



المقالة الاستراتيجية

التاريخ التحريري: 23 أكتوبر 2026

حين يزداد الضوء ويختفي الاقتصاد من الصورة

هل تستطيع الأقمار الصناعية قراءة الاقتصاد السعودي قبل إحصاءاته؟

The Satellite's Economic Illusion: What Nighttime Lights Can—and Cannot—Reveal About Saudi Arabia

استهلال: في رمضان يمكن للمدينة أن تزيد إضاءتها دون أن تكون قد ضاعفت إنتاجيتها. وبين صورة فضائية تلتقط أثر الحياة ورقم اقتصادي يحاول قياس قيمتها، ينشأ علم جديد بقدر ما ينشأ سوء فهم جديد. تبدأ هذه المقالة من أثر سعودي موثق، وتصل إلى اختبار حسابي صُمم خصيصًا للسؤال: متى تمنحنا الأقمار الصناعية معلومة لم نكن نملكها، ومتى تزيد ثقتنا في حكاية خاطئة؟

1. ليلة ترى فيها الآلة عيدًا اقتصاديًا

قبل أن تصبح النماذج اللغوية الكبيرة (Large Language Models; LLMs) حديث كل مؤتمر، شغل باحثين في وكالة الفضاء الأمريكية (National Aeronautics and Space Administration; NASA) سؤالًا متواضعًا ظاهريًا: لماذا ترتفع إضاءة مدنٍ بعينها في أسابيع محددة من السنة؟ كانوا يتابعون بيانات أداة الاستشعار «فيرس» (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite; VIIRS) المحمولة على القمر «سومي إن بي بي» (Suomi National Polar-orbiting Partnership; Suomi NPP)، ويقارنون ما يراه الحساس بجدول اجتماعي لا يوجد داخل القمر نفسه.

في سنة 2014 عرضت الوكالة نتيجة لافتة: مدن سعودية، منها الرياض وجدة، أضاعت خلال شهر رمضان بزيادة تراوحت تقريبًا بين 60% و100% في التحليل الذي أجراه الفريق؛ ونُشرت الدراسة العلمية الموسعة عام 2015. ولم تكن السعودية استثناءً تشغيليًا غامضًا؛ فقد وجد الباحثان ميغيل رومان (Miguel O. Román) وإليانور ستوكس

(Eleanor C. Stokes) أن أنماط الضوء الموسمية ترتبط بالممارسة الاجتماعية والدينية في مدن الشرق الأوسط، كما ترتبط باحتفالات الميلاد ورأس السنة في أجزاء من الولايات المتحدة. الدراسة لا تقول إن الناتج المحلي تضاعف. إنها تقول شيئاً أدق وأجمل: **للمدينة عادات يمكن أن تترك توقيعها الفوتوني في السماء S01S02**.

افترض، على سبيل الاختبار الفكري فحسب، أن مؤسسة أنفقت ثروةً على منظومة تنبؤ اقتصادية تلتهم صور الأقمار الصناعية (Satellite Imagery)، وتلاحظ أن الإضاءة ارتفعت 80%. إذا لم تعرف شيئاً عن التقويم الاجتماعي، وطبيعة الإنارة، وتغير أوقات النشاط، فربما تكتب تقريراً شديد الثقة عن طفرة في الإنتاج. سيبدو التقرير حديثاً، وستكون ألوان لوحته جذابة، وقد يرفق به مخطط فيه عدة كسور عشرية. ما لن نخبرنا به تلك الكسور أن النموذج فهم المصاييح جيداً ونسي الناس الذين أشعلوها.

والإنصاف أن رمضان يحمل نشاطاً اقتصادياً حقيقياً أيضاً. فالمطاعم والأسواق والنقل والضيافة قد تتغير أنماط عملها؛ لكن نسبة زيادة الضوء لا تساوي نسبة زيادة قيمة إنتاج تلك الأنشطة. التمييز العلمي ليس بين «حدث اقتصادي» و«حدث ثقافي»، بل بين **ظاهرة مقاسة وكمية مستنتجة** تتطلب علاقة إحصائية قابلة للاختبار. وفي مجتمع يتوزع فيه النشاط بين أوقات النهار والليل، قد يصبح تجاهل الثقافة خطأً في هندسة البيانات قبل أن يكون نقصاً في الموسوعية.

في موسم حج 2026، أفادت الهيئة العامة للإحصاء (General Authority for Statistics; GASTAT)، بحسب ما نقلته وكالة الأنباء السعودية (Saudi Press Agency; SPA)، ببلوغ الحجاج **1,707,301** حاجاً، منهم **1,546,655** قدموا من خارج المملكة **S03**. هذا عدد رسمي عن حركة بشرية ضخمة في مدة قصيرة؛ لكنه لا يبيح لنا استنتاج مقدار تغير إضاءة مكة أو الاقتصاد منها دون معالجة بيانات تلك الأيام فعلاً. هكذا يقدم لنا الواقع السعودي تجربة طبيعية محتملة (Natural Experiment): متغير اجتماعي موثق، ومكان وزمان معلومان، وفرضية فضائية يمكن اختبارها، لا نتيجة يجوز إعلانها مقدماً.

2. حين كان القمر يصلح خطأ الإحصاء

لفهم جاذبية الفكرة، نرجع إلى فيرنون هندرسون (J. Vernon Henderson) وآدم ستوريغارد (Adam Storeygard) وديفيد وايل (David N. Weil). في بحثهم المنشور عام 2012 في المجلة الاقتصادية الأمريكية (American Economic Review) بعنوان «قياس النمو الاقتصادي من الفضاء» (Measuring Economic Growth from Outer Space)، اقترحوا الجمع بين مؤشرين لا ينتميان إلى العائلة المؤسسية نفسها: الحسابات القومية (National Accounts) وإضاءة الأرض ليلاً (Nighttime Lights). أحدهما ثمرة منظومة بشرية تجمع الإنتاج والأسعار والمعاملات؛ والآخر نتيجة حساس يراقب إشعاعاً ضوئياً في نطاقات طيفية معينة. ليست قيمة الفكرة أن الثاني صادق دائماً والأول مشتبه به؛ قيمتها أنهما يرتكبان **أنواعاً مختلفة من الأخطاء S04** أحياناً.

إذا كان بلدٌ ضعيفًا في مسوح المنشآت وحصر النشاط غير الرسمي، فقد تضيف الصورة ملاحظة مستقلة عن المكان الذي يتمدد فيه العمران أو تزداد فيه الكهرباء. لكن الاستقلال هنا فرضية منهجية لها شروط. فقد تتداخل أخطاء الإحصاء والأقمار، وقد يؤثر النزاع في كليهما، وقد يستجيب الضوء لسياسة إنارة لا تخلق قيمة إنتاجية جديدة. لذلك لم تكن الورقة ترخيصًا لاستبدال الناتج المحلي بصورة ليلية؛ كانت بحثًا في كيفية تحسين القياس عندما نعرف خصائص الخطأ وحدوده.

ثم جاء عمل لاحق بعنوان «قياس النمو الاقتصادي الفصلي من الفضاء» (Measuring Quarterly Economic Growth from Outer Space) نُشر لدى البنك الدولي (World Bank). درس الباحثون بيانات بين الربع الثاني من 2013 والربع الرابع من 2020 عبر مجموعات اقتصادية مختلفة، ووجدوا أن الارتباط الزمني المباشر بين تغير الأضواء وتغير الناتج يمكن أن يكون ضعيفًا أو غير دال إحصائيًا إذا أغفلنا تأثيرات زمنية مشتركة؛ بينما تتحسن العلاقة في مواصفات تضبط تلك التأثيرات. كما وضعوا إطارًا للتعامل مع أخطاء القياس، وأشاروا إلى أن علاقة الأضواء بالناتج تختلف بين الاقتصادات المتقدمة والنامية S05.

هذه نتيجة لا يحبها المسوّقون. فالعبارة المريحة هي: «كلما ازدادت الأضواء زاد الناتج». أما نتيجة الورقة فتعني أن الارتباط بين المدن شيء، والقدرة على تفسير تغير مدينة بعينها في شهر بعينه شيء آخر. يستطيع نموذج أن يميز مدينة صناعية كبيرة من قرية معتمدة ببراعة، ثم يفشل حين يُطلب منه تقدير ما إذا كانت المدينة الصناعية نفسها قد زادت إنتاجها هذا الربع. لقد حفظ صورة الثراء، ولم يتعلم دائمًا حركة النشاط.

3. الفيزياء التي لا تظهر في عنوان الرسم البياني

يرى حساس النطاق النهاري الليلي (Day/Night Band; DNB) ضوءًا مرئيًا وقريبًا من الأشعة تحت الحمراء يصل من سطح الأرض وما حوله. هذه الجملة القصيرة تخفي مجموعة معقدة من الفروق. فقد يكون الضوء صادرًا من واجهة محل أو شارع أو مصنع، وقد يكون مشعل غاز (Gas Flare)، أو حريقًا، أو سفينة، أو ضوء قمر انعكس على سحابة. ليس المستشعر مختصًا بحاسبة الشركات؛ إنه يعرف الإشعاع (Radiance)، وهي كمية فيزيائية لها وحدة وأجهزة معايرة، ولا يعرف «الإيراد» أو «الأجر» أو «الريح» إلا إذا علمناه صلةً ثبتت بقياسات مستقلة S06.

تعالج منظومة «بلاك ماربل» (Black Marble) التابعة للوكالة هذه المشكلة بعمل علمي شاق. فمنتجها اليومي (VNP46A2) لا يقدم صورة ساذجة من الحساس فحسب؛ بل يجري تصحيحات مرتبطة بضوء القمر والغلاف الجوي والخصائص الهندسية لاتجاه الإضاءة والانعكاس (Bidirectional Reflectance Distribution Function; BRDF)، ويصدر طبقات تُظهر جودة البيانات وآخر مشاهدة عالية الجودة، ويميز الإضاءة المعالجة عن القيم التي ملأتها خوارزمية بسبب نقص الملاحظة S06S07.

وحدة البكسل (Pixel) في هذا المنتج تقارب 500 متر؛ أي أن الدقة المكانية لا تجعلنا نرى حسابًا مصرفيًا واحدًا أو حاسوبًا واحدًا يعمل. بل حتى داخل نصف كيلومتر، تختلط واجهة سوق مع الطريق المحاذي والمواقف والإنارة العامة ومصادر قد لا يكون لها وزن اقتصادي مباشر. ثم توجد دقة اقتصادية أخرى لا تقدمها الكاميرا: الفرق بين مصنعين

متجاورين ينتجان القيمة نفسها ويستهلك أحدهما الضوء ليلاً أكثر من الآخر.

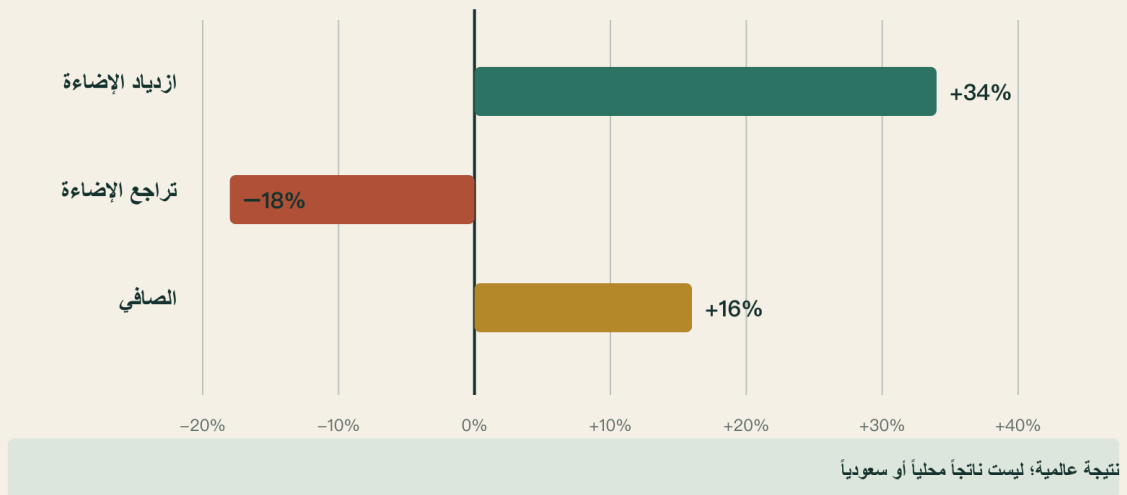
في المنتج الفضائي طبقة لافتة تسمى «أحدث استرجاع عالي الجودة» (Latest High-Quality Retrieval). عندما تحجب السحب مشاهدة ليلة معينة أو لا تجتاز قراءتها معيار الجودة، قد تستعمل المعالجة آخر قياس موثوق أو نموذجاً مُكملاً للفراغ (Temporal Gap-Filling). أن ترى قيمةً تحت تاريخ اليوم لا يعني دائماً أنها رصد فوتوني جديد اليوم. إنها معلومة مشتقة من مشاهدات سابقة وقواعد تنقية معلنة. والفارق مهم إذا كنا نزعم قدرتنا على كشف مفاجأة حدثت الليلة الماضية. تمييز الإشارة الحاضرة من الإشارة المُستكملة ليس هامشاً فنياً؛ إنه الفرق بين شاهد حضر الواقعة وشاهد يروي عاداته عن ذلك المكان S07.

4. دراسة عام 2026: الأرض أضاءت وأظلمت في الوقت نفسه

في 8 أبريل 2026 نشر تيان لي (Tian Li) وزملاؤه في مجلة «نيتشر» (Nature) بحثاً بعنوان «صور الأقمار الصناعية تكشف تزايد تقلب النشاط البشري الليلي» (Satellite Imagery Reveals Increasing Volatility in Human Night-time Activity) (Continuous Change Detection) لدراسة تقلب الإضاءة الاصطناعية خلال 2014–2022. النتيجة العالمية ليست خطاً يصعد بهدوء؛ زادت الإضاءة في مناطق بمقدار يعادل 34% من إجمالي السطوع الأساسي، وقابلها انخفاض يعادل 18%، فانتهى العالم بزيادة صافية قدرها 16% S08.

توازن الضوء العالمي، 2014–2022

تغير الإشعاع الليلي العالمي مقارنة بخط الأساس لعام 2014



تفكيك تغير الإضاءة الاصطناعية عالمياً بين 2014 و2022

شكل 1. مكونات التغير في الإضاءة الاصطناعية العالمية مقارنة بمستوى 2014 بحسب دراسة Nature عام 2026. النسب ليست نموًا في الناتج المحلي، والانخفاضات لا تعني كلها انكماشاً اقتصادياً. المصدر: S08.

والأهم ليس الرقم النهائي، بل أسباب الاتجاهين. فمن المناطق ما زادت فيه الإنارة مع التوسع العمراني أو كهربة المساكن. ومنها ما قلّت فيه الإضاءة مع تحسين كفاءة الطاقة، أو فرض ضوابط على الإنارة المفرطة، أو تبديل مصابيح قديمة بتقنيات الصمام الثنائي الباعث للضوء (Light-Emitting Diode; LED). وهناك مناطق أظلمت نتيجة حروب أو أزمات أو انقطاع كهربائي. الصورة تخبرنا عن المآل البصري لكل حالة، لا عن جودتها الاقتصادية والأخلاقية؛ والتشابه في اللون قد يجمع بين بلد أصلح إنارته وبلد تعطل فيه إنتاجه. لا يصح أن نقرّر مصير اقتصاد من لونٍ مشترك.

توجد هنا مشكلة طيفية إضافية. فتركيب الضوء يتغير عندما تُستبدل المصابيح، ولا تتطابق استجابة الحساس لكل الأطوال الموجية (Wavelengths). وقد ناقشت أبحاث عن تلوث السماء بالضوء (Light Pollution) اختلاف ما ترصده الأقمار عما يراه الراصد البشري، مع دور محتمل للتحويلات الطيفية في إنارة (LED) S09. لا يعني ذلك أن كل انخفاض فضائي سببه المصابيح، لكنه يثبت أن تغيير تقنية الإضاءة قد يغيّر معايير علاقتنا بالمؤشر حتى عندما تبقى الوظيفة الاجتماعية للمكان.

5. ثلاثة اقتصادات تسكن خريطة واحدة

تخيل ثلاثة أحياء سعودية لا أختلق لها اسمًا ولا أدعي امتلاك قياس عنها. في الأول، تنتقل مؤسسة خدمية من التعاملات الورقية إلى برامج تنجز أعمالاً أكثر داخل المكاتب القائمة. ترتفع القيمة المضافة (Value Added) من تحسين التنظيم والمعرفة، وقد تبقى أضواء الحي كما كانت. في الثاني، يُفتتح مجمع ذو واجهات مضيئة ومواقف رحبة، فتقفز كمية الضوء المرصود من دون أن نعرف بعد معدل إشغال متاجره أو ربحيتها. في الثالث، يُستبدل نظام إنارة الشوارع بأخر أكثر كفاءة، ويقل الضوء المتسرب إلى أعلى مع تحسن الخدمة على الأرض.

قد ينتج القمر ثلاث روايات متناقضة مع اقتصاد هذه الأحياء: ركودٌ حيث ارتفعت الإنتاجية، ونموٌ حيث لم تتبين بعد الجدوى، وانكماشٌ حيث تحسنت كفاءة الخدمة. هذا المثال افتراضي بالكامل، لكنه يشرح لماذا يجب تحديد الهدف قبل اختيار المؤشر: إذا أردنا معرفة اتساع المناطق المسكونة كهربائيًا فالضوء مفيد؛ وإذا أردنا القيمة المضافة للبرمجيات والخدمات فهو غير مكتمل؛ وإذا أردنا الاستمرار الآمن للإنارة قد نحتاجه مع بيانات كهرباء وخدمة، لا بديلاً عنها.

وهنا يعيد الاقتصاد السعودي ترتيب الأوراق. فالنفط والغاز قد يخلفان إشعاعًا من المشاعل، لكن قيمة الإنتاج النفطي لا تُحسب من الضوء الذي يصعد فوق الشعلة. وقطاعات مثل الاتصالات والتقنية المالية والحوسبة تخلق قيمة يمكن أن تزيد دون أن تُقام لها لمبات جديدة في كل دورة عمل. بينما تؤثر السياحة الدينية والطقوس الاجتماعية ونمط ساعات الفتح في العلاقة الموسمية بين الليل والعمل. لا يكفي أن نُعرّف الموقع على الخريطة؛ يجب أن نُعرّف وظيفة الضوء في ذلك الموقع.

ليس هذا دعوة إلى ترك الاستشعار الفضائي. بل هو السبب الجاد لاستخدامه. فمن لا يميّز بين أنواع الإشارات لن يحصل على استخبارات اقتصادية، وإنما على مكتبة صور مع آلة جمع سريعة.

6. رقم الاقتصاد الذي لا يولد كاملاً

في 30 يوليو 2026 أصدرت الهيئة العامة للإحصاء (GASTAT) التقدير السريع (Flash Estimate) للربع الثاني من العام. وظهر على موقعها معدل انخفاض للناتج المحلي الحقيقي (Real Gross Domestic Product; Real GDP) يبلغ 4.8% على أساس سنوي. هذا **تقدير أولي منشور في تاريخ محدد**؛ لا ينبغي معاملته كقيمة خارج الزمن، ولا مقارنته بربع آخر دون ضبط التعديل الموسمي وتعريف الأساس وسنة المرجع S10. ليس المقصود من ذكره إصدار تشخيص للحالة الاقتصادية السعودية، بل توضيح مشكلة يعرفها كل خبير إحصاء: الرقم الرسمي يصف فترة انتهت، ويصدر بعد جمع البيانات وتنقيحها، وقد يتغير عند صدور مراجعات لاحقة.

بعض علماء الاقتصاد يريدون معرفة نشاط يوليو قبل أن يصلهم تقرير يوليو؛ هذه هي مهمة تقدير الحاضر (Nowcasting). ليست نبوءة عن سنة بعيدة، ولا محاولة لتخطئة مؤسسة الإحصاء. إنما هي تقدير لكمية جارية لم تنشر بياناتها النهائية بعد، مع التصريح بالمعلومات المتاحة لحظة التقدير. والمفارقة أن صورة الأقمار قد تتقدم في **الالتقاط** ولا تتقدم بالضرورة في **الصلاحية التحليلية**: بعض المنتجات يحتاج وقت معالجة ومراجعة، وبعضها يملأ فجوات مشاهدة، وبعض المتغيرات الاقتصادية الأسرع في النشر قد تكون قد وصلت أصلاً.

لهذا أقترح أن يُكتب على كل تقدير فضائي أربعة تواريخ أو أوصاف منفصلة، لا تذوب في ختم «محدث اليوم»: وقت التقاط المشهد (Acquisition Time)، ووقت إتاحة المنتج المعالج (Data Availability Time)، ووقت إصدار التقدير (Forecast Issue Time)، ونسخة البيانات الاقتصادية المستهدفة (Target Data Vintage). فإذا اخترنا نموذجاً على عشر سنوات باستخدام النسخة النهائية المنقحة لكل رقم وصورة معالجة لم تكن متاحة وقتها، فقد نكون أجرينا **إعادة بناء للماضي** (Retrospective Reconstruction)، لا محاكاة أمينة لما كان يمكن معرفته آنذاك.

هذا خطأ يسمى تسرب المعلومات (Data Leakage)، وهو شديد المكر: لا يضيف للمؤشرات كذباً ظاهراً، وإنما يُدخل إلى غرفة القرار معلومة لم تكن قد وُلدت وقت اتخاذ القرار. كل نتيجة تبدو أنيقة بعد وقوع الحدث. حتى منجم الحي يكون عبقرياً إذا سُمح له بتحرير تنبؤاته بعد انتهاء المباراة.

7. هل يكسب النموذج شيئاً من نافذة جديدة؟

أمامنا طريقة بسيطة لإبطال كثير من المبالغات. بدل سؤال «هل ترتبط الإضاءة بالنشاط؟» نسأل: **هل تحسّن الإضاءة تقدير النشاط مقارنة بما كان متاحاً أصلاً من بيانات تقليدية؟** تُسمى هذه الفائدة الإضافية (Incremental Predictive Value). فإذا كان النموذج يعرف حركة المبيعات المجمعة، واستهلاك الكهرباء، وبعض مؤشرات الإنتاج المنشورة، ثم أضفنا صور الفضاء ولم تنخفض أخطاؤه خارج العينة (Out-of-Sample Error)، فقد كسبنا طبقة تقنية جديدة ولم نكسب معلومة مفيدة للقرار.

تحتاج الإجابة تجارب تكافئ الوقت. نضع نموذجًا مرجعيًا (Baseline Model) يتعامل مع البيانات التقليدية المتاحة، ثم نموذجًا آخر يرى البيانات ذاتها مع مؤشر الإضاءة. ندرب كل واحد على الماضي **المتاح في تلك اللحظة**، ونتنبأ بالفترة التي لم تكن إحصاءاتها قد صدرت، ثم ننتقل إلى فترة لاحقة ونعيد الإجراء. بهذا التقييم المتقدم زمنيًا (Rolling-Origin Evaluation) نقلل إغراء تدريب النموذج على مستقبلنا وتحليل ماضٍ رتبناه بعد أن عرفنا النتائج.

يمكن فعل ذلك بانحدار منتظم بسيط (Regularized Regression)، أو نموذج عوامل ديناميكية (Dynamic Factor Model)، أو نموذج احتمالي أكثر تعقيدًا. ليس التعقيد ضامًا. ففي سلسلة شهرية قصيرة، قد يحفظ نموذج عميق عشرات المواسم والفروق المحلية ويمنحنا تنبؤًا جميلًا عن البيانات التي رآها، ثم يكتشف صعوبة الزمن الذي لم يره. لهذا لا يمكن إعلان ذكاء نموذج جديد دون مقارنته بمرجع بسيط عادل، وتثبيت تاريخ صدور كل متغير، ومنع اقتسام المستقبل بين التدريب والاختبار.

8. تجربة صغيرة تكشف خسارة كبيرة في الفهم

نُفذت لهذه المقالة محاكاة بحثية معلنة، لا باستخدام اقتصاد المملكة ولا بتحميل مشاهد أقمار فعلية؛ بل باختراع **180 شهرًا اصطناعيًا** لها نشاط اقتصادي كامن، ومؤشر اقتصادي تقليدي تصل قيمته خلال الشهر، ومؤشر إضاءة يحمل بعض المعلومات عن النشاط وبعض الضجيج الموسمي. فرضنا تأخر توفر قيمة النشاط الحقيقي شهرين. وفي الشهر الاصطناعي **116**، جعلنا تقنية أو سياسة الإنارة تتغير بحيث ينخفض مؤشر الضوء **أربع نقاط** من دون أن ينخفض النشاط بسبب ذلك التغيير نفسه. الأرقام والضجيج والبذرة العشوائية منشورة في الملف البحثي وقابلة لإعادة التشغيل؛ إنها مختبر لا تاريخ سعودي مستتر **S13**.

بدأ الاختبار بعد **65 شهرًا** من بداية السلسلة الاصطناعية، واستُخدمت نافذة تدريب متسعة تحترم تأخر صدور الهدف. قارنا ثلاثة نماذج: مؤشرًا تقليديًا وحده مع ماضي النشاط، ثم المؤشر التقليدي مضافًا إليه الضوء، ثم نموذجًا يعلم فقط أن سياسة أو تقنية الإضاءة تبدلت في تاريخ معين. هذا الأخير لا يعرف الأثر العددي سلفًا؛ يتعلمه من المشاهدات التي تتراكم بعد التبدل. في جميعها قسنا متوسط الخطأ المطلق (Mean Absolute Error; MAE) بوحدات **مؤشر نشاط اصطناعي**، لا بالنقاط المئوية لنمو الناتج السعودي.

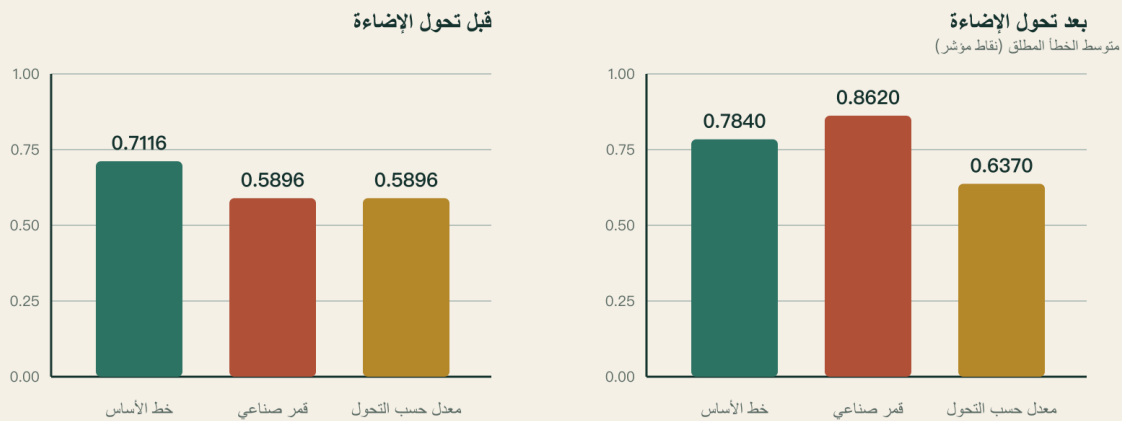
الجزء من الاختبار الاصطناعي	النموذج التقليدي	يضيف الضوء دون فهم التحول	يضيف الضوء ويعرف وقوع التحول
قبل تبدل الإنارة، 51 تقديرًا	0.712	0.590	0.590
بعد تبدل الإنارة، 63 تقديرًا	0.784	0.862	0.637

في المرحلة الأولى أضاف الضوء معلومة نافعة، فانخفض الخطأ. في الثانية أصبح المؤشر نفسه عبئًا حين تغيرت صلته بالنشاط؛ زاد خطأ النموذج الذي يستخدمه بسداجة على الخطأ التقليدي. ثم استعاد النموذج الذي يميز تغير نظام الإنارة فائدةً من الإشارة. هذه النتائج مشروطة بالكامل بالافتراضات الاصطناعية وببذرة عشوائية واحدة؛ لا

تُقدَّر تكرار الظاهرة في السعودية ولا تثبت أن النموذج الثالث سينجح دومًا. وتجربة فيها مائة وأربعة عشر تقديرًا اصطناعيًا ليست دراسة وطنية من مائة وأربعة عشر شهرًا حقيقيًا.

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.

مقارنة أخطاء ثلاثة نماذج قبل وبعد تغير تقنية الإنارة في محاكاة اصطناعية

شكل 2. متوسط الخطأ المطلق لثلاثة نماذج في محاكاة مولدة حاسوبيًا. لا يصف الشكل الاقتصاد السعودي أو بيانات أقمار فعلية. الشيفرة والمدخلات وتواريخ التدريب محفوظة في الملفات المرافقة [S13](#).

والمفارقة الأكثر أهمية أن إضافة متغير قد تخفض متوسط الخطأ قليلاً عبر السلسلة كاملة، بينما تجعل أدائه في السنوات اللاحقة أسوأ؛ لذلك فإن المتوسط الوطني وحده قد يخفي انقلاب صلاحية المؤشر. النسخة الاصطناعية التي أضفنا فيها 35% من قراءة فضائية مستقبلية إلى المؤشر الحالي، على سبيل توضيح التسرب الممنوع، لم تتحسن في هذا التشغيل. وهذا درس مستقل: التنبؤ الذي ينتهك ترتيب المعلومات **باطل منهجيًا** سواء بدا ناجحًا أم فشل. لا تبرئه خسارته من الغش، ولا تبرر له دقة عالية إن صادفت.

9. حين تصبح الثقافة متغيرًا في المعادلة، لا فقرة في المقدمة

تخفي عبارة «تصحيح الموسمية» (Seasonal Adjustment) خلafًا عميقًا بين من يظن الأشهر متشابهة ومن يعرف أن المجتمع يعيد توزيع وقته. رمضان يتحرك عبر الشهور الميلادية تبعًا للتقويم الهجري، والحج يتغير مواعده الميلادي سنويًا، والعطلات والأنشطة الموسمية لا تقع كلها في المواضع نفسها. قد تتعلم خوارزمية أن أغسطس «شهر ضوء كثير»، ثم تخطئ عندما يتقدم رمضان في التقويم. لذا يحتاج النموذج متغيرات زمنية مرتبطة **بالمواسم الفعلية** لا بأرقام الأشهر فقط، مع فصل آثار موسم له قيمة اقتصادية حقيقية عن آثاره البصرية الصرفة.

وهذه ليست دعوة لإغراق النموذج بأسماء الأعياد؛ بل لاختبار الفرضيات. قد يثبت أن تصحيح مدة النهار وليالي السحب يكفي في بعض المناطق، وأن إضافة التقويم الاجتماعي تقلل الخطأ في مناطق أخرى؛ أو أن الإضاءة في حي سكني لا تقدم ما يقدمه إنفاق زوار المدينة. الطريق الوحيد لتقرير ذلك هو تجربة خارج العينة مع مقارنة قواعد تحليل محددة مسبقًا.

وفي السعودية تحديدًا قد تكون هذه التفصيلة مصدر ميزة بحثية محلية. فالبيانات العالمية تملك القدرة على رؤية الإشعاع، لكنها لا تحمل دائمًا معرفة دقيقة بأنماط الحياة، وحدود الأحياء الوظيفية، وتحولات أساليب الترفيه والمطاعم والنقل، ومواسم الحج والعمرة. من يستطيع بناء متغيرات صحيحة لهذه الآليات يمكنه أن يصنع تفسيرًا عربيًا وسعوديًا أصيلًا للبيانات العالمية بدل أن يشتري صورة ويضع عليها اسم المدينة.

10. غواية الاستشعار المتعدد: حين يزيد الشهود ولا يتفقون

ليست العين المرئية آخر ما في الفضاء. فهناك رادار الفتحة الاصطناعية (Synthetic Aperture Radar; SAR) في منظومة «سنتينل 1» (Sentinel-1)، يستطيع التقاط تغيرات في السطح ليلاً وعبر السحب ضمن حدود وظروف الاستشعار الراداري S11. وهناك إشارات حركة السفن المُجمعة من نظام التعرف الآلي (Automatic Identification System; AIS)، وصور النشاط العمراني، ومؤشرات تركّز بعض الغازات مثل ثاني أكسيد النيتروجين (Nitrogen Dioxide; NO₂). لكن اجتماع الشهود لا يجعل روايتهم واحدة.

فالرادار يسجل ارتداد موجات كهرومغناطيسية (Radar Backscatter) يتأثر بخشونة السطح وزاوية الرصد والرطوبة والتكوين المادي، لا بإجمالي أجور العاملين داخله. ومسار السفينة ليس كمية البضائع التي تحملها، وإطفاء جهاز التعريف ليس دليلاً على اختفاء السفينة، ونسبة غاز في الهواء تتأثر بالأرصاد الجوية بقدر ما تتأثر ببعض الانبعاثات. من الخطأ العلمي أن نحول اختلاف الفيزياء إلى وفاق اقتصادي زائف عبر برنامج يجمع المتغيرات في عمود واحد.

في المقابل، تسمح هذه الاختلافات بذكاء نوعي: إذا ظلت إضاءة منطقة لوجستية ثابتة بينما هبطت حركة السفن الموثقة فيها، يمكن أن نسأل إن كان المؤشر الأول عاجزاً عن رؤية نوع من التباطؤ التجاري. وإذا تغير نشاط ميناء إجمالاً وزادت حركة الشاحنات بصورة موثقة، يمكن للمرصد أن يختبر اتساق الدليلين. أما إذا تعارضت المؤشرات، فالتعارض قد يكون نتيجةً علمية غنية تستحق الفهم، لا خطأً ينبغي دفنه تحت كلمة «دمج متعدد الوسائط» (Multimodal Fusion).

المهم أن نتجنب جمع خرائط حساسة للبنية الحيوية أو ربطها بتحديد منشآت فردية تحت غطاء تحليل اقتصادي. مستوى القطاعات والمناطق المجمعة كافٍ لبناء فرضيات مفيدة عن الاقتصاد دون تحويل المرصد إلى دليل مكاني لأهداف تشغيلية.

11. من تلسكوبٍ يرى إلى مختبرٍ يستطيع أن يُكذِّب نفسه

تقترح هذه المقالة مشروعًا محددًا للمرصد السعودي، لا هيئة جديدة لتكديس الصور. اسمه البحثي «مختبر القيمة المضافة للإشارة الفضائية» (Satellite Signal Value Laboratory). يبدأ بعشرات التجارب الصغيرة ذات نتيجة قابلة للدحض، لا بمؤشر وطني متكامل من يومه الأول.

التجربة الأولى تسأل عن مؤشر إجمالي غير نفطي (Non-oil Activity) في مناطق مختارة تتوفر لها بيانات رسمية مجمعة. يجمع الباحثون قياسات الضوء الشهرية مع طبقات جودة المشاهدة، ووقائع تبديل الإنارة إن كانت موثقة، والتقويم الاجتماعي، ومؤشرات اقتصادية تقليدية متاحة بالنسخة التاريخية الصحيحة. يعلنون موعد إصدار تقديرهم، ويقارنون خطأ النموذج الإضافي بخطأ مرجع اقتصادي بسيط. يكررون الاختبار على سنوات ومواسم مختلفة. إذا فشل المؤشر في تحسين الأداء، تكون هذه نتيجة نافعة تحدد أين لا يستحق الاستثمار في صور جديدة.

التجربة الثانية تتعامل مع نشاط التجارة واللوجستيات على مستوى الموانئ أو المناطق، باستخدام مؤشرات بحرية مجمعة وصور ملائمة؛ الهدف ليس تحديد سفينة بعينها، بل السؤال عما إذا كانت إضافة الاستشعار تحسن كشف تغير التدفقات مقارنة بمؤشرات التجارة المنشورة. والثالثة تقارن مناطق اقتصادية مختلفة: مناطق خدمات تُنتج قيمة غير مرئية تقريبًا، ومناطق صناعية أقرب صلة باستهلاك طاقة مادي، ومناطق ذات موسم دينية أو سياحية. إذا ثبت اختلاف القوة التنبؤية بين هذه الفئات، فقد يكون تخصيص النموذج حسب وظيفة المكان أكثر قيمة من تدريب نموذج وطني ضخم يبتلع كل شيء.

ما الذي نراقبه تحديدًا؟ ليس «دقة 98%» المرسلة في بيان صحفي. نريد انخفاضًا في خطأ التنبؤ على اختبارات مستقبلية، ومقدار ثبات الانخفاض بعد تغير تقنية الإضاءة، وعدد الأيام التي سبقت بها إتاحة الصورة نشر الرقم الاقتصادي، ونسبة الليالي ذات الرصد الجيد، والفارق بين المناطق، ونطاق عدم اليقين (Uncertainty Interval) الذي نكون قد قيّمنا تغطيته الفعلية. المهم أن تكون الأخطاء معلنة بقدر ما تُعلن النجاحات.

12. القيمة الاستراتيجية للمعلومة التي تعترف بحدودها

هناك اقتصاد كامل يمكن بناؤه حول هذه المسألة، لكنه لا يشبه صناعة الصور الفضائية وحدها. منتجاته أدوات لبناء سجل زمني لما كان متاحًا فعليًا (Point-in-Time Data Store)، ومعالجة صور ذات جودة قابلة للتتبع (Provenance-Aware Processing)، ومحركات مقارنة نماذج تعمل على فترات مستقبلية منفصلة (Time-Series Backtesting)، واكتشاف انقطاع العلاقة بين المؤشر وما نريد قياسه (Concept Drift Detection)، ودمج اقتصادي يصرّح بمواضع الجهل.

قد تنشأ من هذه الأدوات شركات تصدر خدمات إلى بلدان تعاني ضعفًا في البيانات الإقليمية أو بطئًا في إتاحتها. لكن نجاحها لا يُقاس بعدد الصور المعالجة ولا بعدد الدول الملونة على خريطة تفاعلية؛ يقاس بما إذا كانت تحسن قرارًا محددًا قبل موعد كان صاحبه سيعرف فيه الحقيقة من غيرها. وفي حال لم تضيف فائدة تنبؤية لاقتصاد ذي بيانات

غنية، ربما كان سوقها الأجدى في متابعة العمران، واكتشاف الانقطاع، ورصد تغير النشاط المكاني حيث لا تتوفر إحصاءات تفصيلية؛ هذه أسواق بحثية مختلفة لا ينبغي جمعها في ادعاء واحد.

يمكن للسعودية أن تتعامل مع بيانات الفضاء العامة على أنها مادة خام لمنهجية تحليل وطنية قابلة للتصدير. تحتاج هذه الصناعة علماء بصريات وبيانات واقتصاد وذكاء اصطناعي يعرفون أين تبدأ الفيزياء وأين تنتهي الحجة الاقتصادية. وتحتاج خبراء محليين يستطيعون شرح لماذا تتحرك حياة المدينة من النهار إلى الليل في فترة، ولماذا تشاهد الأقمار ضوءًا أقل بعد مشروع إضاءة أفضل، ولماذا توجد قيمة لا تترك أثرًا حراريًا أو فوتونيًا واضحًا.

ما يثير الإعجاب حقًا في هذه الإمكانية ليس أنها تستطيع أن تجعلنا «نرى كل شيء». هذا وهم قديم ثلبسه الأجهزة أسماء جديدة. الإثارة أن نتعلم ما الذي لا تعنيه الصورة، فنصمم تجربة تكشف المعنى الذي تستطيع حمله بالفعل. فالتقدم العلمي لا يبدأ عند أول مخطط يبهر الوزير أو المستثمر؛ يبدأ عند أول نتيجة تقول له بأمانة: هذه الإشارة لم تساعدنا، أو ساعدتنا هنا ولم تساعدنا هناك، أو ساعدتنا قبل أن تتغير المصاييح ثم توقفت.

13. الاقتصاد الذي لا يلتقطه ضوء شارع

إذا أسقطنا على الرياض من الفضاء شبكة من نصف كيلومتر، فسنحصل على ملايين العلاقات الممكنة بين السطح والضوء والوقت. لا واحدة منها تحمل تعريفًا جاهزًا للإنتاجية، ولا جردًا للعمل غير المدفوع، ولا قيمة البرمجيات التي صممت في شقة صغيرة، ولا الفرق بين ميناء مزدحم بالبضائع وميناء مزدحم بالأضواء. لكنها تحمل مشاهدات مادية حقيقية لا تستطيع أي مؤسسة أن تخرعها ببيان صحفي، ولذا تستحق أن تؤخذ بجدية.

لعل أكثر العبارات الساذجة في اقتصاد الفضاء أن نقول: «القمر لا يكذب». ليس على القمر واجب الصدق بالمعنى الذي نريده؛ إنه لا يقدم شهادة اقتصادية أصلًا. تمر الفوتونات بعدسات ومعايير وخوارزميات تصحيح، ثم يدخلها إنسان في نموذج اختار له هدفًا ومجموعة افتراضات. قد تكون الملاحظة صحيحة، وتكون الإجابة عن السؤال الخطأ.

وعندما يأتي عام 2030 وتملك المملكة طبقات أوسع من الاستشعار والتحليل، فالسؤال القيادي الحقيقي لن يكون كم مدينة تستطيع إضاءتها أن تظهر على الشاشة. سيكون: في أي أنواع القرارات جعلتنا هذه الإشارات نعرف شيئًا صحيحًا أبكر، وما الدليل على أننا كنا سنخطئ من دونها؟

تلك هي المسافة بين امتلاك عين في المدار وامتلاك عقل بحثي على الأرض.

مصادر المقالة والمواد القابلة للفحص

1. NASA, *The Lights of Ramadan and Eid al-Fitr*, 2015.

<https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/the-lights-of-ramadan-and-eid-al-fitr-84923>

Miguel O. Román and Eleanor C. Stokes, *Holidays in Lights: Tracking Cultural .2*
Patterns in Demand for Energy Services, *Earth's Future* 3 (2015), 182–205.
<https://doi.org/10.1002/2014EF000285>

Saudi Press Agency, *GASTAT: Total Number of Pilgrims for Hajj 2026 Reaches .3*
1,707,301, 2026. <https://www.spa.gov.sa/en/N2599493>

J. Vernon Henderson, Adam Storeygard and David N. Weil, *Measuring Economic .4*
Growth from Outer Space, *American Economic Review* 102(2), 2012, 994–1028.
<https://doi.org/10.1257/aer.102.2.994>

World Bank, *Measuring Quarterly Economic Growth from Outer Space*, 2022. .5
[https://documents1.worldbank.org/curated/en/692011641480491613/pdf/Measuri](https://documents1.worldbank.org/curated/en/692011641480491613/pdf/Measuring-Quarterly-Economic-Growth-from-Outer-Space.pdf)
[ng-Quarterly-Economic-Growth-from-Outer-Space.pdf](https://documents1.worldbank.org/curated/en/692011641480491613/pdf/Measuring-Quarterly-Economic-Growth-from-Outer-Space.pdf)

NASA Goddard Space Flight Center, *Black Marble Product Description*. .6
<https://viirsland.gsfc.nasa.gov/Products/NASA/BlackMarble.html>

NASA, *Black Marble User Guide, Collection 2.0*, 2024, sections on temporal gap- .7
filling and product quality flags.
https://viirsland.gsfc.nasa.gov/PDF/BlackMarbleUserGuide_Collection2.0.pdf

Tian Li et al., *Satellite Imagery Reveals Increasing Volatility in Human Night-time .8*
Activity, *Nature* 652 (2026), 379–386. <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10260-w>

Salvador Bará and José J. Castro-Torres, *Diverging Evolution of Light Pollution .9*
Indicators, author manuscript, 2024. <https://arxiv.org/abs/2409.13111>

General Authority for Statistics, *GDP: Flash Estimate Q2/2026*, published 30 July .10
2026. [https://www.stats.gov.sa/en/search-publication?](https://www.stats.gov.sa/en/search-publication?الناتج+المحلي+الإجمالي=category=publication&delta=4&q)
[الناتج+المحلي+الإجمالي=category=publication&delta=4&q](https://www.stats.gov.sa/en/search-publication?الناتج+المحلي+الإجمالي=category=publication&delta=4&q)

Synthetic Vintage-Aware Backtest, version 1.0. See [analysis/reproduce.py](#), .11
[.data/backtest_metrics.csv](#) and independent companion

European Space Agency, *Sentinel-1 Mission*. .12
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1

بيان إنتاج: هذا مقال بحثي استقصائي أُعد باستخدام مصادر منشورة وتحليل اصطناعي موثق. ليس فيه ادعاء
بقياس مباشر للنمو السعودي عبر الأقمار أو بيانات خاصة لمؤسسة، ولم يخضع لتحكيم علمي مستقل.