقق منه عملياً: شُغل برنامج المحاكاة وأنتج ملف قيم وفرصيات ورسوم قابلة للقراءة. فُحصت اتساق أوزان الخدمات وحدود القدرة الاصطناعية الأساسية. هذا تحقق حسابي محدود، ولا يعني أن النموذج صادق لواقع خارجي أو أن المستقبل سيكون مثل عيناته.

11. برنامج الدراسة التالية المقترح

يمكن أن تتطور الورقة إلى عمل تجريبي مستقل عبر أربع خطوات مترابطة، شريطة الاتفاق على الوصول والتعريفات قبل الاطلاع على النتائج:

الخطوة الأولى: بروتوكول تعريف الخدمات. تُحصر مجموعة قابلة للقياس من وظائف ضرورية ومتباينة في حاجتها إلى التوقيت، وتُعرف جودة الإنجاز والتأخير المقبول. يوضع مسار لحماية الخصوصية وحجب بنية المنشآت الفردية؛ وينص البروتوكول على قواعد استبعاد البيانات غير الكافية ومعالجة القيم المفقودة قبل التحليل التأكيدي.

الخطوة الثانية: خريطة اعتماديات مجمعة وبدائل مُختبرة. يميز الباحثون بين اشتراك المورد والبرنامج والمنطقة والهوية ووسيلة الإصلاح. لا تُنشر خرائط تشغيلية تكشف منشآت حرجية؛ ويكتفى بجدول قطاعات أو بيانات مجهولة أو اصطناعية حيث يلزم. ويجري قياس زمن الانتقال إلى البديل وجودة الإنجاز بدلاً من عدّ البدائل المكتوبة في وثيقة المشتريات.

الخطوة الثالثة: مقارنة ذات فروض قابلة للتفنيد. تُنفذ تمارين مخولة تشمل تعطل مكُون منفرد، وتعطل عدة مكونات مستقلة، وحدثاً مفترضاً يصيب اعتماداً مشتركاً، مع تدرج متفق عليه في الشدة. تُحدد الوظائف الأكثر حساسية للوقت، ويتعقب البحث الطلب الذي فُقد أو تأخر أو أُنجز بوسيلة بديلة. ينبغي تسجيل قواعد احتساب التراكم والتعافي مسبقاً.

الخطوة الرابعة: تحليل اقتصادي وتكرار مستقل. تُحسب التكلفة على دورة الحياة؛ وتُقارن خيارات الاحتياط وتقليل الاعتماد مع استمرار الخدمة فعلاً. تستخدم مجموعة أخرى من الخدمات أو تمارين لاحقة لاختبار قابلية النقل. وتُبنى

توقعات كمية للمستقبل فقط بعد توافر سلسلة نتائج تسمح بالمقارنة خارج العينة وبقياس معايرة الثقة، لا من تجربة واحدة.

إذا كشفت الدراسة أن التكامل يرفع تغطية الطلب في الظروف العادية وخلال الصدمات، فهذه نتيجة ذات قيمة استراتيجية ينبغي نشرها. وإذا أظهرت أن اعتماداً مشتركاً معيناً يخلق عجزاً واسعاً، يُنشر التفسير بحدوده وبما يحفظ سلامة البنية التحتية. وتخضع البدائل المقترحة لاختبار مستقل حتى لا تتحول قصة صادمة إلى حجة جاهزة لشراء معدات لا نعرف فائدتها.

12. مخرجات قابلة لإعادة التشغيل وإتاحة البيانات

الأصول المنجزة ضمن هذه الحزمة هي:

- `analysis/reproduce.py`: المصدر الكامل لتوليد الأحداث الاصطناعية وحساب المقاييس وإنتاج الرسوم.
- `data/assumptions.json`: متغيرات السيناريو، والأوزان، والقيود، والبذور، وحدود التفسير.
- `data/simulation_results.csv`: 27 صف نتيجة عبر 9 مجموعات من الافتراضات و3 خيارات بنية.
- `figures/figure_01_dependency_map.svg` و `png`: تصور علاقات مجردة؛ لا يمثل منشأة محددة.
- `figures/figure_02_coverage_sensitivity.svg` و `png`: المتوسطات المصنفة وخطأ المحاكاة لمجموعة شروط.
- `analysis/requirements.txt`: قائمة المكتبات اللازمة لتشغيل المثال.

لا توجد في ملفات البيانات أي سجلات سعودية أو بيانات مستخدمين أو خرائط منشآت. المصدر الوحيد لأرقام المحاكاة هو مولد السيناريو الاصطناعي الموضح؛ ويمكن استعادتها بتشغيل البرنامج وفق تعليمات `analysis/README.md`. أما المصادر الواقعية فهي مراجع عامة تحتاج إلى زيارة إصداراتها المؤرخة عند إعادة استخدامها، مع تسجيل أي تصحيح لاحق.

13. خلاصة علمية ومسألة مفتوحة

تقدم الأدلة المنشورة سبباً قوياً لفحص الاعتماديات المشتركة في الدولة الرقمية، وتقدم أدلة نظرية مقابلة على إمكان أن يكون التكامل مدخلاً إلى متانة أعلى حين يخلق بدائل مستقلة. وتدل الحوادث الموثقة على أن الخدمة والبيانات والتراكم قد تتبع أزمدة استعادة مختلفة. أما محاكائنا المنفذة فبرهنت داخل نموذجها فقط أن نتيجة المقارنة تتغير حين تنتقل من بديل مستقل إلى بديل يشاركه سبب الفشل، وأن استمراراً مخفضاً صالحاً قد يستعيد جزءاً من الطلب لكنه لا يعالج كل إخفاق.

الاستنتاج العملي القابل للاختبار: إذا أرادت دولة رقمية معرفة مدى تقدمها تحت الضغط، فلتقيس بصورة مجمعة مقدار الطلب الضروري الذي يظل يُخدم بأمان، وسرعة العودة إلى مستوى معلوم، وثمن الخيارات التي تتيح ذلك، مع إعلان ما لا تستطيع الأرقام الحالية إثباته. وتبقى المسألة المفتوحة للبحث التالي: **أي نوع من الاستقلال التشغيلي يعطي أفضل حماية لكل نوع من الخدمات، في حدود التكلفة والحقوق وقيود الموقع والموارد؟**

المراجع وقواعد الإسناد

هذه المصادر مؤرخة عند الناشر، وروابطها هي مرجع مراجعة الادعاءات. بعض الصفحات الحكومية الديناميكية أمكن التحقق من محتواها عبر فهرسة البحث أو إصدارات رسمية مرتبطة بها؛ وقد سُجل ذلك في `source_register.csv`. ويجب عدم الخلط بين إثبات صدور التقرير وإثبات كل تفسير ممكن لرقمه.

1. [S01 Communications, Space and Technology Commission \(CST\), Saudi Internet-2025](https://www.cst.gov.sa/en/knowledge-center/reports/saudi-internet-2025), 2026. <https://www.cst.gov.sa/en/knowledge-center/reports/saudi-internet-2025>.

2. [S02 Digital Government Authority \(DGA\), The Digital Experience Maturity Index for 2025 Rises to 86.71%, August 2025](https://dga.gov.sa/en/news/rise-in-index-for-2025-rises-to-86.71%,-august-2025). <https://dga.gov.sa/en/news/rise-in-index-for-2025-rises-to-86.71%,-august-2025>.

- S03** National Cybersecurity Authority (NCA), *Key Economic Indicators in the Cybersecurity Sector 2026*, 14 October 2026, figures for 2025.
<https://nca.gov.sa/en/news/report-on-key-economic-indicators-in-the-cybersecurity-sector-in-the-kingdom-2026>
- S04** Amazon Web Services, *AWS Health Dashboard: Service Health and Historical Incident Updates*, March–October 2026; consult event history as revised. <https://health.aws.amazon.com/health/status>
- S05** Reuters, *Amazon cloud unit's data centers in UAE, Bahrain damaged in drone strikes*, published 2 March 2026, updated 3 March 2026.
<https://www.reuters.com/world/middle-east/amazon-cloud-unit-flags-issues-bahrain-uae-data-centers-amid-iran-strikes-2026-03-02>
- S06** Amazon Staff, *AWS Bahrain Region disrupted by ongoing conflict*, 24 March 2026. <https://www.aboutamazon.com/news/aws-bahrain-region-middle-east-conflict>
- S07** Reuters, *Amazon's AWS is unable to restore access to Bahrain, one UAE cloud data zone after war damage*, 15 September 2026.
<https://www.reuters.com/world/middle-east/amazons-aws-is-unable-restore-access-bahrain-one-uae-cloud-data-zone-after-war-2026-09-15>
- S08** CrowdStrike, *To Our Customers and Partners*, 19 July 2024. 8
<https://www.crowdstrike.com/en-us/blog/to-our-customers-and-partners>
- S09** NHS Shropshire, Telford and Wrekin, *Update on IT outage – EMIS up and running but some delays expected*, 22 July 2024.
<https://www.shropshiretelfordandwrekin.nhs.uk/news/update-on-it-outage-emis-up-and-running-but-some-delays-expected>
- S10** Australian Communications and Media Authority (ACMA), *Optus pays \$12 million penalty for Triple Zero outage*, 8 November 2024, referring to the 8 November 2023 outage. <https://www.acma.gov.au/articles/2024-11/optus-pays-12-million-penalty-triple-zero-outage>
- S11** Buldyrev, S. V., Parshani, R., Paul, G., Stanley, H. E., and Havlin, S., *Catastrophic Cascade of Failures in Interdependent Networks*, *Nature* 464 (2010), 1025–1028. DOI: 10.1038/nature08932.
<https://www.nature.com/articles/nature08932>
- S12** Radicchi, F., and Bianconi, G., *Redundant Interdependencies Boost the Robustness of Multiplex Networks*, *Physical Review X* 7 (2017), 011013. DOI: 10.1103/PhysRevX.7.011013.
<https://journals.aps.org/prx/abstract/10.1103/PhysRevX.7.011013>
- S13** National Institute of Standards and Technology (NIST), *Developing Cyber-Resilient Systems: A Systems Security Engineering Approach*, SP 800-160 Vol. 2 Rev. 1, December 2021. DOI: 10.6028/NIST.SP.800-160v2r1.
<https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/160/v2/r1/final>
- S14** Perrow, C., *Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies*, updated edition, Princeton University Press, 1999. <https://www.jstor.org/stable/j.ctt7srgf>
- S15** Simon, H. A., *The Architecture of Complexity*, *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106 (1962), 467–482; bibliographic and scholarly discussion at Santa Fe Institute Press. <https://www.sfi.press.org/21-simon-1962>
- S16** Reuters, *Iran has detailed plans to hit Gulf undersea cables if war resumes, officials say*, 23 October 2026; statements are conditional and unverified as future actions. <https://www.reuters.com/world/middle-east/iran-has-detailed-plans-hit-gulf-undersea-cables-if-war-resumes-officials-say-2026-10-23>