

التوائم الرقمية والسيادة الرقمية الحضرية: تحليل إقتصادي-مؤسسي لتجربة برشلونة في البيانات المفتوحة (2010-2025)

Digital Twins and Urban Digital Sovereignty: An Economic-Institutional Analysis of Barcelona's Open Data Experience (2025-2010)

داي وسام

بن طلحة عبد الغني*

جامعة باتنة 1، الجزائر

جامعة ميله، الجزائر

wissam.dey@univ-batna.dz

bentalha.abdelghani@centre-univ-mila.dz

تاريخ النشر: 2026/06/05

تاريخ القبول: 2026/05/23

تاريخ الإرسال: 2026/04/05

ملخص:

تقدم الورقة تحليلاً إقتصادياً مؤسسياً معمقاً لتوظيف برشلونة التوائم الرقمية خلال الفترة 2010-2025، متجاوزة الوصف التقني السائد في الأدبيات نحو تشريح الآليات الإقتصادية الكامنة عبر إطار نظري مركب، يدمج إقتصاديات المنصات ونظرية الموارد المشتركة والإقتصاد المؤسسي لتأطير "السيادة الرقمية الحضرية"، بوصفه بناء نظري قابل للإختبار لا مجرد شعار سياسي، تعتمد الدراسة منهجية دراسة الحالة المعمقة مدعومة بتحليل مقارن وصفي مع أمستردام وكوبنهاغن، تكشف النتائج عن إرتباط إيجابي قابل للرصد بين منصة Sentilo مفتوحة المصدر ومؤشرات التنافسية الحضرية، مع الإقرار الصريح بأن عزل هذا الأثر عن المتغيرات الموازية، كصناديق الإنعاش الأوروبية وتداعيات COVID-19 يستلزم دراسات كمية مستقبلية، وكمساهمة نظرية أصيلة يقدم المقال "مثلث القيمة الرقمية الحضرية" كإطار تحليلي ثلاثي الأبعاد، يبين كيف تتشابك الكفاءة التشغيلية وتخفيف الإبتكار وجودة القرار الإستراتيجي في صناعة التنافسية الحضرية الرقمية.

الكلمات المفتاحية: توائم رقمية، سيادة رقمية حضرية، إقتصاد رقمي، منصة Sentilo.

Abstract:

The paper provides an in-depth economic-institutional analysis of Barcelona's deployment of Digital Twins between 2010 and 2025, going beyond the dominant technical descriptions in the literature towards unpacking the underlying economic mechanisms through a composite theoretical framework that integrates platform economics, commons theory and institutional economics, thereby framing "urban digital sovereignty" as a testable analytical construct rather than a mere policy slogan. The study adopts an in-depth case study methodology, complemented by descriptive comparative analysis with Amsterdam and Copenhagen. The findings reveal a discernible positive association between the open-source Sentilo platform and several indicators of urban competitiveness, while explicitly acknowledging that isolating this effect from concurrent factors-such as European recovery funds and the repercussions of COVID-19-requires future quantitative research. As an original theoretical contribution, the paper introduces the "Urban Digital Value Triangle", a three-dimensional analytical framework that elucidates how operational efficiency, innovation stimulation and strategic decision-making quality intertwine in shaping digital urban competitiveness.

Keywords: Digital Twins, Urban Digital Sovereignty, Digital Economy, Sentilo Platform.

JEL Classification : O38, R58, D02

*مرسل المقال: بن طلحة عبد الغني (Bentalha.abdelghani@centre-univ-mila.dz)

المقدمة:

شهدت الأدبيات الأكاديمية خلال العقدين الماضيين إهتمام متصاعد بمفهوم المدينة الذكية (Caragliu, Del Bo, & Nijkamp, 2011)، وقد ركزت الموجة الأولى من هذه الدراسات على البنية التحتية التقنية كشبكات الإنترنت وإنترنت الأشياء وتحليل البيانات الضخمة (Anthopoulos, 2017)، غير أن هذا التوجه تعرض لانتقادات حادة لإهماله الأبعاد الاجتماعية والإقتصادية والحكومية إذ أشار هولاندز (Hollands, 2008) إلى أن خطاب المدينة الذكية كثيراً ما يخدم مصالح الشركات الكبرى بأكثر مما يخدم المواطنين، بينما نيه فانولو (Vanolo, 2014) إلى خطر ما أسماه الذكاء الإنضباطي، حيث توظف التكنولوجيا أداة للرقابة لا للتمكين، وقد أفضى هذا النقد إلى ظهور نماذج بديلة تركز الإنسان وتعلي من قيم المشاركة المجتمعية والعدالة الاجتماعية.

يعد التمييز المفاهيمي بين منصة بيانات المستشعرات والتوأم الرقمي أمراً جوهرياً في هذا السياق، فالتوأم الرقمي وفق التعريف المرجعي لغريغز وفيكز (Grieves & Vickers, 2017, p. 89)، هو تمثيل افتراضي ديناميكي وفي الوقت الفعلي لنظام فيزيائي يتيح المحاكاة التنبؤية وتحسين الأداء، وهو ما يستلزم نموذج رياضي محاكي يتجاوز مجرد جمع البيانات وعرضها، وفي المقابل تعد Sentilo (المنصة الأساسية في تجربة برشلونة) منصة لإدارة بيانات المستشعرات، تشكل بنية تحتية ضرورية للتوائم الرقمية لكنها ليست توأماً رقمياً بحد ذاتها، هذا التمييز الذي كثيراً ما تغفله الأدبيات (Huang & Tsou, 2025, pp. 550-555) يمنح التحليل دقة مفاهيمية أعلى.

أظهرت الدراسات التطبيقية إمكانات التوائم الرقمية في مجالات التخطيط الحضري وإدارة البنية التحتية وكفاءة الطاقة والتنقل الذكي، غير أن ويل (Weil, Elias Biri, Longchamp, Golay, & Alahi, 2023) نبه إلى أن التوائم الرقمية الحضرية تواجه تحديات جوهرياً في التطبيق الفعلي تتعلق بالتكامل والحوكمة وحماية الخصوصية، وهي تحديات كثيراً ما تغفلها الدراسات المتحمسة للتكنولوجيا.

إشكالية الدراسة: تتمحور الفجوة البحثية الرئيسية في غياب تحليل إقتصادي شامل يربط بين التوائم الرقمية والتنافسية الحضرية ضمن إطار مؤسسي متكامل، فمعظم الدراسات إما تركز على الجوانب التقنية البحتة أو تقدم تحليلات وصفية لحالات بعينها دون مقارنة منهجية، وتسعى هذه الدراسة إلى سد هذه الفجوة بثلاثة مستويات من المساهمة، أولاً تأطير السيادة الرقمية الحضرية ضمن نظريات إقتصادية راسخة، ثانياً تحديد الآليات الإقتصادية المحددة للقيمة، ثالثاً إجراء مقارنة منهجية بين نماذج حضرية مختلفة.

بناءً على هذه الفجوة البحثية ينطلق هذا المقال من السؤال الرئيسي التالي: كيف يمكن للمدن الكبرى متوسطة الكثافة مثل برشلونة، توظيف التوائم الرقمية ومنصات البيانات المفتوحة لتعزيز تنافسيتها الإقتصادية الحضرية، وما هي الآليات الإقتصادية والمؤسسية والحكومية التي ترتبط بهذا التحول؟

الأسئلة الفرعية: إنطلاقاً من التساؤل الرئيسي نطرح الأسئلة الفرعية التالية:

- ما هي الآليات الإقتصادية المحددة التي ترتبط بها منصة Sentilo وتطبيقات التوائم الرقمية بتغيير مؤشرات الكفاءة التشغيلية في برشلونة؟

- ما هو الدور الذي يؤديه نموذج المصدر المفتوح في تشكيل بيئة الابتكار وريادة الأعمال في الإقتصاد الرقمي ببرشلونة؟
 - كيف يختلف نموذج برشلونة عن نموذجي أمستردام وكوبنهاغن من حيث الفلسفة والنتائج المرصودة؟
 - ما الارتباطات القابلة للرصد بين تطبيق التوائم الرقمية ومؤشرات التنافسية الحضرية في برشلونة خلال الفترة 2010-2025؟

- كيف تسهم العوامل المؤسسية وحوكمة البيانات في تفسير الاختلافات في مستوى التنافسية بين المدن الثلاث؟
فرضيات الدراسة:

- **الفرضية الأولى:** يرتبط تطبيق أنظمة المراقبة القائمة على منصة Sentilo ارتباطا إيجابيا بمؤشرات الكفاءة التشغيلية (كفاءة الطاقة، إدارة المياه، تحسين المرور) في برشلونة.

- **الفرضية الثانية:** يرتبط نموذج البيانات المفتوحة في برشلونة بمستويات أعلى من مشاركة الشركات الناشئة وتطوير التطبيقات القائمة على البيانات مقارنة بالمدن التي تعتمد حلولاً مغلقة.

- **الفرضية الثالثة:** يرتبط نموذج السيادة الرقمية الحضرية بمؤشرات أفضل في الحوكمة الرقمية والشمول التقني مقارنة بنماذج الشراكة مع القطاع الخاص المغلقة.

- **الفرضية الرابعة:** توجد ارتباطات إيجابية قابلة للرصد بين مؤشرات التنافسية الحضرية في برشلونة وتوسع البنية التحتية الرقمية للفترة 2010-2025، وإن كان عزل الأثر المستقل لكل عامل يستلزم تحليلاً إقتصادياً كمياً متعدد المتغيرات.
أهمية الدراسة: تستمد هذه الدراسة أهميتها من ثلاثة مستويات متكاملة:

الأهمية النظرية: تسعى الدراسة إلى سد فجوة بحثية تتمثل في غياب إطار إقتصادي-مؤسسي مركب يربط بين التوائم الرقمية والتنافسية الحضرية، ذلك أن معظم الأعمال المتاحة إما تقتصر على التوصيف التقني، أو تقدم تحليلات وصفية لحالات منفردة دون إطار نظري ناظم، وتقدم محاولة لتجاوز ذلك من خلال دمج إقتصاديات المنصات ونظرية الموارد المشتركة والإقتصاد المؤسسي ونظرية السلع العامة في إطار تحليلي واحد.

الأهمية المنهجية: يميز هذا المقال تمييزاً مفاهيمياً دقيقاً بين منصة بيانات المستشعرات (Sentilo) والتوأم الرقمي بالمعنى الفني الصارم، وهو تمييز كثيراً ما يغيب في الأدبيات التطبيقية، مما يمنح التحليل دقة مفاهيمية تحسن من موثوقية الاستنتاجات.

الأهمية التطبيقية: تتجاوز الدراسة الحالة الأوروبية لتستخلص دروساً قابلة للتعميم الحذر على المدن الساعية إلى بناء إستراتيجيات تنافسية رقمية، لا سيما في السياقات التي تواجه خيارات حوكمية حول الملكية العامة للبنية الرقمية مقابل نماذج الشراكة مع القطاع الخاص.

أهداف الدراسة: تسعى هذه الدراسة إلى تحقيق الأهداف التالية:

- تأطير مفهوم "السيادة الرقمية الحضرية" ضمن نظريات إقتصادية راسخة (إقتصاديات المنصات، نظرية الموارد المشتركة، الإقتصاد المؤسسي، نظرية السلع العامة)، بوصفه بناءاً نظرياً قابلاً للاختبار لا مجرد توصيف سياساتي.



-تحليل الآليات الاقتصادية المحددة التي ترتبط بها منصة Sentilo وتطبيقات التوائم الرقمية بمؤشرات التنافسية الحضرية في برشلونة خلال الفترة 2010-2025، عبر ثلاث آليات لخلق القيمة: الكفاءة التشغيلية، تحفيز الابتكار وريادة الأعمال، تحسين جودة إتخاذ القرار الإستراتيجي.

-إجراء مقارنة منهجية بين نموذج برشلونة ونموذجي أمستردام وكوبنهاغن من حيث الفلسفة الحاكمة ونموذج الملكية وحوكمة البيانات والأداء التنافسي المرصود.

-الإفصاح الصريح عن حدود الإستدلال السببي الذي تتيحه منهجية دراسة الحالة، وتقديم توجيهات منهجية للبحوث الكمية المستقبلية التي تسعى إلى عزل الأثر المستقل للتوائم الرقمية عن العوامل الموازية.

منهجية الدراسة: تعتمد هذه الدراسة على منهجية دراسة الحالة المعمقة لمدينة برشلونة خلال الفترة 2010-2025، حيث تستخدم السنوات 2010-2011 بوصفها فترة أساس مرجعية لمقارنة الإتجاهات قبل وبعد إطلاق منصة Sentilo عام 2012، مع التعامل مع سنوات الجائحة 2020-2022 بوصفها فترة صدمة خارجية، تدرج في السلاسل الزمنية مع الإقرار المسبق بأنها تربك الإستدلال السببي ولا يصار إلى عزل أثرها كميًا في هذه الدراسة، مدعومة بتحليل مقارن وصفي لمدينتي أمستردام وكوبنهاغن، وقد جرى إختيار برشلونة بوصفها حالة مرجعية كونها من أوائل المدن الأوروبية التي تبنت نموذج المنصة المفتوحة والسيادة الرقمية الحضرية، بينما أختيرت أمستردام وكوبنهاغن كنموذجين للمقارنة بمثلان توجه الشراكة العامة-الخاصة والتركيز البيئي في التحول الحضري الذكي، ويوفر النهجان المتكاملان فهما شاملا مع إمكانية إستخلاص دروس قابلة للتعميم الحذر.

كما تعتمد الدراسة على مصادر ثانوية متنوعة: وثائق رسمية لبلديات المدن الثلاث، بيانات إحصائية من يوروستات والبنك الدولي، دراسات أكاديمية وتقارير من منظمات دولية متخصصة، كما أن غياب البيانات الأولية (مثل المقابلات المعمقة) يشكل قيداً صريحاً تقرر به الدراسة، ويشكل توصية ضمنية للبحوث المستقبلية.

I- الإطار النظري والمفاهيمي:

تنطلق هذه الدراسة من إطار نظري مركب يجمع أربعة مفاهيم محورية من الإقتصاد السياسي وعلم الإقتصاد المؤسسي، في محاولة لتجاوز الأطر التقنية البحتة نحو فهم أعمق للأبعاد الإقتصادية للتحول الرقمي الحضري.

1. اقتصاديات المنصات وآثار الشبكة:

وضع روشيت وتيرول (Rochet & Tirole, 2003, pp. 990-995) الأساس لفهم المنصات الرقمية بوصفها أسواقاً متعددة الأطراف، تخلق قيمة من خلال تحقيق الإتصال بين مجموعات متميزة من المستخدمين، وتمثل منصة Sentilo من هذا المنظور منصة حضرية مفتوحة، تربط منتجي البيانات (مستشعرات، متعاملون مع البنية التحتية) بمستهلكيها (شركات ناشئة، باحثون، صانعو السياسات)، وقد وثق باركر وآخرون (Parker, Van Alstyne, & Choudary, 2016, p. 24) كيف أن إعتتماد المنصات المفتوحة يولد آثار شبكة إيجابية تسرع الإبتكار بأقل تكاليف معاملات، وما يميز برشلونة في هذا السياق هو أن المنصة ملكية عامة، وهو ما يولد آثار شبكة

تعود على المجتمع بدلا من أن تتركز في شركة خاصة، وتجدد الإشارة إلى أن تطبيق هذا الإطار في هذه الدراسة يظل في حدود الاستدلال النوعي اعتمادا على طبيعة البيانات الثانوية المتاحة، إذ لا تدعي الورقة قياس آثار الشبكة رقميا بقدر ما توظف المفهوم كإطار تفسيري لبنية الحوافز المحيطة بالمنصة.

2. نظرية الموارد المشتركة وحوكمة البيانات:

أثبتت إيلينور أوستروم (Ostrom, 1990) في عملها الرائد الذي نالت عنه جائزة نوبل في الاقتصاد، أن الموارد المشتركة يمكن إدارتها بكفاءة بعيدا عن ثنائية السوق الخاص والدولة المركزية، شرط وجود قواعد حوكمة مقبولة جماعيا وآليات مراقبة فعالة، والبيانات الحضرية تشكل في جوهرها موارد مشتركة يصعب إستبعاد المنتفعين منها وإاحتها لا تقلل من قيمتها، بل كثيرا ما تضاعفها من خلال الإستخدامات المتقاطعة، ويمثل نموذج Sentilo المفتوح تطبيقا عمليا لمبادئ أوستروم في الحوكمة البيانية، بما يعنيه ذلك من تجنب مخاطر "مأساة المشاع" ومركزة الثروة الرقمية في يد القطاع الخاص.

3. الإقتصاد المؤسسي وأهمية القواعد الرسمية وغير الرسمية:

يؤكد دوغلاس نورث (North, 1990) أن المؤسسات بمعنى القواعد الرسمية وغير الرسمية هي المحدد الأساسي لمسار التنمية الإقتصادية، ويقدم تحليل الإقتصاد المؤسسي مفتاحا جوهريا لفهم لماذا تنجح إستراتيجيات التوائم الرقمية في سياقات بعينها وتخفق في سياقات أخرى، فالبنية المؤسسية الداعمة من قيادة سياسية مستقرة وشراكات متعددة القطاعات وإطار تنظيمي داعم للبيانات المفتوحة، ليست سياقا لتطبيق التكنولوجيا بل هي جزء لا يتجزأ من العائد الإقتصادي لها.

4. نظرية السلع العامة وحجة المصدر المفتوح:

يرى سامويلسون (Samuelson, 1954) أن السلع العامة تتسم بالإستهلاك غير التنافسي وعدم إمكانية الإقصاء، بينما تشكل البيانات الخام سلعة شبه عامة فإن منصات إدارتها قابلة للخصخصة وتوليد ربح احتكارية، ويجادل هذا الإطار بأن إختيار برشلونة لنموذج المصدر المفتوح ينطوي ضمنا على رفع لتكاليف معالجة البيانات عن عاتق شركة واحدة، وإعادة توزيع الفائض الإقتصادي الناتج على نطاق أوسع.

5. السيادة الرقمية الحضرية:

يتضح من الأطر النظرية الأربعة السابقة أن السيادة الرقمية الحضرية ليست مجرد سياسة تقنية، بل هي خيار إقتصادي مؤسسي يحدد توزيع الفائض الناتج عن الرقمنة الحضرية، وتمتلك المدينة التي تسود فيها السيادة الرقمية منصة مفتوحة تولد آثار شبكة تعود بالنفع العام (إقتصاديات المنصات)، نظام بيانات يدار كمورد مشترك (نظرية أوستروم)، بنية مؤسسية داعمة تقلل تكاليف المعاملات في الابتكار (الإقتصاد المؤسسي)، توزيعا للعوائد يتجاوز ربح الإحتكار نحو الفائض الإجتماعي (نظرية السلع العامة)، هذا التأطير يميز مفهوم السيادة الرقمية الحضرية عن المصطلحات المجاورة كحق تقرير المصير الرقمي، وحوكمة البيانات والتحضر القائم على المنصات، ويضعه في مكانته الخاصة كإطار إقتصادي-مؤسسي مركب.



II. التوائم الرقمية في برشلونة: منصة Sentilo والبنية المؤسسية الداعمة:

طورت بلدية برشلونة عام 2012 منصة Sentilo مفتوحة المصدر لإدارة بيانات المستشعرات على مستوى المدينة، في إطار بنية أفقية لإنترنت الأشياء الحضري مموله عمومياً ومبنية على برمجيات حرة، تمثل الخطوة خيار إستراتيجي يتجاوز البعد التقني الضيق إلى تبني فلسفة حوكمية تقوم على الملكية العامة للبنية الرقمية، إذ إختارت المدينة بناء قدراتها الداخلية وإتاحة الشيفرة المصدرية للمجتمع، بدل الإرتحان لحلول عمودية مغلقة لمورد واحد كما هو شائع لدى الشركات الكبرى في مجال المدن الذكية (European-Commission, 2014).

من الناحية المفاهيمية تعد Sentilo منصة لإدارة بيانات المستشعرات لا التوأم الرقمي ذاته، فهي تتيح جمع بيانات إنترنت الأشياء الحضرية وتخزينها ومعالجتها وتوزيعها في الزمن الحقيقي عبر واجهات برمجية قياسية، بينما تشكل التطبيقات والخدمات المبنية فوق هذه الطبقة- كنماذج محاكاة تدفق المرور أو توقع إستهلاك الطاقة أو مراقبة جودة البيئة- التوائم الرقمية بالمعنى الفني الدقيق (Domingos, et al., 2025, p. 2)، ويعني هذا التمييز أن Sentilo تعمل كبنية تحتية تمكينية للتوائم الرقمية، أي كشبكة شبكات تربط نظم المياه والنفايات والإنارة والنقل وغيرها، لا كتوأم رقمي واحد موحد، وهو تمييز غالباً ما يغيب في الأدبيات التطبيقية حول المدن الذكية (Sentilo: Open source by the City of Barcelona, Spain, 2025).

تستند الخصائص الجوهرية لـ Sentilo إلى ثلاثة محاور مترابطة: الانفتاح التكنولوجي من خلال البرمجيات الحرة والواجهات المعيارية، والملكية والحوكمة العامة التي تتيح إعادة توجيه آثار الشبكة نحو الصالح العام، والتصميم الأفقي القابل للتشغيل البيئي (European-Commission, 2014) الذي يسمح بإعادة إستخدام نفس البنية التحتية لبيانات المستشعرات عبر مجالات حضرية متعددة.

1. تطبيقات التوائم الرقمية في برشلونة:

توظف برشلونة التوائم الرقمية المبنية فوق بيانات Sentilo في أربعة محاور تشغيلية رئيسية:

أ-إدارة المرور والتنقل الذكي: جمع بيانات الحركة في الوقت الفعلي لتحسين تدفق المرور وتقليل الازدحام، ومحاكاة أثر مشاريع البنية التحتية الجديدة قبل تنفيذها (Bastia, 2024).

ب-كفاءة الطاقة والمياه: مراقبة إستهلاك الطاقة في المباني العامة وإضاءة الشوارع، والكشف الإستباقي عن تسربات شبكة المياه (Manmeet & Suhaib, 2021, p. 01).

ج-إدارة النفايات وجودة الهواء: تتبع مستويات إمتلاء الحاويات وتحسين مسارات الجمع، ومراقبة مؤشرات جودة الهواء للإستجابة السريعة (Koman & Krúpová , 2025, p. 31).

د-التخطيط الحضري التنبؤي: محاكاة سيناريوهات التنمية العمرانية وتقييم أثرها الإقتصادي والبيئي قبل إتخاذ القرار.

2. السياق المؤسسي الداعم:

لا تعمل منصة Sentilo في فراغ مؤسسي فقد أطرها خطة التحول الرقمي لعام 2020، التي أرست مبادئ أخلاقيات البيانات والملكية العامة للبنية الرقمية، كما إستمدت زخمها الأولي من التراكم المؤسسي لمشروع

Barcelona@22 الذي أطلق في نفس السنة موفرا منظومة الفاعلين والشبكات اللازمة للإبتكار المستدام (Alberto & Riccardo, 2020, p. 02)، هذا السياق يذكر بما أكده نورث من أن التراكم المؤسسي يحدد إلى حد بعيد مسارات التحول التقني.

III. الأثر الاقتصادي للتوائم الرقمية في برشلونة:

تولد التوائم الرقمية المدعومة بمنصة Sentilo قيمة إقتصادية عبر ثلاث آليات متكاملة، تشكل ما يسمى في هذه الدراسة بمثلث القيمة الرقمية الحضرية، ويحسد الشكل (01) أدنتاه البنية التحليلية لهذا المثلث بوصف Sentilo قاعدة له ومصدرا للبيانات المغذية لآلياته الثلاث.

الشكل (01): مثلث القيمة الرقمية الحضرية-برشلونة نموذجاً



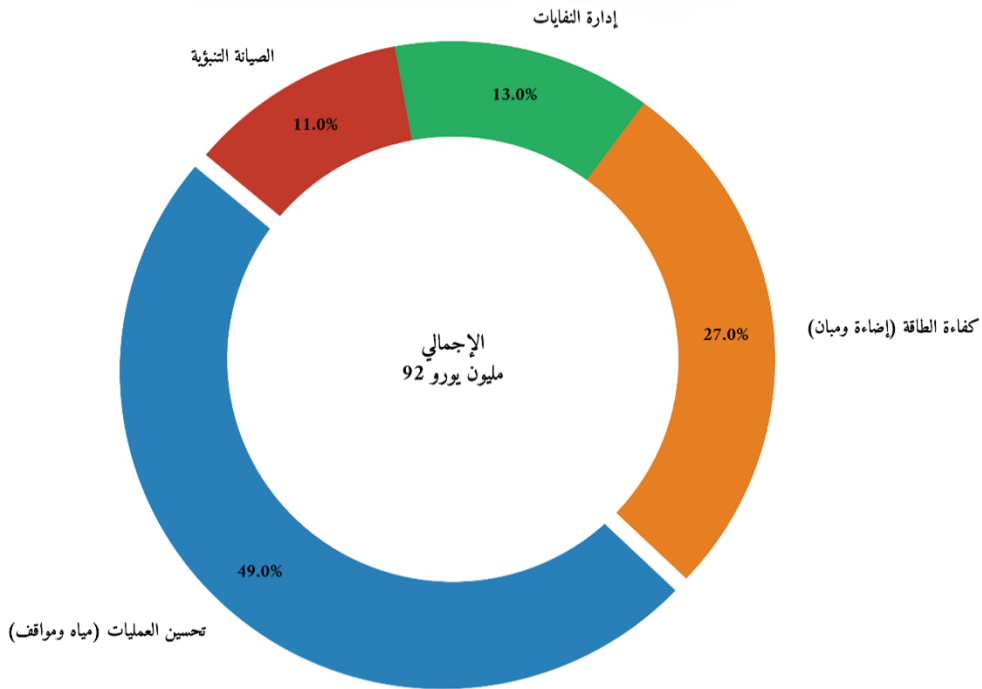
المصدر: من تصميم الباحثين بناء على الإطار النظري المركب.

يختلف مثلث القيمة الرقمية الحضرية في هذه الدراسة عن الأطر التحليلية المتاحة في الأدبيات من زاويتين تكامليتين: أولاً بينما تركز نماذج تقييم التوائم الرقمية في الأعمال التقنية الحديثة مثل (Fuller, Fan, Day, & Barlow, 2020) على سلاسل القيمة داخل القطاعات أو المشروعات، فإن هذا المثلث يعيد صياغة القيمة في مستوى المدينة ككل، رابطاً بين الكفاءة التشغيلية والإبتكار وريادة الأعمال وجودة إتخاذ القرار في إطار واحد، ثانياً بخلاف الأطر العامة لقيمة المدن الذكية التي توزع المؤشرات على أبعاد متعددة دون ربط مؤسسي صريح، يقوم هذا الإطار على الدمج المقصود بين إقتصاديات المنصات ونظرية الموارد المشتركة والإقتصاد المؤسسي ونظرية السلع العامة، بما يجعل السيادة الرقمية الحضرية محورا تفسيريا مركزيا لا مجرد بعد مضاف إلى قائمة الأبعاد.

1. الآلية الأولى: الكفاءة التشغيلية وتحسين الموارد:

تتيح التوائم الرقمية مراقبة وتحليلاً فورياً للموارد والخدمات الحضرية، مما يفضي إلى تقليل الهدر وتحسين الكفاءة وتوفير التكاليف (Jones, Snider, Nassehi, Yon, & Hicks, 2020)، وتشير تقديرات منشورة عن برنامج المدينة الذكية في برشلونة، إلى أن الوفورات السنوية الناتجة عن تحسين إدارة المياه والإضاءة الذكية تبلغ نحو 92 مليون يورو (SDG, 2025)، ويوضح الشكل (02) توزيعاً تقديرياً لهذه الوفورات على القطاعات الرئيسية، وتصدر الإشارة هنا إلى أن هذا الرقم يعكس الوفورات الإجمالية المرتبطة بمنظومة المدينة الذكية بما فيها التوائم الرقمية، لا أثر التوائم الرقمية منفردة، كما أن الأرقام المشار إليها في تقارير سابقة بالدولار الأمريكي (58 مليون دولار للمياه، 50 مليون دولار لمواقف السيارات) تستند إلى تقارير مختلفة وبسنوات مرجعية متعددة، وهو ما يفسر الفارق الظاهر ولا يشكل تناقضاً في الرقم ذاته.

الشكل (02): توزيع تقديري للوفورات المالية السنوية لتطبيقات المدينة الذكية في برشلونة (≈ 92 مليون يورو)

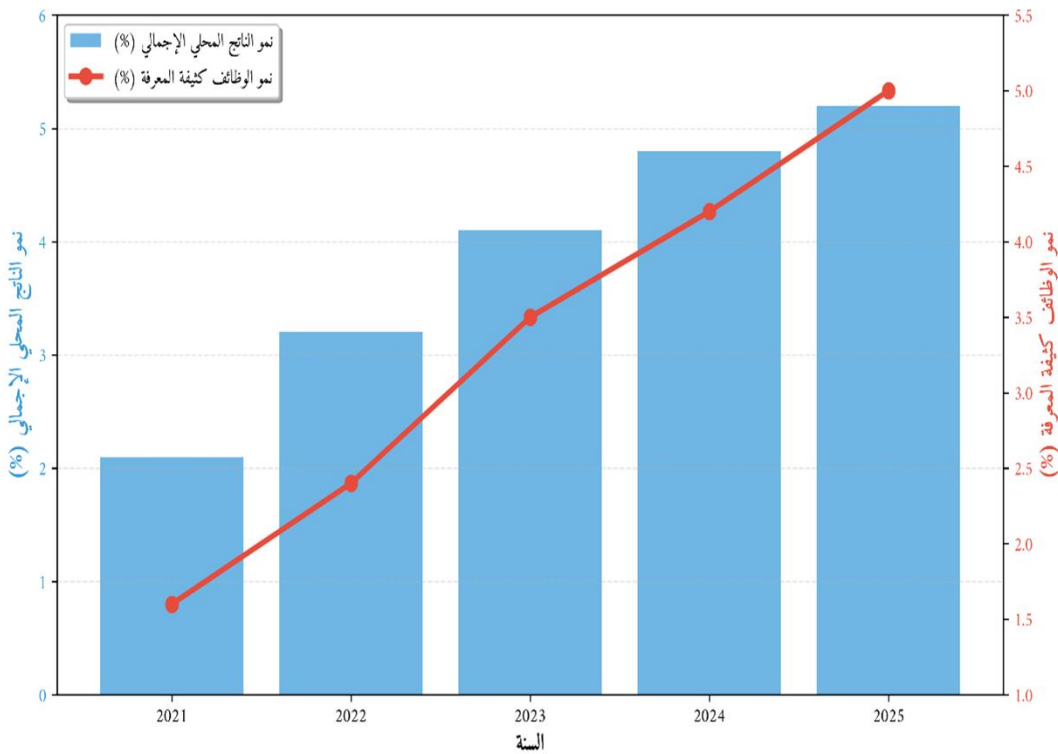


المصدر: من إعداد الباحثين اعتماداً على تقديرات برنامج المدينة الذكية في برشلونة (SDG, 2025)، وتقارير

2. الآلية الثانية: تحفيز الابتكار وريادة الأعمال

من خلال توفير منصة بيانات مفتوحة وبيئة محاكاة واقعية، تعمل التوائم الرقمية كمختبرات حية للشركات الناشئة والمطورين والباحثين. يوضح الشكل (03) الارتباط الإيجابي الملحوظ بين نمو الناتج المحلي الإجمالي لبرشلونة وزيادة الوظائف كثيفة المعرفة خلال الفترة 2021-2025.

الشكل (03): الارتباط بين نمو الناتج المحلي الإجمالي وتوسع الوظائف كثيفة المعرفة في برشلونة (2021-2025)



المصدر: تحليل الباحثين بناء على (SDG, 2025)

ملاحظة: الفترة مقيدة بتوافر البيانات وتتضمن أثر التعافي من COVID-19 وبرنامج Next Generation EU. يبين الشكل (03) ارتباطاً إيجابياً بين المتغيرين، يستدل منه على توجه مشترك لا على علاقة سببية مباشرة وتفسير هذا الارتباط الخالص يستلزم إعتبار عوامل موازية، كالتعافي من تداعيات الجائحة وبرامج التحفيز الأوروبية والأثر المركب للاستثمار التكنولوجي على المدى الطويل.

3. الآلية الثالثة: تحسين جودة اتخاذ القرار الإستراتيجي

توفر التوائم الرقمية بيانات وتحليلات معمقة تدعم صانعي القرار في صياغة سياسات حضرية أكثر فعالية وإستنارة، مع القدرة على محاكاة سيناريوهات وتقييم آثارها المحتملة (إقتصادية وبيئية وإجتماعية)، وتقليل من المخاطر وتعظيم الفوائد المتوقع من مشاريع البنية التحتية والتنمية العمرانية، كما تشير التقديرات إلى أن اعتماد التخطيط التنبؤي أسهم في تقليل تكاليف البنية التحتية بنسبة 15-20%.

4. سد الفجوات وخلق الفرص عبر التوائم الرقمية:

أسهمت التوائم الرقمية في برشلونة في تحويل فجوات تنمية قائمة إلى فرص إقتصادية:

- في التخطيط الحضري: التحول من الاعتماد على البيانات التاريخية الجامدة إلى التخطيط التنبؤي المبني على محاكاة السيناريوهات، مما أسهم في تقليل التكاليف الرأسمالية للمشاريع الكبرى (Azadi, Kasraian, Nourian, & van Wesemael, 2025, p. 02).

- في الإستدامة البيئية: إتاحة مراقبة دقيقة للإنبعاثات على مستوى الأحياء، مما يعزز ملف برشلونة أمام المستثمرين المراعين للبيئة (SDG, 2025).

- في الإقتصاد الرقمي: خلق نظام بيئي للإبتكار يعتمد على بيانات مفتوحة متاحة للشركات الناشئة، بديلا عن نموذج إحتكار القطاع الخاص للبيانات (Potts, Torrance, Harhof, & Hippel, 2023, p. 01).

5. التحليل المقارن: برشلونة وأمستردام وكوبنهاغن

يقدم هذا القسم تحليل مقارن لثلاثة نماذج حضرية أوروبية معتمدا على نفس المحاور التحليلية لكل مدينة، كما يقر التحليل بمحدودية مقارنة ثلاثة مدن لا تتيح تعميمات إحصائية، لكنها تتيح إكتشاف آليات تفسيرية نوعية ذات قيمة.

1.5. مقارنة الفلسفة والإستراتيجية والمنصة:

لا يقتصر التمييز بين نماذج المدن الذكية على الإختلاف في الأدوات التقنية المستخدمة، بل يمتد إلى إختلاف جوهري في فلسفة الحوكمة وملكية البيانات ونموذج خلق القيمة الاقتصادية، ومن أجل فهم الموقع التنافسي لتجربة برشلونة وفق الإطار التحليلي المعتمد في هذه الدراسة، يجري الجدول (01) مقارنة تحليلية بين برشلونة وأمستردام وكوبنهاغن عبر سبعة أبعاد مركبة تشمل كل من الفلسفة الحاكمة، الإستراتيجية الرقمية، المنصة التقنية، درجة الإنفتاح، ملكية البيانات، نموذج الحوكمة، الأثر الإقتصادي المقدر، ويتيح هذا التشریح المقارن تجاوز الأوصاف التقنية السائدة في الأدبيات نحو تقييم إقتصادي-مؤسسي لمدى إستدامة كل نموذج وقابليته للتكرار (Ruhlandt, 2018).



جدول (01): تحليل مقارن لإستراتيجيات التوائم الرقمية في المدن الذكية-برشلونة، أمستردام وكوبنهاغن

المعيار	برشلونة	أمستردام	كوبنهاغن
الفلسفة الحاكمة	سيادة رقمية حضرية: البيانات ملك عام يُدار لمصلحة المواطن	ابتكار تشاركي: شراكة مرنة بين الحكومة والقطاع الخاص والمجتمع	كفاءة بيروقراطية: تحسين الخدمات الحكومية عبر البيانات المفتوحة
الإستراتيجية الرئيسية	منظومة مفتوحة المصدر + خطة التحول الرقمي 2020 + ميثاق الإستخدام الأخلاقي للبيانات	نظام بيئي تشاركي قائم على تجميع البيانات من فاعلين متعددين	تبادل بيانات قطاعي منظّم وفق عقود محددة بين الجهات العامة والخاصة
المنصة التقنية	Sentilo (مفتوحة المصدر، تديرها البلدية)	Amsterdam Smart City Platform	Copenhagen City Data Exchange
درجة إنفتاح المصدر	مفتوح بالكامل (Apache 2.0) - متاح للتبني الدولي	مفتوح جزئياً-مكونات مملوكة وأخرى مفتوحة	شبه مغلق -تحكمه إتفاقيات تشارك البيانات بين الأطراف
ملكية البيانات	ملكية عامة كاملة- البلدية مالكة البنية والبيانات	مختلطة- البيانات مشتركة بين البلدية والشركاء الخاصين	مختلطة مقننة- تحدد العقود شروط الوصول والملكية
نموذج الحوكمة	حوكمة عامة مركزية مع انفتاح على المشاركة المجتمعية (Commons Governance)	حوكمة شبكية لامركزية (Multi-stakeholder Network)	حوكمة حكومية-خاصة تعاقدية (PPP Data Governance)
الأثر الاقتصادي المقدر	≈ 92 مليون يورو وفورات سنوية (مياه + إضاءة + عمليات) + 47,000 وظيفة	وفورات طاقة وتقل، لكن بلا أرقام رسمية إجمالية معلنة	تخفيض تكاليف خدمات عامة ≈ 15-20%، بلا رقم إجمالي موحد

المصدر: تحليل الباحثين إعتماذا على (Ruhlandt, 2018)، (Mora, Deakin, & Bolici, 2017)

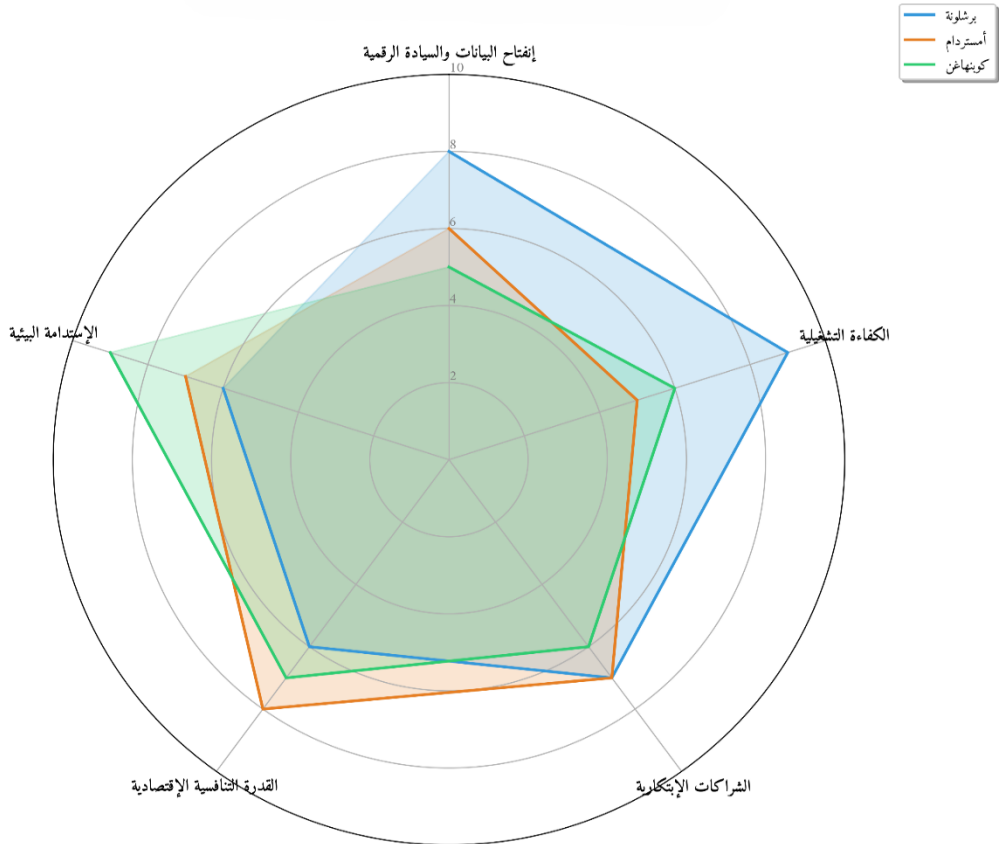
يكشف الجدول (01) عن تباين جوهري في فلسفة الحوكمة الرقمية بين المدن الثلاث، يتجاوز بكثير الاختلاف في الأدوات التقنية، فبينما تؤسس برشلونة نموذجها على مبدأ السيادة الرقمية الحضرية من خلال الملكية العامة الكاملة لمنصة Sentilo ومفتوحيتها الكاملة، تعتمد أمستردام نهجاً تشاركياً أكثر مرونة يشرك الفاعلين الخاصين دون أن يفقد حوافز المشاركة، فيما تميل كوبنهاغن نحو نموذج تعاقدى صارم يقيد الوصول ويحدد مسبقاً شروط تبادل القيمة. ومن منظور نظرية المشتراكات (Ostrom, 1990) يتفوق نموذج برشلونة في قدرته على تحفيز الابتكار اللامركزي، وتراكم الموارد البيانية الجماعية دون إشتراط معاملة بالمثل، غير أنه يلقي على عاتق الدولة عبئاً تشغيلياً أثقل وقد يضعف حوافز القطاع الخاص للمشاركة في المديين المتوسط والبعيد، ومن منظور إقتصاديات المنصة ينجح نموذج برشلونة في بناء آثار شبكية قوية عبر كتلة بيانات حرجة متنامية، إلا أن غياب آليات التسعير يحد من قدرته على إسترداد تكاليف الإستثمار في البنية التحتية الرقمية، وتبقى الفجوة الأبرز في المقارنة هي ضعف توحيد منهجية قياس

الأثر الإقتصادي بين المدن الثلاث، إذ تعلن برشلونة عن وفورات إجمالية مقدرة بـ 92 مليون يورو سنويا (SDG, 2025)، في حين تغيب الأرقام الموحدة عن النموذجين الأمستردامي والكوبنهاغني، مما يصعب المقارنة الكمية الدقيقة ويشير إلى حاجة الأدبيات لإطار موحد لتقييم العائد الإقتصادي لمنصات البيانات الحضرية المفتوحة.

2.5. الأداء التنافسي المقارن:

لا تكفي المقارنة التوضيفية للإستراتيجيات والمنصات بمفردها لتقييم الأداء التنافسي الفعلي للمدن الثلاث، إذ يستلزم ذلك أداة تحليلية قادرة على تصوير الفجوات والتقارب عبر محاور متعددة في آن واحد، لهذا الغرض يعتمد هذا القسم مخطط الرادار بوصفه أداة بصرية لتكوين خمسة محاور تنافسية كمية في تمثيل واحد متكامل، يتيح للقارئ إستيعاب نمط التفوق النسبي لكل مدينة دفعة واحدة بدلا من تتبع أرقام مبعثرة.

الشكل (04): مخطط الرادار- الأداء التنافسي المقارن للمدن الذكية الثلاث عبر المحاور الخمسة



المصدر: تحليل الباحثين بناء على مؤشرات من (IMD World Competitiveness, 2024) و (Mori Memorial Foundation, 2024)

تكشف قراءة مخطط الرادار في الشكل (04) عن نمط تنافسي متمايز بين المدن الثلاث، لا يمكن إختزاله في ترتيب خطي بسيط، فبينما تهيمن برشلونة على محور إنفتاح البيانات والسيادة الرقمية بقيمة قصوى (10/8)، وتحتل مرتبة رائدة في محور الكفاءة التشغيلية (10/9)، تأتي أمستردام في المقدمة على محور الشراكات الابتكارية (10/8)، فيما تتفوق كوبنهاغن على المحور البيئي (10/9) لتعكس أولوياتها الإستراتيجية في الحياض الكربوني، وما يلفت الإنتباه في هذا الرسم هو غياب مدينة مهيمنة على كافة المحاور، مما يشير إلى أن التفوق التنافسي في نماذج المدن الذكية يتشكل وفق مسارات تخصيصية متباينة لا وفق نموذج واحد أمثل، وهو ما يتسق مع مقارنة التخصص التنافسي المجالي في الأدبيات الاقتصادية الإقليمية (Capello & Nijkamp, 2019).

لقراءة البيانات الكمية الكامنة وراء الشكل (04) وفحص الأسس الإحصائية لتلك المقارنة، يوضح الجدول (02) القيم الرقمية المرجعية لمحاور الرادار الخمسة في المدن الثلاث، المستخرجة من مؤشري IMD Smart City Index و Global Power City Index بمقياس نسبي موحد من 1 إلى 10، مع الإشارة إلى أن هذه القيم إستدلالية منسجمة مع المؤشرين المذكورين، ولا تمثل بيانات رسمية منشورة مباشرة بهذا الشكل الجمع.

جدول (02): القيم الأساسية لمخطط الرادار-المدن الثلاث عبر المحاور الخمسة (مقياس نسبي 1-10)

المصدر	كوبنهاغن	أمستردام	برشلونة	المحور التنافسي
IMD Smart City Index	5	6	8	إنفتاح البيانات والسيادة الرقمية
IMD Smart City Index	6	5	9	الكفاءة التشغيلية
Global Power City Index	6	7	7	الشراكات الابتكارية
Global Power City Index	7	8	6	القدرة التنافسية الاقتصادية
Eurostat	9	7	6	الإستدامة البيئية

المصدر: من إعداد الباحثين إستنادا إلى (Mori, 2024) (IMD World Competitiveness, 2024).

(Eurostat, 2024), Memorial Foundation, 2024)

ملاحظة منهجية: القيم الواردة قيم إستدلالية منسجمة مع بيانات (IMD World Competitiveness, 2024) و (Mori Memorial Foundation, 2024)، وتعتبر عن أوزان نسبية مقارنة لا عن درجات رسمية حرفية منشورة. تظهر البيانات الرقمية في الجدول (02) ثلاثة أنماط تحليلية جوهرية، أولا تحتفظ برشلونة بأعلى مجموع كلي (50/36)، غير أن هذا التفوق العام يخفي تفاوت داخلي لافت، إذ تركز قوتها في محوري إنفتاح البيانات والكفاءة التشغيلية بينما يسجل أداؤها الأدنى على محور القدرة التنافسية الاقتصادية (10/6)، مما يطرح تساؤلا جوهريا حول

مدى ترجمة التفوق التشغيلي الرقمي إلى قيمة إقتصادية متراكمة، ثانيا تمتلك أمستردام أعلى درجة في القدرة التنافسية الإقتصادية (10/8)، وهو ما يعزى جزئيا إلى نموذج الشراكة مع القطاع الخاص الذي يحول البيانات إلى قيمة سوقية مباشرة، لكنه في المقابل يضعف درجة إنفتاح البيانات (10/6)، مما يعكس معادلة إقتصادية مغايرة ترجح العائد الخاص على المنفعة العامة، ثالثا يجسد التفوق الكوبنهاغني على محور الإستدامة البيئية (10/9) حالة تخصص إستراتيجي مقصود يوظف الرقمنة ذراعا لتحقيق أهداف مناخية محددة، وهو نموذج مختلف جذريا في منطقته عن النموذجين السابقين، وفي المحصلة تؤكد هذه المقارنة أن مفهوم المدينة الذكية الأمثل لا وجود له بالمطلق، بل ثمة مسارات تخصيصية ذات عوائد متباينة يحدد فاعليتها السياق المؤسسي والأولويات الإستراتيجية لكل مدينة (North, 1990)، (Caragliu, Del Bo, & Nijkamp, 2011)

3.5. الدروس التحليلية من المقارنة: تتيح المقارنة إستخلاص ثلاثة دروس تحليلية ذات قيمة نظرية:

أولا: لا يوجد نموذج أفضل بالمطلق، فكل مدينة تجسد مزيجا مختلفا من الأولويات وتحقق نتائج متفاوتة بحسب السياق والأهداف، هذا التنوع يدعم من حيث المبدأ فرضية أن الملاءمة المؤسسية-السياقية تحدد النجاح بقدر ما تحدده التكنولوجيا ذاتها.

ثانيا: نموذج المصدر المفتوح (برشلونة) يولد مرونة أكبر وتكاليف تعاملات أقل للمطورين المحليين، بينما يولد نموذج الشراكة العامة-الخاصة (أمستردام) وصولا أسرع لرأس المال الخاص، وكلا المسارين لهما مزايا وتكاليف يصعب المقارنة بينها خارج السياق.

ثالثا: التحليل المقارن يقيد-لا ينقض- الفرضية الثالثة، فبينما تتفوق أمستردام وكوبنهاغن على برشلونة في بعض مؤشرات الترتيب العالمي، فإن برشلونة تتميز في محاور حوكمة البيانات والشمول الرقمي، مما يشير إلى أن نموذج السيادة الرقمية يحقق منافع قيمتها لا تقاس بمؤشر واحد.

IV. مناقشة النتائج:

يقارب هذا القسم النتائج من منظور الإطار النظري المركب الذي أسست عليه الدراسة، مفسرا ما رصدناه في ضوء إقتصاديات المنصات ونظرية أوستروم والإقتصاد المؤسسي ونظرية السلع العامة، ومحددا الحدود التي تقف عندها التفسيرات المتاحة.

1. دعم الفرضية الأولى- الكفاءة التشغيلية:

تؤكد الأدلة المتاحة وجود ارتباط إيجابي بين تطبيق أنظمة Sentilo ومؤشرات الكفاءة التشغيلية، وهو ما يوافق مع ما أشار إليه الإطار المؤسسي، فإنخفاض تكاليف مراقبة إستخدام الموارد يقلل من المشكلات المرتبطة باللاتمائل المعلوماتي في إدارة الخدمات العامة، ويوضح الجدول التالي الأرقام الرئيسية المرتبطة بهذا المحور.



الجدول (03): مؤشرات التنافسية الحضرية في برشلونة (2010-2025)

المؤشر	قبل (2010)	بعد (2025)	التغيير
الناتج المحلي للفرد (يورو)	25.000	32.000	+ 28 %
نسبة الوظائف كثيفة المعرفة (%)	15 %	25 %	+ 66 %
وفورات الطاقة السنوية (GWh)	م.غ	~ 100	لا يمكن إحتسابه لغياب بيانات الأساس (2010)
مؤشر جودة الهواء (AQI)	70 (متوسط)	45 (جيد)	- 25 نقطة

المصدر: من إعداد الباحثين إعتمادا على بيانات (Eurostat, 2024) للإحصاء الحضري، (Econòmica, 2025)، (Francisco, Mohammadi, & Taylor, 2020)، (EEA), 2025)

ملاحظة: "ع.م." = غير متوفر في بيانات 2010، جميع النسب تمثل إرتباطات زمنية لا علاقات سببية مثبتة، تشمل الفترة المدروسة تأثيرات خارجية متعددة منها جائحة COVID-19 (2020-2022).

2. دعم الفرضية الثانية- الابتكار وريادة الأعمال:

تدعم الأدلة المتاحة القضية الأساسية للفرضية الثانية: فالبيانات المفتوحة تخفض حواجز الدخول أمام الشركات الناشئة، وتولد آثار شبكة تحفز تطوير التطبيقات القائمة على البيانات، بما يتوافق مع ما تتنبأ به إقتصاديات المنصات من آثار التجميع للبيانات المفتوحة، غير أن تحديد الحجم الكمي الدقيق لهذا الأثر يظل خارج نطاق ما تتيحه الأدلة الثانوية المتاحة.

3. دعم الفرضية الثالثة- السيادة الرقمية وحوكمة البيانات:

يقدم التحليل المقارن دليلا ظرفيا على تميز برشلونة في محاور الحوكمة الرقمية والشمول، وما يميز نموذجها من منظور الإطار النظري، هو أنه يحقق التوازن بين الكفاءة الإقتصادية من خلال آثار الشبكة لمنصة Sentilo، والعدالة التوزيعية من خلال إتاحة البيانات للجميع وليس فقط للقادرين على دفع رسوم الترخيص، هذا التوازن هو بالتحديد ما تتنبأ به نظرية أوستروم للموارد المشتركة المدارة جيدا.

4. سياق جائحة COVID-19 وأثرها على التفسير:

تشكل جائحة Covid-19 (2020-2022) وما تلاها من تعاف إقتصادي، متغيرا مربكا لا يمكن إغفاله في أي تفسير للإرتباطات المرصودة في فترة 2010-2025، فقد دفعت الجائحة نحو تسريع الرقمنة في مختلف القطاعات عبر أوروبا، مما يعني أن جزءا من التحسن المرصود في مؤشرات الإقتصاد الرقمي لبرشلونة مرده التيار العام للرقمنة الأوروبية لا التميز المؤسسي لبرشلونة تحديدا، كما أن مرحلة التعافي أعقبها ضخ أموال ضخمة من الإتحاد الأوروبي (برنامج Next Generation EU)، ذهب جزء منها لتعزيز التحول الرقمي في المدن الأوروبية، مما يجعل عزل أثر التوائم الرقمية عن أثر هذه التدفقات المالية الضخمة أمرا معقدا.

V. حدود الدراسة وتوجيهات البحث المستقبلي:

تلتزم هذه الدراسة بمبدأ الشفافية المنهجية، وتفصح صراحة عن حدودها الجوهرية:

-الإعتماد الكامل على البيانات الثانوية يمنع إجراء مقابلات معمقة مع الفاعلين المؤسسيين (مسؤولو البلدية، مطورو التطبيقات، المواطنون)، هذه المقابلات كانت ستتيح التحقق من آليات السببية التي ترجح أنها قائمة دون أن تتمكن من إثباتها.

-لا تتيح منهجية دراسة الحالة الإستنتاج السببي الصارم، فما تقدمه هذه الدراسة هي إرتباطات معللة نظريا وملاحظات زمنية، لا دليل تجريبي على العلاقة السبب-نتيجة بين التوائم الرقمية ومؤشرات التنافسية.

-المقارنة مع مدينتين فقط لا تتيح تعميمات إحصائية، والتنوع في النماذج المقارنة يولد رؤى تفسيرية نوعية قيمة، لكنه لا ينتج أدلة كمية على التفوق النسبي لنموذج بعينه.

-بعض مصادر البيانات (كتقارير البلدية) ذات طابع ترويجي يستلزم تأويلها بحذر، تشكل التقارير الرسمية أداة لصياغة السردية الحضرية بقدر ما هي مصدر بيانات موضوعي.

-تصنيف برشلونة كمدينة كبيرة متوسطة الكثافة لا كمدينة متوسطة الحجم، يقيد مدى قابلية النموذج للتطبيق على المدن الأصغر.

وتوجيها للبحوث المستقبلية نقترح ثلاث مسارات ذات أولوية:

- تصميم دراسات شبه تجريبية تعتمد مدنا ضابطة مشابهة لعزل أثر تطبيق التوائم الرقمية.
- إجراء مقابلات معمقة مع الفاعلين المؤسسيين للتحقق من آليات السببية.
- تطوير أدوات قياس معيرة للأثر الإقتصادي للتوائم الرقمية تتجاوز الإحصاء الوصفي.

الخاتمة:

قدمت الدراسة تحليلا إقتصاديا ومؤسسيا لكيفية توظيف مدينة برشلونة للتوائم الرقمية كأداة لتعزيز تنافسيتها الحضرية، مستندة إلى إطار نظري مركب يجمع إقتصاديات المنصات ونظرية الموارد المشتركة والإقتصاد المؤسسي، وكذا نظرية السلع العامة لتأطير مفهوم "السيادة الرقمية الحضرية"، إن الإسهام الجوهرى لهذا المقال مزدوج، إسهام منهجي من خلال ربط مفهوم السيادة الرقمية بأسس نظرية إقتصادية راسخة، وإسهام تطبيقي من خلال رصد الإرتباطات بين تطبيق منصة Sentilo ومؤشرات التنافسية الحضرية، مع الإفصاح الصريح عن حدود هذه الإرتباطات.

لقد أبرزت النتائج أن نجاح برشلونة لا يكمن في التكنولوجيا وحدها، بل في دمجها ضمن إطار مؤسسي يعظم آثار الشبكة ويدير البيانات كمورد مشترك ويقلل تكاليف المعاملات أمام المبتكرين المحليين، والتحليل المقارن مع أمستردام وكوبنهاغن أكد أن التنافسية الحضرية الرقمية متعددة الأبعاد، وأن لكل نموذج مزاياه وتكاليفه المؤسسية والإقتصادية.

التوصيات:

- تنبثق التوصيات التالية مباشرة من نتائج دراسة برشلونة وتفسيرها في ضوء الإطار النظري:
- تبني نموذج حوكمة البيانات كمورد مشترك وذلك بصياغة ميثاق حوكمة بيانات حضرية، يحدد حقوق الوصول وقواعد الاستخدام وآليات المساءلة.
 - الاستثمار في منصات مفتوحة المصدر قبل الاستثمار في التطبيقات: تُشير اقتصاديات المنصات إلى أن الاستثمار في البنية التحتية المفتوحة يُؤَلِّد قيمةً أكبر من الاستثمار في تطبيقات مغلقة، لأنه يُحَفِّز مَنَاطَ المطورين على البناء فوقها بأقل تكاليف. الخطوة العملية: تخصيص جزء من ميزانية التحول الرقمي لتطوير منصات بيانات مفتوحة والحفاظ عليها كأولوية تسبق التطبيقات.
 - الاستثمار في رأس المال البشري الرقمي كرافعة مضاعفة، بتصميم برامج تدريب تستهدف تطوير التطبيقات القائمة على البيانات الحضرية المفتوحة لا التدريب الرقمي العام.
 - إعادة النظر في نماذج الأعمال القائمة على احتكار البيانات.
 - الاستثمار في البحث والتطوير الموجه نحو التحديات الحضرية القابلة للتحقق بدلا من الإدعاءات العامة، والتركيز على تطوير حلول لمشكلات حضرية محددة وقابلة للقياس.
 - تطوير مصفوفة مؤشرات قياس معيارية للأثر الإقتصادي للتوائم الرقمية، مع بناء تعاون أكاديمي دولي لتطوير هذه المصفوفة.

قائمة المراجع:

- (EEA), E.E, (2025), Exceedance of Air Quality Standards in Europe. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/en/european-zero-pollution-dashboards/indicators/exceedance-of-air-quality-standards-in-europe-indicat>.
- Alberto, G., & Riccardo, P, (2020), The Evolution and Adaptive Governance of the 22@ Innovation District in Barcelona, *Urban Science*, 4(2), 1-17, <https://doi.org/10.3390/urbansci4020016>.
- Anthopoulos, L. G, (2017), Understanding Smart Cities: A Tool for Smart Government or an Industrial Trick? Public Administration and Information Technology. Springer Cham, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57015-0>.
- Azadi, S., Kasraian, D., Nourian, P., & van Wesemael, P, (2025), What Urban Digital Twins Contributed to Urban Planning and Decision Making? From a Systematic Literature Review Toward a Socio-Technical Research and Development Agenda. *Smart Cities*, 8(1), 1-24, <https://doi.org/10.3390/smartcities8010032>.
- Bastia, S. (2024). Intelligent Transportation Systems in Smart Cities Using IoT, *Supply Chain and Operations Decision Making*, 1(1), 7-12.
- Capello, R., & Nijkamp, P, (2019), Handbook of Regional Growth and Development Theories: Revised and Extended Second Edition (2 ed.).

- Cheltenham, UK & Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing, <https://doi.org/10.4337/9781788970020>.
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P, (2011), Smart Cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, 18(2), 65-82, <https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>.
 - Domingos, D. C., A. C Ismael, M., Guilherme, G., Prasniewski, E., Guez Assunção, W., Oyamada, M., Camargo, E, (2025), Scalability Evaluation of the Sentilo Platform Running on Containerized Resources. 24th Workshop on Performance of Computing and Communication Systems (WPerformance) (pp. 1-12), *Porto Alegre: Societate Brasileira de Computação (SBC)*, <https://doi.org/10.5753/wperformance.2025.8105>.
 - Econòmica, G. d, (2025), Barcelona in Figures 2025. Ajuntament de Barcelona. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11703/144377>.
 - European Commission, (2014), Sentilo: Sensor and actuator platform for smart cities-Case study report. European Commission, Interoperable Europe, Retrieved from <https://interoperable.europe.ec.europa.eu/collection/egovernment/document/sentilo-sensor-and-actuator-platform-smart-cities>.
 - Eurostat, (2024), City Statistics-Urban Audit, *European Commission*. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/web/cities/database>.
 - Francisco, A., Mohammadi, N., & Taylor, J, (2020), Smart City Digital Twin–Enabled Energy Management: Toward Real-Time Urban Building Energy Benchmarking, *Journal of Management in Engineering*, 36(2), 1-11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000741](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000741).
 - Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. *IEEE Access*, 8, 108952-108971, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358>.
 - Grieves, M., & Vickers, J, (2017), Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In S. I. Publishing (Ed.), *Transdisciplinary perspectives on complex systems: New findings and approaches* (pp. 85-113). Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4.
 - Hollands, R. G, (2008), Will the real smart city please stand up? *City*, 12(3), 303-320, <https://doi.org/10.1080/13604810802479126>.
 - Huang, H., & Tsou, J, (2025), From Concept to Reality: A Systematic Review of Urban Digital Twin and Their Applications in Smart Cities. In Springer (Ed.), *Advances in Information Technology in Civil and Building Engineering: Proceedings of ICCCBE 2024* (Vol. 1, pp. 536-557), Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-031-84208-5_40.
 - IMD World Competitiveness, C, (2024), IMD Smart City Index 2024. IMD Business School. Récupéré sur <https://www.coit.es/sites/default/files/imd-smartcityindex-2024-full-report.pdf>.

- Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., & Hicks, B. (2020). Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, (29), 36-52. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.02.002>.
- Koman, G., & Krúpová, S. (2025). Integrating Logistics and Information Systems in Urban Waste Management: The Road to a Sustainable Smart City. *LOGI – Scientific Journal on Transport and Logistics*, 16(1), 25-36. <https://doi.org/10.2478/logi-2025-0003>
- Manmeet, S., & Suhaib, A, (2021), IoT based smart water management systems: A systematic review, *Materials Today: Proceedings*, 46(11), 5211-5218, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.588>.
- Mora, L., Deakin, M., & Bolici, R, (2017), The First Two Decades of Smart-City Research: A Bibliometric Analysis, *Journal of Urban Technology*, 24(2), 1-27, <https://doi.org/10.1080/10630732.2017.1285123>.
- Mori Memorial Foundation, I. f, (2024), *Global Power City Index 2024*, Mori Building Co, Retrieved from https://mori-m-foundation.or.jp/pdf/GPCI2024_release_en.pdf.
- North, D. C, (1990), Institutions, Institutional Change and Economic Performance. (C. U. Press, Ed.).
- Ostrom, E. (1990), Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action. (C. U. Press, Ed.).
- Parker, G., Van Alstyne, M., & Choudary, S, P, (2016), Platform revolution: How networked markets are transforming the economy and how to make them work for you, (pp. 20-30), W. W. Norton & Company.
- Potts, J., Torrance, A. W., Harhoff, D., & von Hippel, E. (2023). Profiting from Data Commons: Theory, Evidence, and Strategy Implications. *Strategy Science*, 8(3), 329-347. <https://doi.org/10.1287/stsc.2021.0080>.
- Rochet, J.-C., & Tirole, J, (2003), Platform Competition in Two-Sided Markets, *Journal of the European Economic Association*, 1(4), 990-1029, <https://doi.org/10.1162/154247603322493212>.
- Ruhlandt, R.W, (2018), The governance of smart cities: A systematic literature review, *Cities*, (81),1-23, <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.02.014>.
- Samuelson, P. A, (1954), The pure theory of public expenditure, *Review of Economics and Statistics*, 36(4), 387-389.
- SDG Local Action, (2025, August 11), Sentilo: *Open source by the City of Barcelona, Spain*. Retrieved from <https://sdglocalaction.org/sentilo-iot>.
- Vanolo, A, (2014), Smart mentality: The Smart City as Disciplinary Strategy, *Urban Studies*, 51(5), <https://doi.org/10.1177/0042098013494427>.
- Weil, C., Elias Biri, S., Longchamp, R., Golay, F., & Alahi, A, (2023), Urban Digital Twin Challenges: A Systematic Review and Perspectives for Sustainable Smart Cities, *Sustainable Cities and Society*, 99, 1-15, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104862>.