



ورقة بحثية استكشافية

التاريخ التحريري: 23 أكتوبر 2026

القيمة التنبؤية المشروطة للإضاءة الليلية الفضائية في الاقتصاد السعودي

ورقة منهجية وتجربة حسابية اصطناعية قابلة لإعادة التشغيل

Conditional Predictive Value of Satellite Nighttime Lights for Saudi Economic Nowcasting: A Critical Evidence Review and Reproducible Synthetic Experiment

تصنيف العمل: ورقة بحثية هجينة (Hybrid Working Paper): مراجعة أدلة نقدية محددة النطاق (Critical Evidence Review) وتجربة حسابية اصطناعية نُفذت فعليًا (Executed Synthetic Computational Experiment) مع بروتوكول تحقق ميداني مقترح للسعودية (Saudi Empirical Validation Protocol). ليست ورقة قياس تجريبي للنتائج السعودية، ولا مراجعة منهجية شاملة (Systematic Review)، ولا دراسة محكمة.

الحالة: مكتمل في حدوده المعلنة؛ الدراسة السعودية على بيانات فعلية لم تُنفذ.

الملخص بالعربية

نبحث ما إذا كانت مؤشرات الإضاءة الليلية المستخرجة من الأقمار الصناعية (Satellite Nighttime Lights; NTL) تضيف قدرة تنبؤية مستقلة إلى التقديرات الآتية للنشاط الاقتصادي السعودي (Economic Nowcasting)، مقارنة بمرجع يستخدم المعلومات الاقتصادية التقليدية المتاحة وقت إصدار التقدير. تنطلق الدراسة من التمييز بين قياس الإشعاع (Radiance Measurement)، والاستدلال على نشاط اجتماعي أو استخدام طاقة، ثم التنبؤ بمتغير اقتصادي رسمي. راجعنا الأدلة الأساسية في الاقتصاد الفضائي وخصائص منتجات «بلاك ماربل» (NASA Black Marble)، والبحث العالمي المنشور عام 2026 حول التقلب الفعلي للإضاءة، وحالة

موسمية سعودية وثقتها وكالة الفضاء الأمريكية. وضعنا إطاراً يفرض التسلسل الزمني الصارم لإتاحة المعلومات (Point-in-Time Information Set) ويحترم فجوات الرصد، وأخطاء القياس، وتغير العلاقة بين الضوء والاقتصاد (Concept Drift).

أجرينا محاكاة مولدة حاسوبياً من 180 شهراً بنموذج اقتصادي اصطناعي مُعلن وبذرة ثابتة 20261026، مع انتقال مصطنع في سياسة أو تقنية الإنارة في الشهر 116. في الجزء السابق للتحويل، انخفض متوسط الخطأ المطلق (MAE) من 0.7116 في النموذج الاقتصادي المرجعي إلى 0.5896 عند إضافة الضوء. وفي الجزء اللاحق، ارتفع الخطأ من 0.7840 إلى 0.8620 عند إضافة الضوء دون تمثيل تغير نظام الإنارة، بينما حقق نموذج يضم مؤشراً معلناً لذلك التحويل 0.6370. هذه نتائج شرطية لتوليد واحد؛ لا تعني أن الضوء يعزز أو يضعف تقديرات الاقتصاد السعودي فعلاً. الاستنتاج المنهجي هو أن قيمة المؤشر الفضائي يجب اختبارها بالزيادة على مرجع اقتصادي، وعلى فترات إصدار حقيقية، وعبر تغيرات أنماط الإضاءة، مع فصل هدف التنبؤ عن الظاهرة الفيزيائية المرصودة. نقترح في الختام دراسة سعودية تعتمد بيانات فضائية مفتوحة وبيانات اقتصادية رسمية ومواسم فعلية، وتعلن قواعد يمكن أن تفند الفرضية الرئيسية.

كلمات مفتاحية: التقدير الآتي (Nowcasting)، الإضاءة الليلية (Nighttime Lights)، سلاسل الإصدارات التاريخية (Data Vintages)، تحوّل التوزيع (Distribution Shift)، «فيرس» (VIIRS)، الاستشعار الفضائي (Earth Observation)، اقتصاد سعودي غير نفطي (Saudi Non-oil Economy)، تسرب البيانات (Data Leakage).

English abstract

This hybrid working paper asks whether satellite-derived nighttime lights (NTL) offer incremental real-time predictive value for Saudi economic nowcasting beyond a credible conventional-data baseline. We separate measured radiance, inferred human activity, and formal economic targets; review core evidence on NTL measurement error, seasonal cultural light signatures, and high-frequency illumination change; and specify data-vintage and product-quality constraints. We implement a reproducible **wholly synthetic** 180-month simulation, with a declared lighting-regime change at synthetic month 116 and a two-month target-release lag. Before this change, adding NTL improves mean absolute error from 0.7116 to 0.5896 index points. After the change, naive NTL inclusion increases MAE from 0.7840 to 0.8620, while a model incorporating an observed lighting-policy indicator yields 0.6370. These conditional model outputs are not estimates of Saudi activity and

cannot establish real-world model superiority. We provide a falsifiable Saudi empirical protocol, point-in-time release rules, alternative explanations, and reproducibility files.

Keywords: economic nowcasting; nighttime lights; VIIRS; Saudi Arabia; real-time backtesting; proxy validity; concept drift; measurement error; synthetic experiment

1. السؤال الذي يجب ألا تجيب عنه الصورة وحدها

السؤال الرئيس (Research Question): هل ينخفض خطأ تقدير النشاط الاقتصادي السعودي غير المنشور بعد، بصورة قابلة للتكرار خارج العينة، عندما نضيف معلومات الاستشعار الفضائي الليلية إلى ما كان متاحًا بالفعل من المؤشرات التقليدية وقت إصدار التقدير؟ لا يطلب السؤال إثبات أن الصور تحتوي معلومات عن البشر؛ تلك قضية معروفة في حدودها. إنه يسأل عن الإضافة التنبؤية المتحققة في حالة ذات خصائص جغرافية ومؤسسية وزمنية محددة.

الوحدة المقترحة للدراسة الميدانية (Unit of Analysis) هي منطقة سعودية $\times$ شهر أو ربع سنة، بحسب توفر متغير هدف مستقل ومنشور بصورة مجمعة متسقة. إذا كان متاح فقط الناتج المحلي الوطني الفصلي، تُصبح وحدة التحليل السعودية الوطنية $\times$ الربع، ولا يجوز مضاعفة عدد المشاهدات بادعاء أن مئات آلاف البكسلات هي مئات آلاف قيم الناتج المستقلة. يمكن استخدام البكسلات في بناء متغيرات تفسيرية؛ لكنها لا تُنتج وحدها وحدات تحقق مستقلة للهدف الكلي.

تتناول الدراسة الفضاء والاستشعار وصدق المعرفة الاقتصادية. تقارن بين ثلاث أطروحات قابلة للتعارض: (أ) الإشارات الفضائية تضيف معلومات جديدة عن النشاط لم تلتقطها البيانات التقليدية؛ (ب) معلوماتها تكرر مكلف لما تقدمه السلاسل الأسرع أو أفضل منها؛ (ج) الإضافة تتغير علامتها عندما تتحول أنماط الإنارة أو استخدام الطاقة أو بنية الاقتصاد. وجود هذه الاحتمالات ليس تصويًا نظريًا بينها؛ الاختبار الخارجي وحده يقيّد النتيجة.

الفرضية البديلة (Alternative Hypothesis; H1) هي أن متوسط الخطأ خارج العينة عند إضافة المتغير الفضائي أدنى من خطأ النموذج المرجعي، على فترة ومساحة مقيّدتين مسبقًا. الفرضية الصفرية العملية (Operational Null; H0) هي أن الفرق غير مستقر أو صغير بما لا يبرر كلفة البيانات والمعالجة. والتفسير المضاد الأقوى: تتحسن النتيجة ظاهريًا بسبب تغير العينات، أو استخدام منتج عدّل لاحقًا، أو اختلاف بين مقاييس النشاط، أو لأن مرجع المقارنة اختير ضعيفًا بلا وجه حق.

2. مراجعة الأدلة: ما الذي أثبتته الدراسات أصلاً؟

في بحث هندرسون (Henderson) وستوريغارد (Storeygard) ووايل (Weil) لعام 2012، اقترح الباحثون جمع بيانات النشاط الليلي مع إحصاءات الدخل عبر نموذج أخطاء قياس (Measurement Error Model)، يتطلب فرضاً عن العلاقة بين خطأ الإضاءة وخطأ الحسابات القومية. أظهرت الورقة إمكان الاستفادة من إشارات مختلفة لتقدير النشاط في سياقات يصعب فيها القياس الرسمي المكاني، وخصوصاً تطبيقات في أفريقيا جنوب الصحراء. إن نقل النتيجة إلى السعودية الحديثة يحتاج تبريراً صريحاً؛ جودة النظام الإحصائي، وتركيب النفط والخدمات، وشدة الإضاءة، وكثافة العمل غير المرئي بصرياً ليست ثابتة بين الأماكن S04.

توسّع بحث «قياس النمو الفصلي من الفضاء» الصادر لدى البنك الدولي (World Bank) في مشكلة عدم يقين الأضواء، مستخدماً عدد المشاهدات الليلية الصالحة والعوامل المكانية والزمنية لفهم خطأ القياس. في إحدى مواصفات الانحدار، لم يكن الارتباط الزمني بين التغيير في الإضاءة والنتائج دالاً إحصائياً عند استخدام تأثيرات ثابتة للدولة دون ضبط أثر الزمن، بينما تحسنت العلاقة عند إدراج المؤثرات الزمنية. هذه ليست مقارنة تنبؤ مستقبلية خاصة بالسعودية؛ إنها تحذير تجريبي من تحويل معامل ارتباط في لوحة دولية إلى قدرة مستمرة على استشعار التغيير الشهري المحلي S05.

في دراسة المغرب خلال جائحة «كوفيد 19» (COVID-19)، أوضحت مادة بحثية نشرها البنك الدولي أن الضوء الخام المشوب بالإشارات المؤقتة لم يظهر علاقة تنبؤية مهمة بالنتائج في فترة الاختبار، بينما أدى تنظيف المشاهدات إلى علاقة أعلى، وظهر هبوط حاد في الإضاءة الليلية بعد فرض القيود عام 2020. من الضروري قراءة هذه النتائج من مصدرها وضمن التعريف المحلي للتنقية ومراحل الحجر والإبلاغ؛ فهي مثال على أن هندسة استخراج الإشارة تُغيّر الاستنتاج، وليست معامل تحويل صالحاً لاقتصاد آخر S12.

في المقابل، درس رومان (Román) وستوكس (Stokes) الإضاءة الموسمية في مدن سعودية ومصرية وتركية وغيرها، ووجدوا تغييراً مرتبطاً بالسلوك الاجتماعي والديني. وذكرت وكالة الفضاء الأمريكية (NASA) أن مدناً سعودية مثل الرياض وجدة كانت أكثر سطوعاً خلال رمضان في بعض القياسات بنحو 60-100%. هذه شهادة على تأثير **المؤشر بأنماط اجتماعية**، لا قياس لحجم الإنفاق الرمضاني ولا برهان على انفصال الضوء عن النشاط الاقتصادي تماماً؛ فقد يتحرك الاثنان معاً بدرجات مختلفة S01S02.

في أبريل 2026 قدم لي (Li) وزملاؤه تقديراً عالمياً عالي التواتر لتغير الإضاءة الاصطناعية (Artificial Light At Night; ALAN) بين 2014-2022، مع زيادات إجمالية في مناطق وانخفاضات مضادة في أخرى. والآليات المذكورة تشمل توسع النشاط الإنساني، وتغير تقنيات الإنارة، وتدابير تقليل الاستهلاك، وأزمات وحروباً. النتيجة ذات شأن خاص لبحثنا لأنها تدل على **عدم ثبات معاملات الربط المفترضة** بين الضوء والنشاط عبر الزمن، حتى لو ظل الحساس مُعياراً فيزيائياً S08.

يعرّف دليل وكالة الفضاء لمنتجات «بلاك ماربل» (Black Marble) في مجموعتها الثانية (Collection 2.0) منتجات الملاحظة والتصحيح وجودة التقدير، بما فيها أن بعض القيم اليومية مُستكملة من مشاهدات سابقة لا مشاهدة جديدة لليوم نفسه. لهذا يجب استخدام طبقات آخر مشاهدة عالية الجودة وراية جودة البكسل، بدل معاملة القيم المملوءة زمنيًا (Gap-Filled Values) جميعًا كمعلومات جديدة مستمرة. تحمل البيانات الجيدة تفسيرًا لما لم يُشاهد بقدر ما تحمل قياسًا لما شُاهد S06S07.

حد البحث المكتبي: لم نجر فحصًا منهجيًا شاملاً وفق معيار «بريزما» (PRISMA 2020)، ولم نحسب حجمًا موحدًا لأثر NTL على دقة تقدير المملكة. اخترنا مراجع تأسيسية ومصدر تقنية أصلي ودراستين تطبيقيتين وحالة اجتماعية موثقة تخدم سؤال القياس. لم نعثر على اختبار منشور نتحقق منه يجمع كافة شروط تصميمنا المقترح للسعودية حتى تاريخ القطع؛ عدم العثور ليس إثباتًا للغياب العلمي.

3. من القياس إلى الاستدلال: نموذج ذو ثلاث طبقات

لنفصل متغيرات لا يجوز خلطها: $Y_{r,t}$ قيمة النشاط الاقتصادي المستهدفة في المنطقة r والفترة t ، كما ستعرّفها الإحصاءات الرسمية لاحقًا؛ $A_{r,t}$ النشاط البشري أو الطاقة أو ممارسة اجتماعية قد تكون ذات صلة؛ و $L_{r,t}^{obs}$ الإشعاع الليلي الذي أنتجه خط القياس الفضائي بعد المعالجة. يجوز أن يكون الضوء مرتبطًا بالاقتصاد من خلال النشاط البشري، لكنه يستجيب أيضًا لتقنيات الإنارة T ، والتقويم C ، وجودة المشاهدة Q ، والخصائص المكانية G ، ومصادر ضوء غير مرتبطة مباشرة بالهدف F :

$$L_{r,t}^{obs} = f(A_{r,t}, T_{r,t}, C_{r,t}, G_r, F_{r,t}, Q_{r,t}) + \epsilon_{r,t}^L$$

ولا يستلزم ذلك أن يكون $A_{r,t}$ دالة كاملة في الناتج؛ لأن أنواع النشاط لا تتحول إلى قيمة مضافة بالمعامل نفسه. يمكن لمصنع زيادة إنتاجه دون إنارة جديدة، ويمكن لمجتمع إطالة ساعات السهر دون مضاعفة الأجور. في نموذج عملي، نريد اختبار:

$$\hat{Y}_{r,t}^B = g_B(I_{r,t;\tau}^B), \quad \hat{Y}_{r,t}^S = g_S(I_{r,t;\tau}^B, L_{r,t;\tau}^{available}, Q_{r,t}, Z_{r,t})$$

حيث τ لحظة إصدار التقدير؛ $\mathcal{I}^B$ مجموعة المتغيرات التقليدية المتاحة عند τ ؛ و Z عوامل تغير نمط الإنارة إن كانت مشاهدتها ممكنة وقتئذ. لا يجوز أن تحتوي $L^{available}$ منتجًا نُشر بعد τ ، مهما كانت الصور المؤرشفة اليوم تحمل تاريخ الالتقاط القديم.

آليات التحيز المتوقع

1. **الخلط السببي (Confounding):** تؤثر مواسم الزيارة في الضوء وفي بعض أنواع الإنفاق، لكن معاملات التأثير تختلف وقد تتحرك عادات الإنارة مستقلة عن الإنفاق.

2. **تغير التقنية (Technology Shift):** يمكن للصمام (LED) أو سياسة تعقيم أن تغيّر الإشعاع المرصود دون تغيير مكافئ في الخدمة أو الدخل.

3. **المتغير البديل (Proxy Mismatch):** صور الإنارة ملائمة أحياناً لموضع العمران أو توفر الكهرباء، وأضعف استدلالاً على إنتاج الخدمات المالية والبرمجية.

4. **الانتقاء بسبب جودة الرصد (Observation Selection):** لا تتوزع الليالي الصالحة عشوائياً دائماً؛ السحب والتوقيت والفصول ترتبط بالجغرافيا وحياة المدينة.

5. **ارتباط البكسلات (Spatial Dependence):** اختلاف ملايين البكسلات لا يعني ملايين مشاهدات اقتصادية مستقلة؛ السلوك والطقس والإضاءة تنتشر عبر مناطق مترابطة.

6. **تلوث تقييم الزمن (Vintage Contamination):** استخدام النسخ النهائية المنقحة من ناتج أو قمر، التي لم تكن متاحة تاريخياً، يغير تعريف التجربة من تنبؤ آني إلى تفسير بأثر رجعي.

4. تصميم التجربة الحسابية المنفذة

4.1 لماذا استخدمنا بيانات اصطناعية؟

الهدف العلمي هنا اختبار إمكان انقلاب الفائدة التنبؤية عندما يتغير مصدر ضوء مستقل عن النشاط، مع حماية خط الفصل بين المعلومة السابقة والمعلومة اللاحقة. لم تُنزل في هذا التكاليف سلسلة (VNP46A2) مغطية للسعودية، ولم تجمع سلسلة حقيقية لتواريخ إصدارات الناتج حسب النسخ التاريخية، ولم تُنفذ مقارنة فعلية لاقتصاد السعودية. بناء أرقام سعودية من دون ذلك سيكون اختلاقاً. بدلاً منه ننشر تجربة صغيرة ذات افتراضات مكشوفة لكي يرى القارئ ما الذي تستطيع الأداة الحسابية إثباته وما الذي تعجز عنه.

4.2 توليد السلاسل وإدخال التحول

أنشأنا $N = 180$ فترة شهرية متتابعة، بأرقام اصطناعية بلا تواريخ أحداث حقيقية. البذرة العشوائية ثابتة: 20261026، باستخدام مُولّد الأرقام في مكتبة «نامباي» (NumPy Random Generator). يولد النشاط الحقيقي الكامن y_t من علاقة انحدار ذاتي (Autoregressive Process) موسمية:

$$y_t = 0.56y_{t-1} + 1.00\epsilon_t^0 + 0.52 \sin(2\pi t/12), \quad y_0 = 0$$

ثم نصنع مؤشراً تقليدياً متاحاً في الشهر الجاري:

$$x_t = y_t + 1.55\epsilon_t^1$$

ونصنع مؤشراً فضائياً افتراضياً قبل معاملة الجودة:

$$\ell_t = 0.95y_t + 0.98\epsilon_t^2 + 0.60 \sin[2\pi(t+2)/12] - 4 \mathbf{1}_{t \geq 116}$$

تُسحب ϵ من توزيعات طبيعية معيارية مستقلة بحسب ترتيب الشيفرة المثبت. تُولد راية جودة ثنائية اصطناعية $q_t = 1(\epsilon_t^3 > -0.55)$ ، ويضاف في القراءات ذات الجودة المنخفضة تشويش $0.90\epsilon_t^4$. ليست هذه الراية هي (NASA QA) ولا تمثل نسب السحب الفعلية؛ الغرض بيان ضرورة الفصل بين جودة الملاحظة والعلاقة الاقتصادية. ولا يعني مقدار -4 أن استبدال (LED) يخفض ضوء السعودية بهذا المقدار؛ إنه معامل تجربة اختيار لإحداث تغيير بنيوي يمكن قياس أثره.

4.3 قواعد المقارنة ومنع معرفة المستقبل

عند إصدار التقدير للشهر الاصطناعي t ، تُتاح قيم النشاط الرسمية فقط حتى $t - 2$ ؛ لذلك تنتهي بيانات التدريب عند $t - 2$ ، مهما عرفنا اليوم قيمة $t - 1$ في الملف المولد. تستخدم كل تجربة انحدار المربعات الصغرى (Ordinary Least Squares; OLS) بنافذة تدريب متزايدة، ويبدأ التقييم عند الشهر $t = 65$ وينتهي عند 178 حتى تستطيع نسخة «التسرب» غير الصالحة قراءة $t + 1$ لأغراض كشف التلوث التجريبي. تشترك جميع النماذج في إشارة ثابتة، و y_{t-2}, x_t . الاختلاف الوحيد في الإشارات الإضافية:

النموذج	المدخلات فوق المرجع المشترك	صلاحية المعلومات وقت الإصدار
المرجع التقليدي (Baseline)	لا شيء	صالح ضمن الافتراضات
إضافة الضوء البسيطة (Satellite)	ℓ_t^{obs}	صالح ضمن الافتراضات
الضوء مع التحول (Regime-adjusted)	ℓ_t^{obs} ومؤشر وقوع التحول $1(t \geq 116)$	صالح، بشرط توافر خبر تحول الإنارة في وقته
اختبار تسرب مقصود (Leakage)	$0.65\ell_t^{obs} + 0.35\ell_{t+1}^{obs}$	غير صالح؛ يستعمل مشاهدة مستقبلية

لا يعرف النموذج الثالث حجم الأثر -4 عند بداية التحول، بل يتعلم معامل المتغير الجديد عندما يصبح في نافذة التدريب ما يكفي من مشاهدات ما بعد التحول. تعلن الشيفرة مصدر كل متغير، ونوعه، وتاريخ إتاحتها المفترض. مخرجات الحلقة كلها في الملف `data/synthetic_monthly_predictions.csv`، ومنه حُسبت مقاييس الأقسام التالية.

5. النتائج المحسوبة فعلاً

حُسب متوسط الخطأ المطلق (Mean Absolute Error; MAE) وجذر متوسط مربع الخطأ (Root Mean Squared Error; RMSE) والانحياز المتوسط (Mean Bias) بطرح القيمة الاصطناعية الحقيقية من كل تقدير. لم تُحسب فترات ثقة (Confidence Intervals) أو اختبارات دلالة (Statistical Significance Tests)، لأن تصميم تجربة توليد واحدة لا يسند استنتاجاً عن مجتمع بيانات خارج تلك المحاكاة. الجدول التالي يورد القيم المحسوبة من شيفرة التنفيذ، مدوّرة إلى أربع منازل بوحدة نقطة في مؤشر اصطناعي.

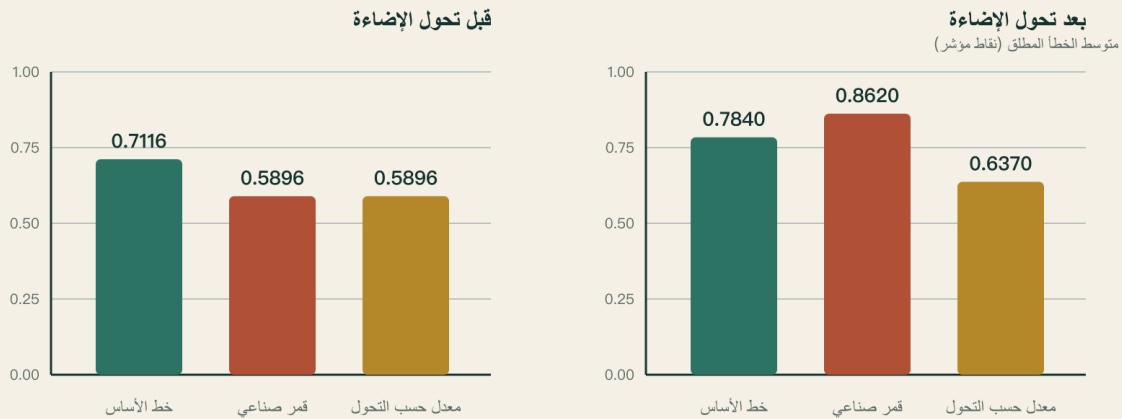
الانحياز	RMSE	MAE	عدد التقديرات	النموذج	الفترة
0.0087+	0.9227	0.7116	51	تقليدي	ما قبل التحول
0.0525-	0.7266	0.5896	51	الضوء البسيط	ما قبل التحول
0.0525-	0.7266	0.5896	51	الضوء مع التحول	ما قبل التحول
0.0295-	0.9488	0.7840	63	تقليدي	ما بعد التحول
0.5693-	1.0987	0.8620	63	الضوء البسيط	ما بعد التحول
0.1177+	0.8018	0.6370	63	الضوء مع التحول	ما بعد التحول
0.0124-	0.9372	0.7516	114	تقليدي	جميع الفترات
0.3381-	0.9504	0.7402	114	الضوء البسيط	جميع الفترات
0.0416+	0.7691	0.6158	114	الضوء مع التحول	جميع الفترات
0.3132-	0.9700	0.7570	114	نموذج تسرب غير صالح	جميع الفترات

توضح هذه النتائج ثلاث آليات مختلفة. أولاً، يحوي المؤشر الفضائي الاصطناعي إشارة فعلية عن y_t ، ولهذا يكون مفيداً في مرحلة ثبات العلاقة. ثانياً، يحدث انحراف منظم في القراءة بعد خفض الضوء بينما لا تتغير المعادلة المولدة للنشاط؛ لذلك يتسبب الاعتماد الساذج في تقديرات أدنى من النشاط بمعدل أكبر، وينخفض الأداء رغم وجود العلاقة السابقة. ثالثاً، يمكن أن يسمح تحديد وقوع التحول واستيعابه للنموذج بالتكيف. لكن المؤشر الثنائي المضاف هنا يعرف وقوع التحول، وهي معلومة قد يصعب جمعها شاملةً في الواقع؛ ومعرفة وقوعه ليست معرفة حجم أثره، ولا تضمن تصحيح جميع أنواع التحول الطيفي أو الاجتماعي.

استناداً إلى النتائج، فإن حساب التحسن النسبي في (MAE) عن المرجع في فترة ما قبل التحول يعطي $0.7116 / (0.7116 - 0.5896)$ أي نحو **17.1%** انخفاضاً في الخطأ. وبعد التحول، ترفع إضافة الضوء البسيطة الخطأ بنسبة $0.7840 / (0.7840 - 0.8620)$ أي نحو **9.9%**، بينما يقل خطأ النموذج الموسوم بحدث التحول بنحو $0.7840 / (0.7840 - 0.6370)$ أي **18.8%**. هذه نسب لتجربة مولدة عمداً؛ لا يجوز نقلها إلى تقدير الأداء المحتمل في المملكة.

اختبار رجعي اصطناعي قبل التحول وبعده

متوسط الخطأ المطلق للنشاط الكامن الاصطناعي؛ قيمة أقل أفضل



محاكاة اصطناعية بالكامل؛ لا توجد ملاحظات سعودية أو دقة تنبؤية مقاسة.

نتائج الاختبار الاصطناعي على مرحلتين

شكل R1. متوسط الخطأ المطلق في المرحلتين، من الملف الحسابي المباشر؛ لا يوجد قياس فضائي أو اقتصادي سعودي وراء الأعمدة.

ما الذي لم يثبتته هذا التشغيل؟ لم يثبت أن الإضاءة قادرة على التنبؤ بالنتائج السعودية، أو أن أكثر النماذج تعقيداً أفضل، أو أن أثر تبديل المصباح ذو مقدار محدد في العالم الحقيقي. لم تُنفذ محاكاة مونت كارلو (Monte Carlo) متعددة البذور لقياس تشتت النتيجة؛ وغياها يمنع التعميم حتى على جميع السلاسل التي تولدها المعادلات نفسها. كما أن توليد مؤشر تقليدي x_t مرتبط مباشرةً بالنشاط الحقيقي أفضل بكثير من بعض البيانات المتاحة فعلياً، وربما أسوأ من بعضها الآخر. لهذا نعالج الاختبار كبرهان حسابي على إمكان انقلاب حكم المقارنة لا كدليل على درجة انقلاب محددة أو على تفوق منتج بحثي مطروح في الأسواق.

والنسخة غير الصالحة التي استخدمت جزءاً من ملاحظة $t + 1$ لم تظهر هنا أفضل من المرجع؛ لكنها تظل مثلاً على تجربة باطلة إذا سُميت تنبؤاً في اللحظة t . لو نجحت رقمياً، لبقى الحكم المنهجي نفسه. لا تتحول معلومة مستقبلية إلى حق مشروع للنموذج بسبب أنها تحسن النتيجة، ولا تُصبح أقل خطورة لمجرد أن هذا المثال الحسابي لم يكافئها.

6. كيف نحول هذا الاختبار إلى تجربة سعودية حقيقية؟

ينبغي إنجاز بروتوكول سعودي قبل طلب نتيجة وطنية. الوحدة والإطار المقترحان يمكن أن يكونا «المنطقة × الشهر» إذا توافرت سلسلة نشاط حقيقية منشورة بهذا المستوى، أو «المملكة × الربع» إذا كان الهدف الناتج المحلي الحقيقي؛ ولا يجوز الخلط بين مستويات التجميع أو قياس سوق القطاع من إنارة المدينة كلها. نقترح ثلاثة مستويات هدف

متدرجة بحسب الإتاحة: مؤشر نشاط إنتاجي مجمع لمنطقة أو قطاع، ومؤشر التجارة والنقل الكلي في مجموعة منافذ، ثم مؤشر اقتصادي وطني من الحسابات الرسمية. لكل هدف نموذج مستقل ونافذة إصدار تخصصه.

6.1 الوصول إلى بيانات الإضاءة

المصدر الأول منتجات وكالة الفضاء (NASA) الليلية. ينبغي حفظ اسم المنتج الكامل، والنسخة (Collection)، والمستشعر والمنصة المدارية، وفترة المشهد، والتغطية، ودقة الخلية، والقنوات، ومعلومات الجودة. في منتج (VNP46A2) تُقرأ طبقة الإشعاع الليلي المصحح (DNB BRDF-Corrected NTL) إلى جانب نسختها المستكملة، وطبقة أحدث استرجاع عالي الجودة، ورايات الجودة الإلزامية والسحب والثلج. ويمكن استعمال المنتج الشهري (VNP46A3) بعد التأكد من معنى المركب الشهري وجودة عدد الليالي، لا باعتباره متوسطًا خامًا مكافئًا لأي تركيب مستقل نعهده من المنتج اليومي S06S07.

مخاطر تاريخ الإتاحة أساسية. فدليل المنتج يشير إلى مسار استجابة قريب من الزمن الحقيقي (Near-Real-Time; NRT) ومخزن علمي مؤرشف (Science-Quality Archive) بآجال وتجهيزات مختلفة. لذلك يجب أن يميز الباحث بين منتج سريع محدود الاستعمال، ومنتج علمي أصبح متاحًا لاحقًا. إذا كان التقدير أصدر صباح يوم محدد، فلا تجوز الاستفادة من صيغة لم تدخل نظام البيانات إلا بعد أيام أو أعيدت معالجتها بعد شهور. ويجب إيداع سجل تاريخ إتاحة لكل ملف في `data_vintage_manifest` لا مجرد تاريخ الرصد. بعض واجهات التحميل الحديثة لا تكشف تلقائيًا تاريخ ظهور النسخة التاريخية الأولى؛ وفي هذه الحال ينبغي وسم الاختبار بأنه شبه أي بدل ادعاء محاكاة نشر حقيقية.

6.2 اختيار الخطأ المناسب للضوء

قبل جمع البكسلات، يجب تحديد سياسة التعامل مع (Cloud Mask)، ومع القيم السالبة أو الناقصة، ومع المشاعل والحرائق والسفن، ومع انعكاس القمر ومصادر الضوء العابر. لا يجوز تحويل البكسل الغائب إلى صفر مضيء أو إلى صفر اقتصادي؛ الغياب غير الانطفاء. ويمكن تقديم نسبة تغطية الرصد الجيد ضمن كل منطقة وشهر بجوار متغير الضوء نفسه، وتحديد الحد الأدنى المقبول للتغطية قبل تقييم الهدف، مع اختبار حساسية المعيار. تغيير العتبة بعد رؤية النتائج لإنتاج معامل أكثر جمالاً سيكون تحيزًا تحليليًا (Researcher Degrees of Freedom).

ينبغي فصل أقنعة المناطق العمرانية والمساحات المائية عن الحدود الجغرافية، ومقارنة مجموع الإضاءة (Sum of Radiance) بمتوسط السطوع على مساحة محددة (Mean Radiance) وبمؤشر اتساع المساحة المضيئة (Lit Area Share). الأول حساس لحجم المنطقة، والثاني لتغير نوع البنية والإنارة، والثالث لقرار العتبة. لا يجوز تعميم «مؤشر الضوء» على أنها كمية واحدة تتصرف بالمعنى نفسه. وبسبب حركة المناطق المضيئة عبر الحدود، يجب اختبار حساسية النتائج لحواف التقسيم والمسافة العازلة (Boundary Buffer).

6.3 المرجع الاقتصادي الذي يصعب التغلب عليه

لا بد من اختيار مرجع يستخدم بيانات كانت متاحة عند النشر: بعض الحسابات الرسمية المتأخرة مع مؤشرات التجارة والإنتاج المنشورة في ذلك الموعد، وبحسب صلاحية الترخيص، بيانات معاملات مجمعة أو مؤشرات طلب ذات توقيت معلن. يجب منع إدخال بيانات خاصة لمؤسسة دون تصريح ونسبتها إلى مصدر عام. كما يجب بناء مرجع ساذج مشروع: استمرار آخر معدل منشور (Last-Observation Baseline)، وعامل موسمي مضبوط حتى نهاية التدريب، ثم مرجع اقتصادي غني بالمتغيرات التقليدية. الادعاء بأن القمر تفوق على نموذج ضعيف دون أن يتفوق على المرجع الأقوى لا يثبت فائدة استثمارية إضافية.

عند وجود هدف فصلي يُنتج من متغيرات شهرية، ينبغي التوثيق الدقيق لطريقة جمع الأشهر (Temporal Aggregation) ومنع إعطاء النموذج معرفة بالمجموعة كلها عندما يكون الربع الجاري قد مضى منه شهر واحد. ويمكن إصدار ثلاثة تقديرات داخل كل ربع في مواعيد محددة مسبقاً؛ لكل إصدار مجموعة معلومات مختلفة، ويُقارن الأداء فقط مع الإصدارات ذات الموعد نفسه. أما الهدف الأولي الرسمي (Flash GDP) والهدف المنقح لاحقاً (Revised GDP) فيمثلان نسختين مختلفتين من المتغير المستهدف؛ يلزم تعيين أيهما نريد توقعه، ومتى نسمح باستخدام الثاني للتحقق بعد النشر.

6.4 التقويم السعودي جزء من تعريف النموذج

يدخل رمضان والحج والأعياد ضمن الاختبارات السعودية لأن أدلة أصلية سابقة أظهرت ارتباط أنماط الإضاءة بتلك المواسم في المنطقة S02S01. يحتاج التصميم تاريخ بداية ونهاية الموسم بحسب التقويم الصحيح لكل سنة، لا دالة موسمية ميلادية جامدة. لكن ليس من المقبول تسمية كل أثر موسمي «ضوءاً يجب حذفها». فقد يكون نشاط الضيافة والنقل والبيع التجاري محرّكاً حقيقياً في الهدف المقاس. لذا نقترح مقارنة ثلاث صيغ: مؤشر ضوء خام موثوق بجودته؛ مؤشر مع ضبط مواسم التقويم؛ ومؤشر مع متغير تفاعل (Interaction Term) بين الموسم ووظيفة المنطقة. تبقى النتيجة رهينة الأداء خارج العينة لكل فئة هدف.

وجود خبر رسمي عن 1,707,301 حاجاً في 2026 وبيانات دول القدوم لا يثبت مقدار إشعاع مكة في ذلك الموسم. إنه يتيح تعريف فترة اختبار تربط بيانات حركة الناس الرسمية بنطاقات رصد مناسبة. وعندما لا تتوفر سلسلة إنارة صالحة متجانسة أو مؤشرات أعمال أرضية للتحقق، يجب إعلان قصور الاختبار؛ لا يجوز إنتاج عدد الفوتونات من عدد الحجاج بالحدس S03.

7. خطة القياس والاختبار المقترحة

ندعو إلى بروتوكول استباقي يثبت ما يلي قبل فتح نافذة الاختبار الأخيرة:

عنصر	قرار منهجي مبدئي	ما يبطله أو يقوّده
الهدف	تغير نشاط غير نفطي مقاس رسميًا، منطقة × شهر حيث تسمح البيانات	غياب قياس موثوق بهذا التفصيل يفرض الانتقال إلى ربع/مملكة
ميزة الأرقام	إضاءة (VNP46A2/A3) مصححة ومقننة رايات الجودة	فجوات جغرافية/زمنية أو تأخر نشر غير متوافق مع تقدير الحاضر
المرجع	قيمة تأخرت رسميًا + مؤشرات اعتيادية متاحة آنذاك	لا يُستبدل بنموذج أضعف لمجرد رفع الفارق
الانقسام	نوافذ تدريب متزايدة ثم اختبار على أزمنة تالية	أي مزج عشوائي للأشهر يحول النتيجة إلى اختبار غير زمني
خطأ رئيس	متوسط الخطأ المطلق (MAE) في وحدة الهدف	مقارنة أرقام لها وحدات أو تغطيات مختلفة
خطأ ثانوي	جذر متوسط مربعات الخطأ (RMSE) والانحياز وحدود عدم اليقين	تقييم متوسط واحد يخفي أخطاء المناطق أو الانقلابات
معيّار نجاح	انخفاض مستقر مسبق التعريف بعد تكلفة الإشارة، مع مقارنة تقويمية ومكانية	نجاح عام واحد أو اختيار أفضل إعداد بعد رؤيته
اختبار مضاد	فترات تغير إنارة موثقة ومواسم مختلفة ومناطق منخفضة الصلة بالضوء	عدم وجود بيانات وصفية كافٍ يوسع عدم اليقين

يُحدّد مقدار التحسن الذي يجعل تكلفة المنتج مجدية قبل التقييم، بمشاركة مستخدمي التقدير الحقيقيين؛ فهو تابع لنوع القرار وحساسيته لا لميل الباحث إلى رقم معين. ويمكن تقديم **منحنى قيمة المعلومات** (Value of Information Curve) يربط انخفاض الخطأ بتكلفة المعالجة وتأخر الإتاحة وحساسية القرار، إن توفرت أسعار حقيقية وقرارات محددة. لم نحسب منحنى كهذا في هذه الورقة لغياب المدخلات المالية التشغيلية.

نقترح التحقق من الاستقرار عبر فترات متعددة، منها سنوات توسع الاقتصاد الرقمي وسنوات تغير أسعار الطاقة أو الإنارة، ولكن دون افتراض مسبق لأثرها في الضوء. وللتعامل مع عدم تجانس المدن، يمكن بناء نموذج تجميعي هرمي (Hierarchical Model) يتيح اختلاف معاملات الارتباط بين المناطق، مع عقوبة ضد الإفراط في تركيب الضجيج (Regularization) ومجموعات اختبار إقليمية مستقلة قدر الإمكان. وعند جمع بيانات حساسة، يلزم الاكتفاء بنشاط مجمع مرخص دون إظهار منشآت حيوية أو مسارات تشغيلية.

8. اختبارات المتانة والتفسير البديل

في المرحلة الميدانية، نعتبر تجارب الإبطال الآتية إلزامية للدعاء الاقتصادي، لكنها لم تُنفذ هنا على بيانات سعودية:

1. اختبار الإضافة (Feature Ablation): مقارنة نموذج الضوء بمثيله بعد إزالة الضوء، مع ثبات كل سائر الشروط، ثم اختبار الإضافات المرتبطة بالجودة والتقييم منفردة.
2. اختبار الفجوات (Gap-Fill Robustness): استبعاد الليالي المستكملة أو تقليل وزنها، ومقارنة النتائج بجميع المشاهدات؛ وفصل ضجيج السحب الفعلي عن تغير الضوء.
3. اختبار الطيف والإنارة (Lighting Technology Sensitivity): إدراج مواقع وأوقات تغير المصابيح المعروفة عندما تتوفر، واختبار ما إن كان المعامل ينحرف بعدها.

4. اختبار التنظيم المكاني (Spatial Holdout): منع تداول بكسلات متجاورة أو مناطق مترابطة بين التدريب والاختبار عندما تكون المهمة نقل نموذج من منطقة إلى أخرى.
5. اختبار النسخة الزمنية (Historical Vintage Replay): إعادة تكوين حزمة البيانات المتاحة وقت كل تقدير، دون صور مصححة أو أرقام اقتصادية نُشرت بعد الموعد.
6. اختبار الهدف البديل (Target Sensitivity): الفصل بين القيمة المضافة غير النفطية والمبيعات أو التدفقات اللوجستية، وتحديد مواضع وصول الإشارة إلى هدف وعدم وصولها إلى آخر.
7. اختبار التباس الاتجاه (Placebo Period): استعمال فترة سابقة لحدث تغيير إنارة مزعوم، والتحقق من عدم ظهور «أثر» قبل وقوعه إذا كانت طريقة التقدير تفترض ذلك.
8. اختبار إدخال الاستشعار الراداري (SAR Addition): مقارنة إشارة تغيير عمراني أو مينائي مجمعة من الرادار وفق مواصفات الاستشعار بمعلومات الضوء والبيانات الأرضية، من دون افتراض أن ارتداد الرادار يساوي نشاطاً مالياً.

لا تُحسب ثقة النموذج من «ثقة» دالة توليد لغة طبيعية. إذا أُصدر توزيعاً احتمالياً، يختبر تغطية فتراته على المشاهدات المستقبلية وفروق الأداء بين المناطق، لا مجرد عرضه في تدرج لوني. ويمكن بناء نظام تنبيه إلى تغيير العلاقة (Concept Drift Alert) يعتمد اختبارات تغير بواقي التنبؤ مع الزمن؛ لكنه يحتاج إطار إنذار يتقبل التنبيه الكاذب، وتصميماً يفرق بين تغير الهدف وتغير المستشعر وتغير سلوك الضوء.

9. حدود الصلاحية والنقل إلى القرار

يوجد في هذه الورقة نوعان مختلفان من الأدلة: نتائج منشورة لآخرين حول دور الأضواء وآليات تغييرها، ونتائج محاكاة نفذناها وفق توليد مختار. الأول لا يقرر مسبقاً أداء مرصد سعودي بعد 2026، والثاني لا يصف حقيقةً جغرافية أو اقتصادية. لا يوجد هنا اختبار سعودي فعلي للنموذج، أو قياس دقة لقمر فوق مدينة معينة، أو تقدير لحجم اقتصاد غير رسمي. التزام هذه الحدود شرط ليبقى المشروع قابلاً للبحث المستقبلي بدل أن يغلق السؤال بخطابة تقنية.

هناك كذلك مشكلة السببية. قد نستطيع تحسين توقع إحصاء اقتصادي بإضافة الضوء من دون أن يكون الضوء «سبباً» لارتفاع الناتج أو انخفاضه. والتنبؤ الصحيح لا يصلح تلقائياً لتقييم تدخل مثل مشروع تبديل الإنارة. فإذا أطفأت مدينة جزءاً من لوحاتها ونمت قيمة أعمالها، لم يُنتج الإطفاء النمو بمجرد تزامنه؛ وإذا أضاءت مدينة جديدة وتغير الناتج، يلزم البحث عن الاستثمار والإنتاج والسكان وغيرها من العوامل قبل نسبة السبب. ينبغي فصل نماذج التقدير (Prediction) عن نماذج أثر التدخل (Causal Evaluation) في ملفات ونقاشات مستقلة.

مسألة البيانات الاقتصادية الرسمية بدورها ليست ثنائية بين «الحقيقة» و«الخطأ». قد يعدل جهاز الإحصاء قيمةً أولية عندما تصل معلومات أحدث أو يتغير توزيع النشاط بين القطاعات؛ ويجب أن يحدد الباحث هل يتنبأ بالنسخة الأولية عند نشرها أم بآخر نسخة منقحة. كلاهما هدف صالح لأغراض مختلفة؛ لكن اختبار به معلومات من مستقبل الإصدار ثم

وصفه بأنه توقع مسبق فعل غير صالح. ويظهر هذا بوضوح في كون الهيئة العامة للإحصاء (GASTAT) نشرت بالفعل تقديرًا سريعًا للربع الثاني 2026 في 30 يوليو S10. هذا التاريخ ليس تفصيلًا في الهامش، بل يدخل في معادلة المعلومات الممكنة.

من منظور استراتيجية الاستثمار، لا نوصي في هذه المرحلة بإنشاء مؤشر رسمي جديد للناتج اعتمادًا على الضوء. نوصي بإنشاء خط اختبار قابل للتكرار وبه توصيف واضح للهدف ونسخة المدخلات وتكلفة كل تحديث، قبل اتخاذ قرار شراء بيانات إضافية أو ربط التقدير بقرار كبير. إذا ثبت بعد عدة فترات أن الإشارات العامة المجانية كافية، فلا معنى تجاريًا للترقية إلى صور خاصة لمجرد أنها أعلى دقة. وإذا ثبت أنها لا ترى النشاط غير النفطي المطلوب، فالأفضل توجيه البحث إلى مؤشرات أكثر قربًا من الوظيفة الاقتصادية محل السؤال.

10. التجربة الفاصلة التالية

نقترح إجراء اختبار تاريخي بصيغة تسجيل استباقي (Prospective Pre-registered-like Protocol)، من غير ادعاء أن البروتوكول الحالي مسجل رسميًا، يأخذ عشرات الإصدارات الفعلية لبيانات مناطق سعودية بمدد سابقة كافية. يسمح أسماء المنتجات والمناطق ومواسم التقويم وقواعد الجودة قبل مشاهدة نتائج الفترة المخصصة للاختبار. يُنشأ مخزن بيانات حسب نقطة الإصدار، مع صورة ثابتة لكل حزمة، ويحفظ هدفها الرسمي عندما يصدر. يختبر فريق غير قائم على تحسين الميزات من ناحية مستقلة قابلية إعادة إنتاج ملفات التقدير والأخطاء.

سيكون الدليل المؤيد: تحسن متكرر على مرجع اقتصادي قوي، محفوظ عبر أنظمة إنارة ومواسم ومناطق، ويمكن حساب فائدته قبل صدور المؤشر الرسمي. وسيكون الدليل المعارض: اختفاء التحسن بعد ضبط التقويم أو بعد منع تسرب البيانات، أو فشل أثره في مناطق الخدمات، أو اضطراب الصلة بعد تغيير التقنية، أو كلفة إتاحة تجعل التقدير يصل بعد الرقم الرسمي. حينئذ يجب تعديل مجال الاستخدام إلى رصد عمراني أو خدماتي يناسب طبيعة الضوء، أو إيقاف مسار التنبؤ الاقتصادي منه.

النتيجة الاستراتيجية هنا ليست أن على السعودية بناء «قمر يقرأ الناتج». بل أن تستطيع تطوير علم تشخيص الإشارات البديلة (Alternative Signal Diagnostics): برامج تستوعب جودة المستشعر، وثقافة المكان، وتاريخ إتاحة البيانات، وقوة المرجع الاقتصادي؛ ثم ترفض بثقة مدعاة قيمة لا تقدمها الصورة. مثل هذه القدرة قابلة نظريًا للتحويل إلى صناعة برمجية بحثية تخدم أسواقًا أخرى، لكن فرضية تصديرها تتطلب بدورها عملاء وتجارب مستقلة وعائدًا تجاريًا موثقًا، لا إعلانًا مسبقًا.

11. إمكانية الإعادة، البيانات، وملفات العمل

البرنامج `analysis/reproduce.py` يولد السلاسل وعدد المشاهدات ونتائج النماذج كلها دون تحميل ملفات خارجية، باستخدام «نامباي» (NumPy) وحده. يكتب `data/simulation_protocol.json` بما فيه البذرة وأحجام الضجيج وتاريخ التحويل المصطنع ووصف النموذج المعيب. يكتب

data/synthetic_monthly_predictions.csv لكل فترة ونموذج مع التقدير والهدف والخطأ وراية صلاحية الزمن، ثم يجمع [data/backtest_metrics.csv](#) في ثلاث نوافذ. الرسم figure_02_regime_backtest مشتق من جدول المقاييس دون إعادة إدخال قيم يدوية. أما figure_01_global_light_balance فيعرض قيمًا منشورة في دراسة لي (Li) وزملائه [S08](#)، وليس منتجًا اشتق من تنزيل صور الأقمار في هذه الورقة.

يشمل التسليم مصنف جداول (XLSX) يفتح الجدول الأساسي، ومؤشرات الجودة، والنتائج الحسابية، وبعض العلاقات المشتقة بصيغ قابلة للفحص. لا يُعد المصنف بديلًا عن برنامج توليد السلاسل أو عن اختبار اقتصاد فعلي؛ نسخته الحسابية مرجع reproducibility إضافي. يمكن إعادة الحساب بعد تثبيت الاعتماديات الموجودة في analysis/requirements.txt وتشغيل python analysis/reproduce.py من داخل ملف المقالة. لا توجد بيانات سعودية سرية أو بيانات أصلية للمتغير الاقتصادي في الحزمة.

12. سجل النتائج والفرضيات غير المحسومة

نتيجة محسوبة R-01: في المحاكاة قبل تغير الإنارة، ساعدت إضافة الضوء على تقليل خطأ نموذج مرجعي محدد. **نطاقها:** توليد واحد وبذرة واحدة ومعاملات معلنة. **سبب عدم نقلها إلى السعودية:** غياب بيانات نشاط وضوء فعلية وسلسلة إصدارات تاريخية.

نتيجة محسوبة R-02: بعد خفض الضوء اصطناعيًا دون تغيير معادلة النشاط، أصبح الضوء الساذج أسوأ من المرجع نفسه في متوسط الخطأ المطلق. **نطاقها:** نوع تحول مختار ومعامل مؤثر مقداره أربع وحدات.

نتيجة محسوبة R-03: يمكن أن يتعلم نموذج يُخبر بوقوع التحول معاملاً يساعده على تجنب جزء من تدهور الأداء. **نطاقها:** وجود متغير حدث معروف في وقته؛ لا ضمن توفره أو اكتماله عالميًا.

مشاهدة منشورة E-01: تباين عالمي حقيقي في أسباب ازدياد وانخفاض الإضاءة خلال 2014–2022 وفق [S08 \(Nature\)](#). **ما لا يثبتته:** اتجاه النمو السعودي أو دقة التقدير من المدار.

مشاهدة منشورة E-02: اختلاف إضاءة مدن سعودية خلال رمضان في دراسة [S02S01 \(NASA\)](#). **ما لا يثبتته:** معدل تغير الناتج أو الاستهلاك الإجمالي أو مستوى الرفاه.

فرضية عمل H-01: قد تتحسن تقديرات بعض الأنشطة المكانية السعودية إذا أُدخلت إشارات ضوئية عالية الجودة بعد ضبط التقويم وتغير الإنارة. **دليل إسقاطها:** فشل التحسن المستقر على مرجع بيانات أرضية قوي في فترات اختبار متقدمة حقيقية.

فرضية عمل H-02: قد تكون الأدلة الفضائية مفيدة لمتابعة تغيرات مكانية أو تشغيلية حتى عندما تكون ضعيفة في توقع الناتج الوطني. **دليل إسقاطها في استعمال معين:** عدم تحقق صلاحية بديل القياس لذلك الهدف المحدد بعد ربطه بمشاهدات مستقلة.

هذه السجلات ليست توقعات احتمالية، وليس فيها احتمال رقمي للسيناريوهات. لم تسجل الورقة تنبؤًا مؤرخًا بنتيجة اقتصادية مستقبلية؛ حين تبدأ مرحلة المرصد الفعلية يجب حفظ تاريخ كل تنبؤ وقاعدة تسويته ونسخة معلوماته قبل وقوع النتيجة.

13. المراجع العلمية والوثائق الأساسية

- **S04** Henderson, J. Vernon; Storeygard, Adam; Weil, David N. (2012). *Measuring Economic Growth from Outer Space*. American Economic Review 102(2), 994–1028. <https://doi.org/10.1257/aer.102.2.994>
- **S05** World Bank. (2022). *Measuring Quarterly Economic Growth from Outer Space*. Research paper. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/692011641480491613/pdf/Measuring-Quarterly-Economic-Growth-from-Outer-Space.pdf>
- **S12** World Bank Development Impact. (2021). *Tracking Economic Activity in Response to the COVID-19 Crisis Using Night Lights: The Case of Morocco*. <https://blogs.worldbank.org/en/developmenttalk/tracking-economic-activity-response-covid-19-crisis-using-night-lights-case-morocco>
- **S02** Román, Miguel O.; Stokes, Eleanor C. (2015). *Holidays in Lights: Tracking Cultural Patterns in Demand for Energy Services*. Earth's Future 3, 182–205. <https://doi.org/10.1002/2014EF000285>
- **S01** NASA Earth Observatory. (2015). *The Lights of Ramadan and Eid al-Fitr*. <https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/the-lights-of-ramadan-and-eid-al-fitr-84923>
- **S08** Li, Tian et al. (2026). *Satellite Imagery Reveals Increasing Volatility in Human Night-time Activity*. Nature 652, 379–386. <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10260-w>
- **S06** NASA Goddard Space Flight Center. *Black Marble Product*. <https://viirsland.gsfc.nasa.gov/Products/NASA/BlackMarble.html>
- **S07** NASA. (October 2024). *Black Marble User Guide, Collection 2.0*. https://viirsland.gsfc.nasa.gov/PDF/BlackMarbleUserGuide_Collection2.0.pdf
- **S03** Saudi Press Agency. (2026). *GASTAT: Total Number of Pilgrims for Hajj 2026 Reaches 1,707,301*. <https://www.spa.gov.sa/en/N2599493>

• **S10** General Authority for Statistics. (30 July 2026). *GDP: Flash Estimate Q2/2026*.

<https://www.stats.gov.sa/en/search-publication?>

[category=publication&delta=4&q=الناتج+المحلي+الإجمالي](https://www.stats.gov.sa/en/search-publication?category=publication&delta=4&q=الناتج+المحلي+الإجمالي)

• **S11** European Space Agency. *Sentinel-1: Radar Vision for Copernicus*.

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1

• **S09** Bará, Salvador; Castro-Torres, José J. (2024). *Diverging Evolution of Light*

Pollution Indicators: Can the Globe at Night and VIIRS-DNB Measurements Be

Reconciled? Author manuscript. <https://arxiv.org/abs/2409.13111>

بيان أخلاقي وإجرائي: النص مؤلف آلياً بمسؤولية تحريرية موثقة. لم يشارك في الدراسة باحثون فعليون من مؤسسات مذكورة، ولم تُجر مقابلات أو محاكاة صدمات حقيقية للسعودية، ولم تصل الدراسة إلى بيانات تشغيلية حساسة أو تخضع لتحكيم خارجي. يظل سجل الأدلة والمراجع والشيفرة مقدماً لفحص قابلية إعادة الإنتاج وتصحيح الأخطاء عند العثور عليها.