

التوأّم الرقمي كآلية لتعزيز الذكاء الإقتصادي وبناء المرونة التنافسية الحضرية: دراسة حالة سنغافورة

Digital Twin as a Mechanism for Enhancing Economic Intelligence and Building Urban Competitive Resilience: The Case of Singapore

ط.د. بن طلحة عبد الغني¹ / مخبر دراسات إستراتيجيات التنويع الإقتصادي لتحقيق التنمية المستدامة، المركز الجامعي عبد

الحفيظ بوالصوف ميلّة (الجزائر)، bentalha.abdelghani@centre-univ-mila.dz

د. ركيمة فارس / مخبر دراسات إستراتيجيات التنويع الإقتصادي لتحقيق التنمية المستدامة، المركز الجامعي عبد الحفيظ

بوالصوف ميلّة (الجزائر)، F.rekima@centre-univ-mila.dz

تاريخ النشر: 2025 / 12 / 29

تاريخ القبول: 2025 / 12 / 25

تاريخ الاستلام: 2025/10 / 10

ملخص

تستكشف هذه الدراسة الدور المحوري للتوأّم الرقمي كآلية مبتكرة لتعزيز الذكاء الإقتصادي والمرونة التنافسية الحضرية، مع التركيز على سنغافورة كدراسة حالة، تتناول الدراسة كيف إستفادت سنغافورة من مشروعها الوطني (Virtual Singapore) لتعزيز ذكائها الإقتصادي عبر جمع وتحليل البيانات الحضرية الشاملة وتوفير رؤى إستراتيجية. خلصت الدراسة إلى أن تبني سنغافورة لتقنية التوأّم الرقمي من خلال مشروعها الوطني (Virtual Singapore) قد ساهم بشكل مباشر في تعزيز ذكائها الإقتصادي، وهو ما إنعكس في النمو المستمر لمساهمة الإقتصاد الرقمي في الناتج المحلي الإجمالي، مما مكن المدينة من بناء مرونة تنافسية حضرية قوية وقدرة إستباقية على الإستجابة للصدمات وتعزيز قدرتها التنافسية على المدى الطويل.

الكلمات المفتاحية: التوأّم الرقمي، الذكاء الإقتصادي، المرونة التنافسية الحضرية، المدن الذكية، سنغافورة الافتراضية

تصنيف JEL: L86 ؛ D80 ؛ R11

Abstract:

This study explores the pivotal role of digital twins as an innovative mechanism for enhancing economic intelligence and urban competitiveness, focusing on Singapore as a case study. The study examines how Singapore has leveraged its national project (Virtual Singapore) to enhance its economic intelligence by collecting and analyzing comprehensive urban data and providing strategic insights.

The study concludes that Singapore's adoption of digital twin technology through its Virtual Singapore project has directly contributed to enhancing its economic intelligence. This is reflected in the continued growth of the digital economy's contribution to GDP, enabling the city to build strong urban competitiveness, proactively respond to shocks, and enhance its long-term competitiveness.

Keywords: Digital Twins, Economic Intelligence, Urban Competitive Resilience, Smart Cities, virtual Singapore

Jel Classification Codes : L86 ؛ D80 ؛ R11

¹ المؤلف المرسل: بن طلحة عبد الغني، bentalha.abdelghani@centre-univ-mila.dz

1- تمهيد :

يشهد العالم تحولات متسارعة تفرض على المدن تحديات غير مسبقة، تتراوح بين التغيرات المناخية والأزمات الصحية العالمية وصولاً إلى التقلبات الاقتصادية الحادة والمنافسة الشرسة على إستقطاب الإستثمارات والمواهب، وفي هذا السياق لم تعد النماذج التقليدية لإدارة المدن والتخطيط الحضري كافية لمواجهة هذه التعقيدات، لقد برز مفهوم المدينة الذكية كإستجابة إستراتيجية لهذه التحديات حيث تسعى المدن إلى توظيف التكنولوجيا الرقمية والبيانات لتحسين جودة الحياة وتعزيز الكفاءة التشغيلية وتحقيق التنمية المستدامة، وفي قلب هذا التحول الرقمي تظهر تقنية التوأمة الرقمي كأداة ثورية تمتلك القدرة على إحداث نقلة نوعية في كيفية فهمنا وإدارتنا للأنظمة الحضرية المعقدة.

يمكن تعريف التوأمة الرقمي بأنه تمثيل إفتراضي ديناميكي لكائن أو نظام مادي، يتم تحديثه باستمرار ببيانات من العالم الحقيقي يتجاوز كونه مجرد نموذج ثلاثي الأبعاد، فهو نظام بيئي متكامل يربط بين العالم المادي والرقمي، مما يسمح بالمراقبة والتحليل وكذا المحاكاة والتنبؤ بأداء الأصول والعمليات الحضرية، هذه القدرات المتقدمة تفتح آفاقاً جديدة لتعزيز مفهومين حيويين لبقاء وإزدهار المدن في القرن الحادي والعشرين هما الذكاء الاقتصادي والمرونة التنافسية الحضرية. (Sharma, Kosasih, Zhang, Brintrup, & Calinescu, 2022, p. 13)

يمثل الذكاء الاقتصادي القدرة على جمع وتحليل المعلومات الإستراتيجية لإتخاذ قرارات إقتصادية مستنيرة، وهو ما يمكن للتوأمة الرقمي أن يدعمه بفعالية من خلال توفير بيانات دقيقة وشاملة حول مختلف جوانب الإقتصاد الحضري، أما المرونة التنافسية الحضرية فتشير إلى قدرة المدينة على الصمود في وجه الصدمات والتكيف مع التغيرات مع الحفاظ على جاذبيتها التنافسية، وهنا يلعب التوأمة الرقمي دوراً حاسماً من خلال تمكين المخططين من محاكاة تأثيرات الأزمات المحتملة وإختبار إستراتيجيات الإستجابة المختلفة في بيئة إفتراضية آمنة.

تعتبر سنغافورة مثالا عالميا رائدا في تبني هذه التقنية على المستوى الوطني من خلال مشروع سنغافورة الافتراضية "Virtual Singapore"، لقد أدركت هذه الدولة-المدينة، بفضل رؤيتها الإستشرافية الإمكانات الهائلة للتوأمة الرقمي كأداة إستراتيجية لبناء مستقبل مستدام ومزدهر .

يسعى هذا المقال من خلال دراسة هذه التجربة الرائدة إلى تحليل العلاقة العميقة بين التوأمة الرقمي والذكاء الاقتصادي والمرونة التنافسية الحضرية، وتقديم رؤى قيمة يمكن أن تلهم المدن الأخرى في جميع أنحاء العالم.

1.1- إشكالية البحث :

بالرغم من الإهتمام الأكاديمي المتزايد بتقنية التوأمة الرقمي في مجالات الهندسة والتصنيع والتخطيط الحضري، إلا أن هناك فجوة بحثية واضحة في إستكشاف دورها كآلية ممنهجة لتعزيز الذكاء الاقتصادي وبناء المرونة التنافسية الحضرية بشكل خاص، وبناءاً على ما سبق يمكن صياغة التساؤل الرئيسي للدراسة على النحو التالي:

كيف يمكن توظيف تقنية التوأمة الرقمي كآلية فعالة لتعزيز ممارسات الذكاء الاقتصادي وبناء أسس المرونة التنافسية الحضرية، وما هي الدروس المستفادة من تجربة سنغافورة في هذا المجال؟
-الأسئلة الفرعية:

تتفرع عن هذا التساؤل الرئيسي الأسئلة الفرعية التالية:

- ما هو الإطار المفاهيمي للعلاقة بين التوأم الرقمي، الذكاء الاقتصادي، والمرونة التنافسية الحضرية؟
- كيف تساهم سنغافورة الافتراضية في تمكين عمليات جمع وتحليل البيانات لأغراض الذكاء الاقتصادي؟
- ما هي الآليات المحددة التي من خلالها يعزز التوأم الرقمي المرونة التنافسية الحضرية في سنغافورة بأبعادها المختلفة (الاقتصادية والاجتماعية والبيئية)؟
- ما هي أبرز التحديات التي تواجه تطبيق التوأم الرقمي على المستوى الحضري، وما هي الدروس المستفادة من تجربة سنغافورة للتغلب عليها؟

2.I- فرضيات البحث : للإجابة على تساؤلات الدراسة ننتقل من الفرضيات التالية :

- 1.2.I-الفرضية الرئيسية : يوجد تأثير سببي إيجابي ومباشر بين تبني تقنية التوأم الرقمي على مستوى المدينة وبين تعزيز قدراتها في مجال الذكاء الاقتصادي، مما يؤدي إلى بناء مرونة تنافسية حضرية. أكثر إستباقية وقوة.
- 2.2.I- الفرضيات الفرعية :

- 1- يعمل التوأم الرقمي كمنصة تكاملية للبيانات، مما يسهل رصد وتحليل المؤشرات الاقتصادية والاجتماعية والبيئية بشكل آني وشامل، وهو ما يعزز دقة مخرجات الذكاء الاقتصادي.
- 2- يمكن التوأم الرقمي صانعي القرار من محاكاة وتقييم الآثار المحتملة للسياسات الاقتصادية قبل تنفيذها، مما يقلل المخاطر ويعزز كفاءة تخصيص الموارد.
- 3- يساهم التوأم الرقمي في بناء المرونة التنافسية من خلال نمذجة تأثير الصدمات الخارجية على إقتصاد المدينة مما يسمح بوضع خطط استجابة وتكيف أكثر فعالية.
- 3.I- أهداف البحث : تهدف هذه الدراسة بشكل رئيسي إلى تحقيق ما يلي:
- تحليل وتأسيس المفاهيم الأساسية للدراسة وبلورة إطار نظري متكامل يوضح العلاقات المتبادلة بينها.
- دراسة وتحليل تجربة "سنغافورة الافتراضية" كنموذج تطبيقي رائد، وتحديد الآليات المحددة التي يتم من خلالها تعزيز الذكاء الاقتصادي والمرونة التنافسية.
- تقييم الفوائد والتحديات المرتبطة بتنفيذ التوأم الرقمي الحضري.
- إستخلاص دروس مستفادة وتقديم توصيات قابلة للتطبيق للمدن التي تسعى إلى تبني مسارات تنموية مماثلة.
- 4.I- أهمية البحث :

تستمد هذه الدراسة أهميتها من الناحية العلمية في كونها تساهم في سد فجوة معرفية في الأدبيات الأكاديمية المتعلقة بالمدن الذكية والتحول الرقمي، من خلال تقديم تحليل معمق للعلاقة بين التوأم الرقمي والنتائج الاقتصادية الكلية للمدينة، كما تقدم إطار نظري يمكن البناء عليه في دراسات مستقبلية.

أما من الناحية العملية فهي تقدم رؤى قيمة لصناع القرار والمخططين الحضريين، والمسؤولين الحكوميين حول كيفية الاستفادة من تقنية التوأم الرقمي كأداة إستراتيجية لتحقيق أهداف التنمية الاقتصادية والمرونة، كما تقدم الدروس المستفادة من تجربة سنغافورة كنموذج يمكن تكيفه وتطبيقه في مدن أخرى، إضافة إلى أنها تسلط الضوء على كيفية إستخدام التكنولوجيا لبناء مدن أكثر قدرة على مواجهة التحديات، وتساهم في النقاش العام حول مستقبل الحياة الحضرية وكيفية جعل المدن أماكن أفضل للعيش والعمل.

- 5.I- منهجية البحث : لتحقيق أهداف الدراسة والإجابة على تساؤلاتها إعتدنا على المنهج الوصفي التحليلي في بناء الإطار النظري للدراسة، من خلال مراجعة وتحليل الأدبيات الأكاديمية وكذا التقارير المتخصصة، المقالات العلمية المتعلقة بمفاهيم التوأم الرقمي والذكاء الاقتصادي والمرونة الحضرية، كما إعتدنا على منهج دراسة الحالة للتعلم في تجربة سنغافورة، حيث تم جمع البيانات من مصادر ثانوية متنوعة تشمل التقارير الحكومية

الرسمية الصادرة عن هيئة الأراضي السنغافورية (SLA) والمؤسسة الوطنية للبحوث (NRF)، وكذا المواقع الإلكترونية للمشاريع، والأوراق البحثية ومختلف المقالات الإخبارية المتخصصة التي تناولت سنغافورة الافتراضية وتم تحليل هذه البيانات بشكل نوعي لاستخلاص النتائج والدروس المستفادة.

6.I – محاور البحث :

المحور الأول: الإطار المفاهيمي للعلاقة بين التوأمة الرقمي، الذكاء الاقتصادي، والمرونة التنافسية الحضرية
المحور الثاني: العلاقة التكاملية بين التوأمة الرقمي، الذكاء الاقتصادي، والمرونة التنافسية الحضرية
المحور الثالث: دراسة حالة سنغافورة ومشروع سنغافورة الافتراضية "Virtual Singapore"
المحور الرابع: التحديات والدروس المستفادة من تجربة سنغافورة

II - الإطار المفاهيمي والعلاقة بين التوأمة الرقمي، الذكاء الاقتصادي والمرونة التنافسية الحضرية :

لفهم الدور الذي يلعبه التوأمة الرقمي كآلية لتعزيز الذكاء الاقتصادي وبناء المرونة التنافسية الحضرية، لا بد من تأسيس إطار نظري يوضح العلاقات الديناميكية بين هذه المفاهيم الثلاثة، يقوم هذا الإطار على فرضية أن التوأمة الرقمي يعمل كبنية تحتية تكنولوجية تمكينية تغذي عمليات الذكاء الاقتصادي، والتي بدورها تشكل الأداة الإستراتيجية لبناء وتعزيز المرونة التنافسية للمدينة.

II-1- التوأمة الرقمي: المفهوم، التطور، والمكونات الأساسية :

يمثل التوأمة الرقمي (Digital Twin) أبرز الابتكارات التكنولوجية التي ظهرت في السنوات الأخيرة، والتي تعد بإحداث ثورة في كيفية تصميمنا وإدارتنا وتحسيننا للأنظمة المعقدة، وقد إكتسب زخما كبيرا مع تطور إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة، ومن الضروري تمييز التوأمة الرقمي عن المفاهيم الأخرى مثل النماذج ثلاثية الأبعاد (3D Models) أو نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، في حين أن هذه الأدوات تشكل مكونات أساسية في التوأمة الرقمي إلا أنه يتجاوزها بشكل كبير.

II 1.1-تعريف التوأمة الرقمي: عرف على أنه : "تمثيل افتراضي ديناميكي ومتزامن لكيان حضري مادي يربط بين العالم المادي والرقمي من خلال تدفق مستمر للبيانات ثنائية الإتجاه، ما يسمح بالتحليل والمراقبة والمحاكاة والتنبؤ والتفاعل مع النظام الحضري في الوقت الفعلي". (Batty, 2018, p. 817)، كما تم تعريفه على أنه "تمثيل افتراضي ديناميكي لكيان أو نظام مادي يتم تحديثه ببيانات آنية من نظيره المادي، ويستخدم المحاكاة والتعلم الآلي والذكاء الاصطناعي للمساعدة في إتخاذ القرار" (Abdelrahman, et al., 2025, p. 2)، وفي السياق الحضري يتجاوز التوأمة الرقمي كونه مجرد نموذج ثلاثي الأبعاد للمدينة، فهو بيئة حية ومتكاملة تربط بين العالم المادي والرقمي.

يجمع التوأمة الرقمي بيانات ضخمة حول كل جانب من جوانب المدينة من خلال شبكة واسعة من أجهزة الاستشعار وإنترنت الأشياء (IoT)، ومن تدفقات حركة المرور وإستهلاك الطاقة إلى جودة الهواء والنشاط الاقتصادي، هذه القدرة على الجمع والتكامل تجعله الأساس لطبقة التحليل التالية.

نشأ المفهوم في بداياته مع وكالة ناسا في برامجها الفضائية لمحاكاة المركبات في الفضاء وتشخيص مشكلاتها عن بعد، ثم إنتقل بقوة إلى قطاع الصناعة التحويلية في إطار الثورة الصناعية الرابعة لمراقبة وتحسين أداء الآلات وخطوط الإنتاج، أما تطبيقه على مستوى المدينة بأكملها فيمثل قفزة نوعية في التعقيد والنطاق، حيث لا يتم نمذجة أصل واحد بل "نظام من الأنظمة" شديد التعقيد والترابط، يشمل البنية التحتية والبيئة والإقتصاد وكذا

الحركة السكانية. (Ferr'e-Bigorra, Gasals, & Gangolells, 2022, p. 1)



II-2.1- الخصائص الجوهرية للتوأمة الرقمي: يتميز التوأمة الرقمي بعدة خصائص جوهرية هي:

- الربط المادي-الرقمي: رابط صريح ومستمر بين الكيان المادي (مبنى، شبكة مرور، مدينة) ونظيره الرقمي.
- التحديث الآني: تدفق البيانات من أجهزة الإستشعار في العالم المادي لتحديث النموذج الرقمي بشكل فوري أو شبه فوري.

- التفاعل ثنائي الإتجاه: لا يقتصر الأمر على إستقبال البيانات، بل يمكن إستخدام النموذج الرقمي لإرسال أوامر

أو إجراء تعديلات على النظام المادي، مثل تعديل توقيت إشارات المرور بناء على محاكاة للتدفق.
- القدرة التنبؤية: إستخدام البيانات التاريخية والآنية ونماذج الذكاء الإصطناعي لمحاكاة السيناريوهات المستقبلية والتنبؤ بسلوك النظام

II-3.1- المكونات الأساسية للتوأمة الرقمي الحضري: يتكون التوأمة الرقمي الحضري من طبقات متكاملة تعمل معا لتوفير تمثيل شامل وديناميكي للمدينة هي: (Peldon, Banihashemi, LeNguyen, & Derrible, 2024, p. 5)- - الطبقة المادية: تشمل جميع الأصول الملموسة في المدينة: المباني، الشوارع، شبكات المياه والكهرباء، وسائل النقل، الحدائق، والمواطنين أنفسهم.

- طبقة البيانات والإستشعار: تتكون من شبكة واسعة من أجهزة إستشعار إنترنت الأشياء، كاميرات المراقبة، بيانات الأقمار الصناعية، أنظمة المعلومات الجغرافية (GIS)، بيانات المعاملات الإقتصادية وبيانات الهواتف المحمولة مجهولة المصدر، والتي تقوم بجمع كميات كبيرة جدا من البيانات الآنية والمتنوعة.

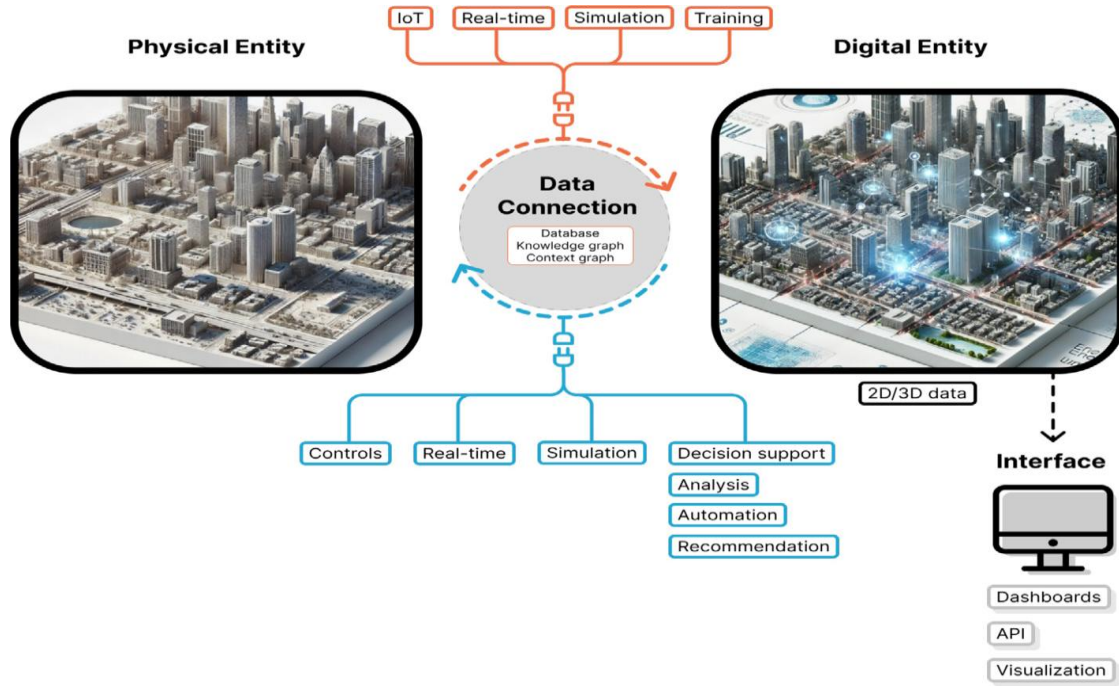
- طبقة الإتصال: تشمل البنية التحتية للإتصالات مثل شبكات الجيل الخامس (5G) والألياف البصرية، التي تضمن نقل هذه البيانات الضخمة بسرعة وموثوقية عالية بين الطبقة المادية والطبقة الافتراضية.

- الطبقة الافتراضية والنمذجة: هي قلب التوأمة الرقمي، إذ يتم إنشاء نموذج رقمي غني بالمعلومات للمدينة، هذا النموذج لا يمثل الشكل الهندسي للأصول فقط، بل يدمج أيضا بيانات وصفية وعلائقية مثل نوع وسنة الإنشاء وإستهلاك الطاقة وعدد السكان...إلخ.

- طبقة التحليل والمحاكاة: هي عقل التوأمة الرقمي إذ تستخدم أدوات الذكاء الإصطناعي والتعلم الآلي وأدوات البيانات الضخمة لمعالجة البيانات الواردة، واكتشاف الأنماط وتشغيل نماذج المحاكاة والتنبؤ.

- طبقة الخدمة والتفاعل: هي الواجهة التي يتفاعل من خلالها المستخدمون (مخططو المدن، صناع السياسات، الشركات) مع التوأمة الرقمي، عبر لوحات معلومات أو تطبيقات الواقع الافتراضي أو الواقع المعزز.

الشكل (1): مكونات التوأّم الرقمي



المصدر: (Abdelrahman, et al., 2025, p. 3)

II-4.1-أجزاء التوأّم الرقمي:

لا يقتصر التوأّم الرقمي على كونه مجرد نموذج ثلاثي الأبعاد أو محاكاة ثابتة، بل هو نظام حي وديناميكي يتفاعل مع نظيره المادي، ويتكون التوأّم الرقمي عادة من ثلاثة أجزاء رئيسية: (Oliver & Kitchin, 2025, p. 4404)

-المنتج المادي: الكيان الحقيقي الذي يتم إنشاء نسخة رقمية له قد يكون شيء من محرك طائرة إلى مبنى أو مدينة.

-التوأّم الرقمي: النسخة الافتراضية التي تعكس بدقة الخصائص والسلوكيات والعمليات للكيان المادي، يتم بناء هذا التوأّم باستخدام بيانات التصميم وبيانات التشغيل والبيانات التاريخية.

-الروابط بين المنتج المادي والتوأّم الرقمي: وهي الآليات التي تتيح تدفق البيانات ثنائي الإتجاه بين الكيان المادي ونسخته الرقمية، تشمل هذه الروابط أجهزة الإستشعار التي تجمع البيانات من العالم المادي ومنصات إنترنت الأشياء التي تنقل هذه البيانات وخوارزميات التحليل والذكاء الإصطناعي التي تعالجها وتستخدمها لتحديث التوأّم الرقمي، كما تسمح هذه الروابط بإرسال الأوامر والتحكم من التوأّم الرقمي إلى الكيان المادي لتحسين أدائه.

تتيح هذه المكونات للتوأّم الرقمي قدرات فريدة تشمل المراقبة عن بعد والتشخيص التنبؤي، تحسين الأداء وإختبار السيناريوهات الافتراضية وحتى التدريب، وفي السياق الحضري يمكن للتوأّم الرقمي للمدينة أن يمثل البنية التحتية وتدفقات المرور وإستهلاك الطاقة وتوزيع السكان وحتى الظروف البيئية، مما يوفر رؤية شاملة وديناميكية للمدينة بأكملها. (Yang & Heechul, 2021, p. 372)

في سياق التحول الرقمي العالمي المتسارع، يمثل سوق التوأّم الرقمي والمدن الذكية محركاً رئيسياً للنمو الاقتصادي، يلخص الجدول رقم 1 أدناه أبرز المؤشرات العالمية التي تعكس حجم هذا السوق ومعدلات نموه المتوقعة، مما يؤكد أهمية هذه التقنية كأداة لتعزيز الكفاءة التشغيلية والإستدامة الحضرية.

الجدول 1: إحصائيات سوق التوأّم الرقمي والمدن الذكية (2032-2023)

المؤشر	القيمة/النسبة
حجم سوق التوأّم الرقمي العالمي (2025)	242.11 مليار دولار
معدل النمو السنوي المركب (CAGR) لسوق التوأّم الرقمي (2032-2025)	39.8%
حجم سوق تكنولوجيا التوأّم الرقمي (2023)	17 مليار دولار
حجم سوق تكنولوجيا التوأّم الرقمي المتوقع (2030)	154 مليار دولار
معدل النمو السنوي المركب (CAGR) لسوق تكنولوجيا التوأّم الرقمي (2030-2023)	37.4%
المديرين التنفيذيين الذين يخططون لدمج التوأّم الرقمية بحلول 2028	59%
تسريع إنشاء المشاريع الجديدة بفضل التوأّم الرقمية	تقليل الوقت بنسبة تصل إلى 60%
خفض التكاليف بفضل التوأّم الرقمية	15% تقريبا
تحسين متوسط في المبيعات ووقت الاستجابة والكفاءة التشغيلية	15%
مكاسب في أداء النظام بفضل التوأّم الرقمية	< 25%
حجم سوق المدن الذكية (2024)	72.52 مليار دولار
حجم سوق المدن الذكية المتوقع (2029)	115.3 مليار دولار
معدل النمو السنوي المركب (CAGR) لسوق المدن الذكية (2029-2024)	9.72%
المنظمات التي تحدد الاستدامة كدافع رئيسي لاستثماراتها في التوأّم الرقمية	57%
تحسين متوسط في مقاييس الاستدامة بفضل التوأّم الرقمية	16%

المصدر: من تجميع الباحثين اعتمادا على تقرير شركة Global Market Insights، المنشور عام 2024

(تم الإطلاع عليه في: 2025/09/04) <https://www.gminsights.com/ar/industry-analysis/digital-twin-market>

يظهر الجدول نموا هائلا في سوق التوأّم الرقمي والمدن الذكية بمعدلات نمو سنوية مركبة مرتفعة (39.8% للتوأّم الرقمي)، مما يعكس التحول العالمي نحو الرقمنة الحضرية وإعتماد هذه التقنيات كأدوات أساسية لتعزيز الكفاءة التشغيلية وتحقيق الإستدامة، كما يشير إلى أن التوأّم الرقمية ليست مجرد اتجاه تكنولوجي بل هي محرك رئيسي لخفض التكاليف وتسريع المشاريع وتحسين الأداء العام للأنظمة الحضرية.

II-2- الذكاء الإقتصادي: المفهوم الأبعاد ودوره في التنمية الحضرية:

II-2-1- تعريف الذكاء الإقتصادي :

برز الذكاء الإقتصادي نتيجة ظهور الإقتصاد المعرفي وإقتصاديات السوق، وقد تزايد الإهتمام به في نهاية العقد الأخير من القرن العشرين في الولايات المتحدة الأمريكية وقدمت له عدة تعاريف أهمها:

-تعريف هارولد ويلنسي 1967 : الذكاء الإقتصادي هو العملية التي تحدد النشاط الإقتصادي لإنتاج المعرفة التي تخدم الأهداف الإقتصادية والإستراتيجية للمشروع، خزنت وأنتجت في إطار قانوني وذات مصادر مفتوحة." (بدري، 2014، صفحة 63)

-تعريف فيليب بومار 1991 : الذكاء الإقتصادي ليس مجرد فن الملاحظة بل هو ممارسة هجومية ودفاعية للمعلومات، الهدف منه يكمن في الربط بين العديد من المجالات بغية خدمة الأهداف الإستراتيجية والتكتيكية للمؤسسة، فهو بذلك أداة ربط بين سلوك المؤسسة ومعرفتها. (Philippe, 1991, p. 29)

-تعريف Marter Henri 1994 : الذكاء الإقتصادي هو البحث عن المعلومات ومعالجتها بالشكل الذي يجعلها مفيدة ومن ثم تبليغها للأطراف المسؤولة عن إتخاذ القرار. (Moinet, 2010, p. 27)

-ويرى آخرون أنه مفهوم إستراتيجي يهدف لتعزيز القدرة التنافسية للمؤسسات والدول من خلال جمع وتحليل وتوزيع المعلومات الإستراتيجية بطريقة أخلاقية وقانونية، يتجاوز الذكاء الإقتصادي مجرد جمع البيانات ليشمل فهم السياق، تحليل الإتجاهات والتنبؤ بالتطورات المستقبلية لدعم إتخاذ القرارات الإستراتيجية. وفي سياق المدينة يهدف الذكاء الإقتصادي إلى فهم الديناميكيات الإقتصادية المعقدة، وتحديد الفرص والتهديدات وتوقع الإتجاهات المستقبلية، وهنا تبرز العلاقة التكاملية مع التوأمة الرقمي حيث يوفر الأخير البيانات الخام والمنصة التحليلية اللازمة لتفعيل الذكاء الاقتصادي، فبدلاً من الإعتماد على بيانات متفرقة ومتقدمة يمكن لصناع القرار إستخدام التوأمة الرقمي لإجراء تحليلات آنية، ومحاكاة تأثير السياسات الإقتصادية المختلفة (مثل إنشاء منطقة تجارية جديدة أو تغيير اللوائح الضريبية) في بيئة إفتراضية آمنة قبل تطبيقها على أرض الواقع. (Mohsen & Bilge Gokhan, 2023, p. 5)

II-2-2- أبعاد الذكاء الإقتصادي : يمكن تقسيم الذكاء الإقتصادي إلى عدة أبعاد رئيسية:

-اليقظة : المراقبة المستمرة للبيئة الاقتصادية والتنافسية للكشف عن الفرص والتهديدات الناشئة. (وسام، 2015-2016، صفحة 16)

- حماية الإرث المعلوماتي : تأمين الأصول المعرفية والمعلوماتية للمؤسسة من التجسس الصناعي أو التسرب - الضغط والتأثير : إستخدام المعلومات والتأثير على صانعي القرار لخدمة المصالح الاقتصادية. (أسماء و بوشيخي، 2018، صفحة 99)

- إدارة المعرفة : تنظيم وتخزين واسترجاع المعرفة لضمان سهولة الوصول إليها والاستفادة منها. -المقارنة المرجعية : مقارنة الأداء مع أفضل الممارسات في الصناعة وبين المدن لتحديد مجالات التحسين. II-2-3- خصائص الذكاء الإقتصادي : يتميز الذكاء الإقتصادي بعدة خصائص تميزه عن باقي المفاهيم وهي:

-الإستخدام الإستراتيجي للمعلومات التي تعتبر أساساً الميزة التنافسية في عملية إتخاذ القرار. -السرية في نشر المعلومات مع تحصيّلها بطرق قانونية ومشروعة. (دندينة، 2021، صفحة 135) -تنسيق جهود الأعوان الإقتصاديين وتشكيل جماعات الضغط والتأثير في البيئة الداخلية والخارجية. -إدماج المعارف الإقتصادية، العلمية، التقنية، القانونية وكذا الجيوسياسية. -توفير علاقات قوية بين المؤسسات والإدارات وكذا الجامعات بفضل حيّازته للمعلومات وتمكين تبادلها. -ضمان حماية المشاريع من التهديدات الخارجية.

-تمكين المنافسين من إستغلال الفرص بواسطة الحصول على المعلومات النافعة. -التكيف مع القواعد الجديدة للسوق ومع التغيرات الداخلية والخارجية التي تواجه المشروع.

II-2-4- دور الذكاء الإقتصادي في التنمية الحضرية :

في سياق التنمية الحضرية يلعب الذكاء الإقتصادي دوراً حاسماً في تمكين المدن من: -تحديد القطاعات الاقتصادية الواعدة وجذب الإستثمارات. -فهم ديناميكيات سوق العمل وتطوير المهارات المطلوبة. -مراقبة المؤشرات الاقتصادية والتنبؤ بالركود أو النمو. -تقييم جاذبية المدينة للمواهب والشركات. - صياغة سياسات اقتصادية فعالة ومستنيرة.

عند تطبيق مفهوم الذكاء الاقتصادي على مستوى المدينة فإنه يأخذ أبعاداً جديدة تهدف لتعزيز جاذبيتها وتنافسيتها، ويمكن تسميته أيضاً "الذكاء الإقليمي" وتشمل أنشطته: (Willem & de Carvalho, 2015, p. 47)

- تحليل الجاذبية الإقليمية : فهم العوامل التي تجعل المدينة وجهة مفضلة للمستثمرين (الإستثمار الأجنبي المباشر) ، والمواهب (رأس المال البشري) ، والسياح وكذا الشركات الناشئة.
 - رسم خرائط النظم البيئية للإبتكار: تحديد وتحليل شبكات العلاقات بين الجامعات ومراكز البحث والشركات والحاضنات التكنولوجية، بهدف تعزيز التأزر والإبتكار.
 - المقارنة المعيارية التنافسية : مقارنة أداء المدينة بشكل منهجي مع المدن المنافسة على مؤشرات رئيسية مثل تكلفة ممارسة الأعمال، وجودة الحياة والبنية التحتية والمهارات المتاحة.
 - إستشراف المخاطر الاقتصادية : تحديد نقاط الضعف في اقتصاد المدينة، مثل الاعتماد المفرط على قطاع واحد، أو هشاشة سلاسل التوريد المحلية، أو التهديدات الناشئة عن التحولات التكنولوجية العالمية
- II-3- المرونة التنافسية الحضرية : المفهوم، الأبعاد والأهمية:**

تطور مفهوم المرونة الحضرية من مجرد القدرة على الصمود والتعافي من الصدمات إلى مفهوم المرونة التنافسية الأكثر شمولية، هذا المفهوم لا يقتصر على مواجهة الأزمات بل يشمل أيضا القدرة على الحفاظ على جاذبيتها التنافسية وتعزيزها في خضم هذه الإضطرابات (Chen, Yujie , Peng, Tingting , & Yiye , 2022, p. 1)، وهذا يعني أن المدينة المرنة تنافسيا لا تكتفي بالعودة إلى وضعها الطبيعي بل تسعى إلى الخروج من الأزمة بشكل أقوى وأكثر قدرة على جذب الإستثمارات والمواهب.

II-1.3- مفهوم المرونة الحضرية : هي قدرة المدن على الإستجابة والتعافي والتحول في مواجهة الصدمات والضغط

المختلفة، سواء كانت طبيعية كالكوارث او التغير المناخي، أو من صنع الإنسان كالأزمات الاقتصادية أو الهجمات الإرهابية أو حتى الأوبئة، ولا تقتصر المرونة على مجرد العودة إلى الحالة الأصلية، بل تشمل القدرة على التكيف والتعلم والتطور لتصبح المدينة أقوى وأكثر قدرة على الصمود في المستقبل. (Li, Xianzhong, Guangwen , & Zhang, 2022, p. 46952)، وعند إضافة البعد التنافسي تصبح المرونة التنافسية الحضرية هي قدرة المدينة على الحفاظ على موقعها التنافسي وتعزيزه في مواجهة التحديات، مع ضمان إستمرارية النمو الإقتصادي والإجتماعي.

II-2.3- أبعاد المرونة الحضرية : تتضمن أبعاد المرونة الحضرية عادة ما يلي :

- المرونة الاقتصادية : قدرة الاقتصاد الحضري على إمتصاص الصدمات والتكيف مع التغيرات الهيكلية
- المرونة الإجتماعية : قدرة المجتمع على التماسك، الدعم المتبادل، وتوفير الخدمات للسكان في أوقات الأزمات.
- المرونة البيئية : قدرة المدينة على إدارة مواردها والتكيف مع التغيرات المناخية، وتقليل البصمة البيئية
- المرونة البنية التحتية : قدرة الأنظمة الحيوية (النقل، الطاقة، المياه، الاتصالات) على الصمود أمام الاضطرابات والتعافي السريع.
- المرونة المؤسسية والحوكمة : قدرة المؤسسات الحكومية والخاصة على التنسيق، اتخاذ القرارات الفعالة، وتطبيق السياسات المرنة.

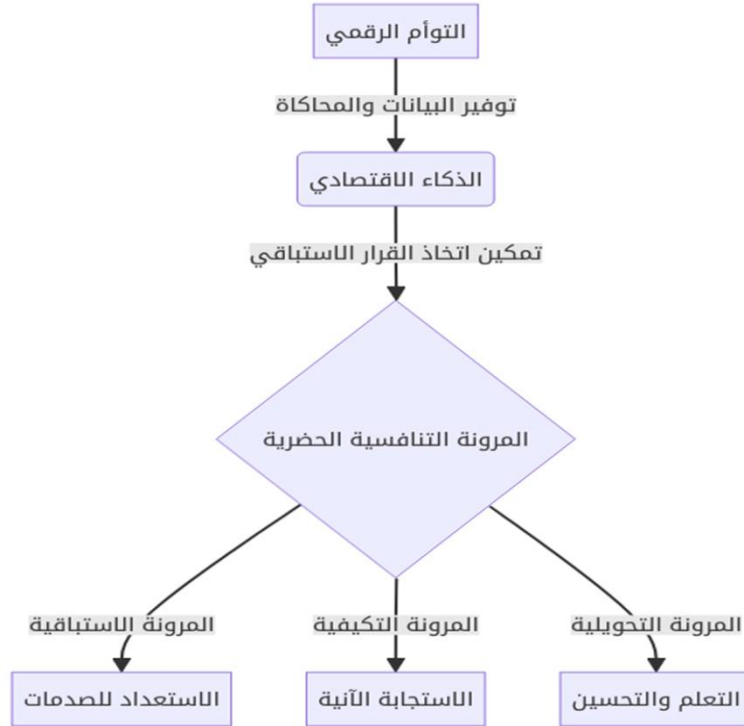
وفي عالم يتسم بالتقلب وعدم اليقين أصبحت المرونة التنافسية الحضرية ضرورة إستراتيجية للمدن، التي تسعى إلى جذب الإستثمارات وإستقطاب المواهب وتوفير بيئة مستقرة ومزدهرة لسكانها.

III- العلاقة التكاملية بين التوأم الرقمي، الذكاء الإقتصادي والمرونة التنافسية الحضرية

تتجاوز العلاقة بين التوأم الرقمي والذكاء الإقتصادي والمرونة التنافسية الحضرية، مجرد الإرتباط البسيط لتصل إلى مستوى التكامل والتغذية الراجعة الإيجابية، فالذكاء الإقتصادي لا يمكن أن يحقق أقصى إمكاناته دون البيانات والرؤى التي يوفرها التوأم الرقمي، والمرونة التنافسية الحضرية تعتمد بشكل كبير على

القرارات المستنيرة التي يتيحها الذكاء الإقتصادي المدعوم بالتوأمة الرقمي، ويمكن تصور هذه العلاقة كدورة مستمرة من التحسين وتعزيز المتبادل، كما يوضح الشكل الموالي:

الشكل 2: نموذج العلاقة التكاملية بين التوأمة الرقمي، الذكاء الإقتصادي والمرونة التنافسية الحضرية



المصدر: من إعداد الباحثين

III-1- التوأمة الرقمي كبنية تحتية للذكاء الإقتصادي : التوأمة الرقمي منصة غنية بالبيانات في الوقت الفعلي حول مختلف جوانب المدينة كتدفقات المرور وإستهلاك الطاقة وإستخدام الأراضي، الكثافة السكانية والأنشطة التجارية، فهذه البيانات عند تحليلها بإستخدام أدوات الذكاء الإصطناعي والتحليلات المتقدمة تتحول إلى رؤى إستراتيجية تدعم الذكاء الإقتصادي، على سبيل المثال يمكن للتوأمة الرقمي أن يكشف عن أنماط إستهلاك الطاقة أو يحدد المناطق التي تشهد نموا إقتصاديا أو يتنبأ بالتغيرات في سلوك المستهلكين، مما يمكن صانعي القرار من إتخاذ قرارات إقتصادية أكثر إستنارة.

ويعمل التوأمة الرقمي كبنية تحتية رقمية أساسية للذكاء الإقتصادي الحضري لأنه يوفر ما يلي:

-منصة بيانات موحدة : يجمع التوأمة الرقمي البيانات من جميع أنحاء المدينة في منصة موحدة، مما يكسر صوامع البيانات التقليدية ويوفر رؤية شاملة للوضع الإقتصادي والإجتماعي والبيئي، هذه البيانات المتكاملة ضرورية لتحليل الذكاء الإقتصادي.

-تحليل آني وتنبؤي : بفضل قدراته على معالجة البيانات في الوقت الفعلي وإستخدام نماذج الذكاء الإصطناعي، يمكن للتوأمة الرقمي أن يقدم تحليلات آنية وتنبؤات دقيقة حول الإتجاهات الاقتصادية وسلوك المستهلكين وتغيرات سوق العمل، هذه الرؤى تمكن صناع القرار من إتخاذ إجراءات إستباقية.

-إختبار السياسات الإقتصادية : يتيح التوأمة الرقمي محاكاة تأثير السياسات الإقتصادية المقترحة على مختلف القطاعات والمؤشرات، مما يساعد على تقييم فعاليتها وتعديلها قبل التنفيذ وبالتالي تعزيز كفاءة الذكاء الإقتصادي.

III-2- التوأّم الرقمي كأداة لتعزيز المرونة الحضرية: يتيح التوأّم الرقمي للمخططين والمسؤولين القدرة على محاكاة تأثير الصدمات المحتملة، مثل الفيضانات وإنقطاع التيار الكهربائي ومختلف الأزمات الصحية على أنظمة المدينة المختلفة، ويمكنهم اختبار إستراتيجيات إستجابة مختلفة في بيئة إفتراضية آمنة قبل تطبيقها في العالم الحقيقي مما يقلل من المخاطر والتكاليف، وعلى سبيل المثال يمكن محاكاة تأثير إغلاق طريق رئيسي على تدفقات المرور، أو تأثير موجة حر على إستهلاك الطاقة أو إنتشار وباء على الخدمات الصحية، هذه القدرة على التنبؤ وإختبار تزيد بشكل كبير من قدرة المدينة على الصمود والتعافي. (Zhu & Jiayi, 2025, p. 2).

بمجرد أن يتم تمكين الذكاء الإقتصادي بواسطة التوأّم الرقمي، فإنه يصبح قوة دافعة لبناء المرونة التنافسية الحضرية من خلال:

- تحديد نقاط الضعف والمخاطر: يساعد الذكاء الإقتصادي المدعوم بالتوأّم الرقمي على تحديد نقاط الضعف الهيكلية في الإقتصاد الحضري والمخاطر المحتملة، مثل الإعتماد المفرط على قطاع واحد أو نقص المهارات في قطاعات حيوية، هذا الفهم العميق هو الخطوة الأولى نحو بناء المرونة.

- تطوير إستراتيجيات التكيف: بناء على الرؤى المستخلصة، يمكن للذكاء الإقتصادي أن يوجه تطوير إستراتيجيات التكيف والتحول الإقتصادي، مثل تنوع القاعدة الإقتصادية أو الإستثمار في الصناعات الناشئة أو إعادة تأهيل القوى العاملة.

- تعزيز القدرة التنافسية: من خلال فهم أفضل للمشهد التنافسي العالمي وتحديد المزايا النسبية للمدينة يمكن للذكاء الإقتصادي أن يوجه الإستثمارات والسياسات لتعزيز القدرة التنافسية للمدينة وجذب المواهب ورأس المال.

III-3- الذكاء الإقتصادي والمرونة الحضرية كأهداف إستراتيجية: يعمل الذكاء الإقتصادي على توجيه الإستثمارات والسياسات نحو تعزيز النمو الإقتصادي المستدام، بينما تضمن المرونة الحضرية قدرة المدينة على الحفاظ على هذا النمو في مواجهة التحديات، والتوأّم الرقمي من خلال توفيره للبيانات والرؤى يصبح أداة لا غنى عنها لتحقيق هذه الأهداف الإستراتيجية، فهو يربط بين جمع المعلومات (الذكاء الاقتصادي) والقدرة على التكيف والصمود (المرونة الحضرية) في حلقة تغذية راجعة مستمرة.

إن المرونة التنافسية الحضرية ليست مجرد نتيجة بل هي أيضا عامل يغذي الدورة بأكملها، فمدينة أكثر مرونة وتنافسية تكون أكثر قدرة على:

- جذب الاستثمارات والإبتكار: المدن المرنة تجذب المزيد من الإستثمارات والشركات المبتكرة، مما يولد المزيد من البيانات ويغذي التوأّم الرقمي.

- تحسين جودة البيانات: مع نمو المدينة وتطورها، تتحسن جودة وتنوع البيانات المتاحة للتوأّم الرقمي، مما يعزز دقة الذكاء الإقتصادي.

- تطوير التوأّم الرقمي: الإستثمارات في المرونة والذكاء الإقتصادي يمكن أن توجه نحو تطوير وتحسين قدرات التوأّم الرقمي نفسه، مما يخلق حلقة إيجابية من النمو والتحسين المستمر.

IV- دراسة حالة سنغافورة ومشروع سنغافورة الإفتراضية "Virtual Singapore"

تعتبر سنغافورة- الدولة-المدينة الصغيرة في جنوب شرق آسيا ذات الموارد الطبيعية المحدودة- نموذجا عالميا رائدا في التخطيط الإستراتيجي طويل الأجل والتبني المبكر للتقنيات المتقدمة لتحقيق التنمية المستدامة والنمو الإقتصادي، ومنذ عقود أدركت سنغافورة أن محدودية مواردها الطبيعية ومساحتها الجغرافية تتطلب

نهجاً إستراتيجياً يعتمد على الابتكار والتخطيط طويل الأجل، وفي هذا السياق برز مشروع سنغافورة الافتراضية كأحد أبرز المبادرات الوطنية التي تجسد هذا التوجه.

وإدراكاً منها لأهمية البيانات والتكنولوجيا في تشكيل مستقبلها أطلقت سنغافورة مبادرة "الأمة الذكية" (Smart Nation) في عام 2014، والتي تهدف إلى تسخير التكنولوجيا لتحسين حياة المواطنين وتعزيز الفرص الاقتصادية، وبناء مجتمع أكثر مرونة، وفي صميم هذه المبادرة يبرز مشروع "Virtual Singapore" الذي تم إطلاقه عام 2015 كأحد أهم الركائز وهو أول توأمة رقمي وطني على مستوى العالم.

1-IV- مشروع سنغافورة الافتراضية (Virtual Singapore):

لم تكن رحلة سنغافورة نحو تبني التوأمة الرقمي وليدة الصدفة، بل هي نتاج رؤية إستراتيجية طويلة الأمد بدأت مع إطلاق مبادرة "الأمة الذكية" (Smart Nation) سنة 2014، التي هدفت إلى تسخير تكنولوجيا المعلومات والاتصالات لتحسين حياة المواطنين وخلق فرص اقتصادية جديدة وبناء مجتمع أكثر ترابطاً، وشكلت هذه المبادرة الإطار العام الذي مهد الطريق لمشاريع أكثر طموحاً، حيث إستثمرت الحكومة 2.4 مليار دولار سنغافوري (1.73 مليار دولار أمريكي) في المراحل الأولى لدعم التحول الرقمي في مختلف القطاعات.

مشروع سنغافورة الافتراضي (Virtual Singapore) هو نموذج ثلاثي الأبعاد ديناميكي ومتكامل لسنغافورة

بأكملها، وقد تم تطويره بواسطة هيئة الأراضي السنغافورية (Singapore Land Authority - SLA) بالتعاون مع

الوكالة الوطنية للبحوث والعديد من الجهات الحكومية الأخرى، بدأ العمل على المشروع خلال سنة 2014 بهدف إنشاء منصة موحدة للبيانات المكانية ثلاثية الأبعاد، التي يمكن إستخدامها من قبل مختلف الجهات الحكومية والصناعة والأوساط الأكاديمية وحتى الجمهور.

2-IV- المكونات التكنولوجية والإستراتيجية الوطنية لمشروع سنغافورة الافتراضية:

يمثل مشروع سنغافورة الافتراضية تجسيدا واضحا للإستراتيجية الوطنية لدولة سنغافورة في إعتماد تقنية التوأمة الرقمي كأداة حوكمة رئيسية، وهو جزء لا يتجزأ من مبادرة الأمة الذكية (Smart Nation) الأوسع نطاقاً التي أطلقتها الحكومة، وتكمن الإستراتيجية في إستخدام التوأمة الرقمي كمنصة وطنية موحدة للتخطيط الحضري المتقدم والمحاكاة والتنبؤ، وكذا للتعاون بين القطاعات الحكومية والخاصة.

المكونات الرئيسية لسنغافورة الافتراضية : تتكون من عدة مكونات رئيسية تعمل بشكل متكامل هي:

-نموذج ثلاثي الأبعاد (3D Model) عالي الدقة : تم بناء النموذج بالتعاون مع شركة داسو سيستيمز (Dassault Systèmes)، وهو ليس مجرد تمثيل هندسي بل هو نموذج دلالي (Semantically Enriched)، أي أن النظام يفهم معنى العناصر (مثل نوع المبنى، وظيفة الطريق، موقع الأثاث الحضري)، مما يسمح بإجراء تحليلات متقدمة.

-منصة البيانات الديناميكية (Dynamic Data Platform): يتم تغذية النموذج ببيانات آنية (Real-time Data) من شبكة واسعة من أجهزة الإستشعار (IoT)، وكاميرات المراقبة، وبيانات حركة المرور والبيانات البيئية (جودة الهواء، درجة الحرارة)، وهذه البيانات هي ما تحول النموذج الثابت إلى توأمة رقمي حي

-البنية التحتية للتحليل والمحاكاة: تعتمد المنصة على قدرات حوسبة متقدمة (High-Performance Computing) وأدوات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي، لإجراء محاكاة معقدة (مثل تأثير الفيضانات، تدفق الرياح، كفاءة الطاقة)، وإختبار السياسات الحضرية والإقتصادية قبل تطبيقها.

-التعاون الحكومي (Inter-Agency Collaboration): يتم إدارة المشروع بشكل مشترك بين المؤسسة الوطنية للبحوث (NRF) وهيئة الأراضي السنغافورية (SLA)، ووكالة تكنولوجيا الحكومة (GovTech)، مما يضمن تكامل البيانات وتوحيد الجهود على المستوى الوطني.

هذه المكونات مجتمعة تضمن أن التوأمة الرقمي في سنغافورة ليس مجرد أداة عرض، بل هو نظام بيئي متكامل، يدعم الذكاء الاقتصادي والمرونة الحضرية بشكل إستراتيجي وممنهج.

IV-3- الأهداف الرئيسية لمشروع سنغافورة الافتراضية (Virtual Singapore):

-التخطيط الحضري المحسن: توفير أداة قوية للمخططين الحضريين لمحاكاة سيناريوهات التنمية المختلفة، تقييم تأثيرات المشاريع الجديدة، وتحسين استخدام الأراضي والموارد.

-دعم إتخاذ القرار: تمكين صانعي القرار من الوصول إلى بيانات شاملة وفي الوقت الفعلي حول المدينة، مما يسهل اتخاذ قرارات مستنيرة في مجالات مثل إدارة المرور، الإستجابة للكوارث، وتخطيط الخدمات العامة.

-تعزيز التعاون والابتكار: توفير منصة مشتركة للجهات الحكومية والخاصة والأكاديمية للتعاون في تطوير حلول مبتكرة للتحديات الحضرية.

-تحسين جودة الحياة: استخدام البيانات والرؤى المستخلصة من التوأمة الرقمي لتحسين الخدمات المقدمة للمواطنين، مثل تخطيط مسارات النقل العام، تحسين كفاءة الطاقة، وإدارة البيئة.

IV-4- البنية التحتية والبيانات:

يعتمد Virtual Singapore على بنية تحتية تقنية متطورة تجمع بين:

-جمع البيانات الشامل: يتم جمع البيانات من مصادر متعددة، بما في ذلك المسح الجوي باستخدام تقنية LiDAR، التصوير الفوتوغرافي، أجهزة الاستشعار الأرضية (مثل أجهزة استشعار المرور، جودة الهواء، إستهلاك الطاقة)، بيانات الأقمار الصناعية، وحتى بيانات المباني ثلاثية الأبعاد (BIM).

-نمذجة ثلاثية الأبعاد عالية الدقة: يتم تحويل هذه البيانات إلى نموذج ثلاثي الأبعاد مفصل للمدينة. يشمل المباني، البنية التحتية، التضاريس، وحتى الغطاء النباتي.

-منصة بيانات متكاملة: يتم دمج جميع البيانات في منصة مركزية تتيح الوصول إليها وتحليلها بسهولة، هذه المنصة هي بيئة تفاعلية تسمح للمستخدمين بتصور البيانات، إجراء التحليلات وتشغيل المحاكاة.

-الذكاء الاصطناعي والتحليلات المتقدمة: يتم استخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لتحليل كميات هائلة من البيانات، تحديد الأنماط، التنبؤ بالاتجاهات، وتقديم رؤى قابلة للتنفيذ.

وفي إطار تحليل تجربة سنغافورة يقدم الجدول رقم 2 نظرة على التطور المستمر للإقتصاد الرقمي في سنغافورة الدولة-المدينة، مما يبرز الدور المتنامي للرقمنة كرافعة للنمو الإقتصادي العام.

الجدول 2: مؤشرات الإقتصاد الرقمي في سنغافورة (2019-2024)

السنة	قيمة الإقتصاد الرقمي (مليار دولار سنغافوري)	النسبة من الناتج المحلي الإجمالي (%)	معدل النمو السنوي (%)
2019	98.5	14.9	-
2020	105.2	15.8	6.8
2021	112.8	16.5	7.2
2022	120.1	17.2	6.5
2023	128.1	18.0	6.7

9.4	18.6	140.2	2024
-----	------	-------	------

المصدر: من تجييع الباحثين بناء على تقرير إقتصاد سنغافورة الرقمي 2025 الصادر عن IMDA

<https://www.imda.gov.sg/resources/press-releases-factsheets-and-speeches/factsheets/2025/ar-sgde-2025>

(تم الإطلاع عليه بتاريخ 2025/09/06)

يوضح الجدول النمو المطرد لقيمة الإقتصاد الرقمي في سنغافورة، حيث إرتفعت قيمته ونسبته من الناتج المحلي الإجمالي بشكل مستمر، هذا النمو يعكس الإستراتيجية الوطنية الواضحة لسنغافورة في تبني التقنيات المتقدمة مثل التوأّم الرقمي، كأدوات أساسية لتعزيز الإنتاجية والتنافسية الإقتصادية على المستوى الوطني والدولي

IV -5- مساهمة سنغافورة الافتراضية في تعزيز الذكاء الإقتصادي:

- ساهمت سنغافورة الافتراضية في تعزيز الذكاء الإقتصادي للدولة-المدينة من خلال عدة آليات أهمها:
- تخطيط حضري قائم على البيانات : يمكن للمخططين إستخدام التوأّم الرقمي لمحاكاة تأثير المشاريع العمرانية الجديدة على تدفق حركة المرور، وإستهلاك الطاقة وحتى الظروف المناخية المحلية، وهذا يساعد على إتخاذ قرارات تخطيط أكثر كفاءة وإستدامة مما يقلل من الهدر ويزيد من جاذبية المدينة للإستثمار.
- تحليل السوق وتحديد الفرص : توفر المنصة بيانات شاملة حول التركيبة السكانية وأنماط الإستهلاك والنشاط الإقتصادي في مناطق مختلفة من المدينة، ويمكن للشركات والمستثمرين إستخدام هذه البيانات لتحديد أفضل المواقع للمشاريع التجارية، وتوقع الطلب على المنتجات والخدمات وإكتشاف فرص إستثمارية جديدة.
- دعم الابتكار وريادة الأعمال : من خلال توفير منصة بيانات مفتوحة وأدوات محاكاة، تشجع سنغافورة الافتراضية الشركات الناشئة والمطورين على إبتكار حلول جديدة للتحديات الحضريّة، مما يعزز النظام البيئي للإبتكار ويخلق فرص عمل جديدة.
- تحسين كفاءة البنية التحتية : يمكن إستخدام التوأّم الرقمي لمراقبة أداء البنية التحتية الحيوية (مثل شبكات المياه والكهرباء والنقل) في الوقت الفعلي، وتحديد الأعطال المحتملة قبل حدوثها مع تحسين جداول الصيانة، وهو ما يقلل من التكاليف التشغيلية ويزيد من موثوقية الخدمات ويعزز الكفاءة الإقتصادية.
- توفير بيانات شاملة وفي الوقت الفعلي : توفر Virtual Singapore قاعدة بيانات غنية ومتكاملة حول مختلف جوانب الإقتصاد الحضري، إذ يمكن للمخططين الإقتصاديين الوصول إلى بيانات حول:
- إستخدام الأراضي وتوزيع الأنشطة الإقتصادية : تحديد المناطق ذات الكثافة الاقتصادية العالية، أو المناطق التي تحتاج إلى تطوير، أو تلك التي يمكن تخصيصها لأنشطة اقتصادية جديدة.
- تدفقات النقل واللوجستيات : تحليل أنماط حركة البضائع والأشخاص، مما يساعد في تحسين كفاءة سلاسل الإمداد وتحديد مواقع المراكز اللوجستية الإستراتيجية.
- إستهلاك الطاقة والموارد : مراقبة إستهلاك الطاقة في المباني والقطاعات المختلفة، مما يمكن من 5 فرص توفير الطاقة وتعزيز الإقتصاد الأخضر.
- التركيبة السكانية وأنماط الإستهلاك : فهم توزيع السكان، أعمارهم، ودخولهم، مما يساعد الشركات على استهداف الأسواق بشكل أكثر فعالية ويساعد الحكومة في تخطيط الخدمات.



- IV-6- دور التوأّم الرقمي في تعزيز الذكاء الإقتصادي في سنغافورة الافتراضية (الإستراتيجية التطبيقية) :
- يلعب التوأّم الرقمي دورا هاما في تعزيز الذكاء الإقتصادي لسنغافورة الافتراضية وذلك من خلال ما يلي:
- IV-1-6- تحسين القدرة على التحليل والتنبؤ: بفضل دمج البيانات من مصادر متعددة واستخدام أدوات التحليل المتقدمة والذكاء الاصطناعي، يمكن لـ **Virtual Singapore** أن:
- تحديد الإتجاهات الإقتصادية الناشئة: الكشف عن الأنماط الخفية في البيانات التي قد تشير إلى ظهور قطاعات اقتصادية جديدة أو تحولات في سلوك المستهلكين.
- محاكاة تأثير السياسات الإقتصادية: قبل تطبيق أي سياسة اقتصادية جديدة (مثل تغييرات في الضرائب، أو حوافز إستثمارية)، يمكن محاكاة تأثيرها المحتمل على الاقتصاد الحضري في بيئة افتراضية لتقييم فعاليتها وتجنب الآثار السلبية غير المتوقعة.
- التنبؤ بالطلب على الخدمات والبنية التحتية: على سبيل المثال، يمكن التنبؤ بالطلب المستقبلي على النقل العام أو المرافق الصحية بناءً على النمو السكاني والتغيرات الديموغرافية، مما يساعد في التخطيط المسبق للاستثمارات.
- IV-2-6- دعم إتخاذ القرار الإستراتيجي: يزود **Virtual Singapore** صانعي القرار برؤى قابلة للتنفيذ تمكنهم من اتخاذ قرارات اقتصادية أكثر إستنارة، وعلى سبيل المثال يمكن لوزارة التجارة والصناعة في سنغافورة استخدام التوأّم الرقمي ل:
- تحديد أفضل المواقع للمشاريع الإستثمارية: بناءً على عوامل مثل القرب من الموارد، توفر العمالة، البنية التحتية، والطلب المحتمل.
- تقييم جدوى المشاريع الكبرى: قبل الشروع في مشاريع تطوير حضري ضخمة، يمكن استخدام التوأّم الرقمي لتقييم تأثيرها الاقتصادي والبيئي والاجتماعي.
- صياغة إستراتيجيات لجذب الإستثمار الأجنبي المباشر: من خلال تسليط الضوء على المزايا التنافسية للمدينة بناءً على بيانات دقيقة.
- تعزيز الابتكار وريادة الأعمال: يوفر **Virtual Singapore** منصة للشركات الناشئة والمطورين لإختبار أفكارهم ومنتجاتهم في بيئة افتراضية واقعية، ويمكن للمطورين بناء تطبيقات وخدمات جديدة تستفيد من بيانات التوأّم الرقمي، مما يحفز الابتكار في قطاعات مثل المدن الذكية والخدمات اللوجستية والطاقة.
- بإختصار يعمل **Virtual Singapore** كـ "دماغ" رقمي للمدينة، يجمع ويحلل المعلومات الحيوية ويحولها إلى ذكاء إقتصادي يدعم النمو المستدام والقدرة التنافسية لسنغافورة.
- IV-7- مساهمة سنغافورة الافتراضية في بناء المرونة التنافسية الحضرية:
- تتجاوز فوائد **Virtual Singapore** مجرد تعزيز الذكاء الإقتصادي لتمتد إلى بناء مرونة حضرية قوية ومتعددة الأبعاد، مما يمكن سنغافورة من الصمود والإزدهار في مواجهة جل التحديات المتزايدة، ويمكن تحليل هذا الدور من خلال عدة جوانب:
- IV-1-7- المرونة في مواجهة الكوارث وإدارة الأزمات: يوفر **Virtual Singapore** بيئة افتراضية فريدة لمحاكاة سيناريوهات الكوارث الطبيعية (مثل الفيضانات) أو الأزمات الأخرى (مثل تفشي الأوبئة أو الهجمات الإرهابية). يمكن للمخططين والجهات المعنية استخدام التوأّم الرقمي لـ: (Das & Berwyn, 2024, p. 7)

- تقييم المخاطر: تحديد المناطق الأكثر عرضة للخطر وتحديد نقاط الضعف في البنية التحتية.
- تطوير خطط الإستجابة: محاكاة مسارات الإخلاء، تحديد مواقع مراكز الإيواء، وتقييم كفاءة خطط الطوارئ قبل تطبيقها على أرض الواقع.
- التدريب والمحاكاة: تدريب فرق الاستجابة للطوارئ في بيئة افتراضية آمنة، مما يعزز جاهزيتهم وقدرتهم على التنسيق الفعال أثناء الأزمات.
- إدارة الموارد: تحسين توزيع الموارد (مثل فرق الإنقاذ، الإمدادات الطبية) أثناء الأزمات بناء على بيانات في الوقت الفعلي من التوأمة الرقمي.

IV -2-7- المرونة البيئية والتخطيط المستدام: يساهم **Virtual Singapore** في تعزيز المرونة البيئية من خلال تمكين التخطيط الحضري المستدام. يمكن للمخططين استخدام التوأمة الرقمي لـ: (Das & Berwyn, 2024, p. 5)

- تحليل تأثير التغيرات المناخية: محاكاة تأثير إرتفاع منسوب سطح البحر، أو التغيرات في درجات الحرارة، أو أنماط هطول الأمطار على المدينة.
 - تحسين كفاءة استخدام الطاقة والموارد: تحديد المباني والمناطق التي تستهلك طاقة وموارد بشكل غير فعال، واختبار حلول لتحسين الكفاءة (مثل تركيب الألواح الشمسية أو أنظمة التبريد الذكية).
 - تخطيط المساحات الخضراء: تحديد أفضل المواقع لإنشاء المساحات الخضراء التي تساهم في تلطيف الأجواء، تحسين جودة الهواء وتعزيز التنوع البيولوجي.
 - إدارة المياه: محاكاة تدفقات المياه في شبكات الصرف الصحي وتحديد المناطق المعرضة للفيضانات مما يساعد في تصميم بنية تحتية أكثر مرونة للمياه.
- IV -3-7- مرونة البنية التحتية وإدارة الأصول: يوفر **Virtual Singapore** رؤية شاملة للبنية التحتية للمدينة مما يمكن من إدارتها بشكل إستباقي وتعزيز مرونتها، ويمكن للمسؤولين استخدام التوأمة الرقمي لـ:
- المراقبة والصيانة التنبؤية: مراقبة حالة الجسور والطرق وشبكات الكهرباء والمياه، وتحديد الأعطال المحتملة قبل حدوثها مما يقلل من فترات التوقف ويطيل عمر الأصول.
 - تخطيط التوسعات والتحديثات: محاكاة تأثير مشاريع البنية التحتية الجديدة على الأنظمة القائمة، وضمان التكامل السلس وتقليل الاضطرابات.

- تحسين تدفقات المرور: تحليل أنماط المرور في الوقت الفعلي، ومحاكاة تأثير التغيرات في إشارات المرور أو مسارات الطرق، مما يقلل من الازدحام ويعزز كفاءة النقل.

IV -4-7- المرونة الإجتماعية وتحسين جودة الحياة: على الرغم من أن التركيز الأساسي للتوأمة الرقمي قد يكون على الجوانب المادية، إلا أنه يساهم بشكل غير مباشر في المرونة الإجتماعية من خلال تحسين جودة الحياة وتوفير بيئة حضرية أكثر أماناً وكفاءة، فعندما تكون المدينة قادرة على إدارة مواردها بشكل أفضل والإستجابة للآزمات بفعالية، وتوفير خدمات عامة محسنة فإن ذلك يعزز ثقة المواطنين ويساهم في بناء مجتمع أكثر تماسكاً وقدرة على الصمود. (Reza, 2025, p. 145)

باختصار يعمل **Virtual Singapore** كأداة إستراتيجية متعددة الأوجه تمكن سنغافورة من بناء مرونة تنافسية حضرية شاملة، من خلال توفير رؤى قائمة على البيانات، تمكين المحاكاة المتقدمة، ودعم اتخاذ القرار الإستباقي في مواجهة التحديات المختلفة.

لإبراز الجانب التطبيقي لتقنية التوأمة الرقمي في سنغافورة، يلخص الجدول رقم 3 أمثلة محددة لكيفية

إستخدام مشروع سنغافورة الافتراضية في مجالات حيوية مختلفة، مع إظهار النتائج الملموسة التي تم تحقيقها.

الجدول 3: تطبيقات التوأمة الرقمي في تعزيز المرونة التنافسية الحضرية بسنغافورة

المجال التطبيقي	الآلية المستخدمة	المثال العملي	النتائج المحققة
التخطيط الحضري	محاكاة تأثير المشاريع العمرانية الجديدة	تطوير منطقة بونغول الرقمية	تقليل الإزدحام المتوقع بنسبة 15%
إدارة الطاقة	تطوير منطقة بونغول الرقمية	تقليل الإزدحام المتوقع بنسبة 15%	زيادة كفاءة توليد الطاقة بنسبة 23%
إدارة النقل	تقليل الإزدحام المتوقع بنسبة 15%	إدارة الطاقة	تقليل الإزدحام بنسبة 12%
الإستجابة للطوارئ	إدارة الطاقة	تحليل أنماط استهلاك الطاقة وتحسين التوزيع	تقليل زمن الإستجابة بنسبة 30%
التنمية الاقتصادية	تحليل أنماط إستهلاك الطاقة وتحسين التوزيع	تركيب الألواح الشمسية على المباني الحكومية	جذب إستثمارات بقيمة 500 مليون دولار

المصدر: من تجميع الباحثين إعتماداً على وثائق وتقارير صادرة عن الهيئة الوطنية للبحث في سنغافورة

(تم الإطلاع عليه بتاريخ 2025/09/11) <https://oecd-opsi.org/innovations/virtual-twin-singapore>

يقدم الجدول دليلاً واضحاً على فعالية التوأمة الرقمي في سنغافورة كأداة لتحقيق نتائج ملموسة في التخطيط الحضري، وإدارة الطاقة والنقل والإستجابة للطوارئ، وتظهر النتائج مثل تقليل الإزدحام وزيادة كفاءة الطاقة وجذب الإستثمارات، أن التوأمة الرقمي يساهم بشكل مباشر في تعزيز الذكاء الاقتصادي والمرونة التنافسية الحضرية من خلال توفير منصة للمحاكاة والتحليل المتقدم.

٧- التحديات والدروس المستفادة من تجربة سنغافورة

على الرغم من النجاحات الباهرة التي حققتها سنغافورة في تطوير وتطبيق مشروع Virtual Singapore

إلا

أن هذه الرحلة لم تخل من التحديات، إن فهم هذه التحديات والدروس المستفادة منها أمر بالغ الأهمية للمدن الأخرى التي تسعى إلى تبني تقنيات التوأمة الرقمي.

٧-١- التحديات الرئيسية : من بين أبرز التحديات نذكر ما يلي :

٧-١.١- تحديات البيانات:

- حجم البيانات وتعقيدها : يولد التوأمة الرقمي كميات هائلة من البيانات من مصادر متنوعة، مما يتطلب بنية تحتية قوية لتخزينها، معالجتها وتحليلها، وإدارة هذه البيانات وتوحيدها يمثل تحدياً كبيراً.
- جودة البيانات وتكاملها : إن ضمان دقة وموثوقية البيانات وتكاملها من مصادر مختلفة، أمر حيوي لفعالية التوأمة الرقمي، فالبيانات غير الدقيقة أو غير المتكاملة يمكن أن تؤدي إلى رؤى خاطئة وقرارات غير سليمة.
- خصوصية البيانات وأمنها : مع جمع كميات كبيرة من البيانات الحضرية خاصة البيانات الشخصية، تبرز قضايا الخصوصية والأمن السيبراني كأحد أكبر التحديات، لذا يتعين وضع أطر قانونية وتقنية لحماية هذه البيانات.

2.1-1-التحديات التقنية والبنية التحتية:

- التكلفة العالية : يتطلب تطوير وصيانة توأم رقمي على مستوى المدينة إستثمارات ضخمة في البنية التحتية التكنولوجية، بما في ذلك أجهزة الإستشعار ومنصات الحوسبة السحابية وأنظمة التحليل المتقدمة.
 - التكامل بين الأنظمة القديمة والجديدة : غالبا ما تمتلك المدن أنظمة تكنولوجية قديمة يصعب دمجها مع التقنيات الحديثة للتوأم الرقمي، مما يعيق تدفق البيانات ويحد من إمكانيات التكامل.
 - الحاجة إلى مهارات متخصصة : يتطلب تشغيل وصيانة وتطوير التوائم الرقمية فرقاً من الخبراء في مجالات عدة، كعلوم البيانات والذكاء الاصطناعي، النمذجة ثلاثية الأبعاد وهي مهارات قد تكون نادرة ومكلفة.
- ### 3.1-1-التحديات التنظيمية والحوكمة:

- التنسيق بين الجهات الحكومية : يتطلب مشروع **Virtual Singapore** تنسيقاً غير مسبوق بين مختلف الوزارات والوكالات الحكومية، والتي قد تكون لديها أولويات ومصالح مختلفة.
 - الإطار القانوني والتنظيمي : الحاجة إلى تطوير أطر قانونية وتنظيمية جديدة تدعم تبادل البيانات وتحمي الخصوصية، وتحدد المسؤوليات والصلاحيات في بيئة التوأم الرقمي.
 - مقاومة التغيير : قد يواجه تبني تقنيات جديدة مقاومة من قبل الموظفين، أو الجمهور بسبب عدم الإلمام أو الخوف من فقدان الوظائف أو الشكوك حول الفوائد.
- ### 2-2-2-الدروس المستفادة من تجربة سنغافورة:

- تقدم تجربة سنغافورة دروساً قيمة للمدن الأخرى التي تسعى إلى بناء توائم رقمية خاصة بها، أهمها:
- الرؤية الحكومية الواضحة والإلتزام السياسي : كان الإلتزام الحكومي رفيع المستوى والرؤية الإستراتيجية الواضحة لمبادرة "الأمة الذكية" ومشروع **Virtual Singapore** عاملاً حاسماً في نجاح سنغافورة، هذا الإلتزام يوفر الدعم المالي والتنظيمي اللازم للمشاريع طويلة الأجل.
 - النهج الشامل والمتكامل : لم تتعامل سنغافورة مع التوأم الرقمي كحل تقني منعزل، بل كجزء لا يتجزأ من إستراتيجية وطنية أوسع للتحويل الرقمي، أين تم التركيز على دمج البيانات والأنظمة عبر مختلف القطاعات الحكومية لإنشاء رؤية موحدة للمدينة.
 - الإستثمار في البنية التحتية الرقمية : يشمل ذلك شبكات الإتصالات عالية السرعة ومراكز البيانات وكذا منصات الحوسبة السحابية.
 - تنمية المواهب وبناء القدرات : إستثمرت سنغافورة بشكل كبير في تطوير المهارات الرقمية لمواطنيها وموظفيها، بالإضافة إلى جذب المواهب العالمية في مجالات التكنولوجيا المتقدمة، وهذا يضمن وجود القوى العاملة اللازمة لتشغيل وصيانة وتطوير التوأم الرقمي.
 - التركيز على القيمة والفائدة : لم يكن الهدف من **Virtual Singapore** مجرد بناء نموذج ثلاثي الأبعاد، بل كان التركيز على كيفية إستخدام هذا النموذج لتوليد قيمة ملموسة للمواطنين والشركات والحكومة، وتم تحديد حالات الإستخدام العملية منذ البداية لضمان أن يلبي المشروع إحتياجات حقيقية.
 - التعاون والشراكات : شجعت سنغافورة التعاون بين القطاع العام والخاص والأوساط الأكاديمية في تطوير **Virtual Singapore**، هذا النهج التعاوني يتيح الإستفادة من الخبرات المتنوعة ويسرع من وتيرة الإبتكار.
 - النهج التكراري والتكيفي : تم تطوير **Virtual Singapore** على مراحل مع التعلم المستمر والتكيف بناءً على التحديات والفرص الناشئة، هذا النهج المرن يسمح بإجراء التعديلات اللازمة وتحسين المشروع بمرور الوقت.

توضح تجربة سنغافورة أن بناء توأم رقمي على مستوى المدينة هو مشروع إستراتيجي يتطلب رؤية طويلة الأجل وإستثمارا كبيرا، تنسيقا فعالا وتركيزا على القيمة التي يمكن أن يقدمها للمدينة وسكانها.

VI- خاتمة:

في ختام هذا التحليل المعمق يمكن القول أن تجربة سنغافورة مع مشروع "سنغافورة الافتراضية"، تقدم دليلا قاطعا وشاملا على أن التوأّم الرقمي قد تجاوز كونه مجرد مفهوم تكنولوجي واعد ليصبح أداة إستراتيجية حقيقية وفعالة في حوكمة المدن الحديثة، لقد أثبتت الدراسة أن التوأّم الرقمي ليس غاية في حد ذاته بل هو آلية تمكينية قوية تعمل على تضخيم قدرات الذكاء الإقتصادي للمدينة، مما يمهد الطريق لبناء مرونة تنافسية مستدامة في عالم يزداد تعقيدا وغموضا.

لقد أوضحت حالة سنغافورة أن الإنتقال من إدارة المدينة التقليدية القائمة على رد الفعل إلى إدارة إستباقية مدعومة بالبيانات والذكاء الإصطناعي ليس مجرد ترف تكنولوجي، بل ضرورة إستراتيجية للبقاء في صدارة المنافسة العالمية، فمن خلال كسر صوامع البيانات وتوفير منصة للمحاكاة والتنبؤ، ودعم إتخاذ القرارات الإستباقية المبنية على أدلة قوية، مكن التوأّم الرقمي سنغافورة من تحويل التحديات إلى فرص ومكنها أيضا من إدارة الأزمات بكفاءة وفعالية إستثنائية.

إن العلاقة التكاملية التي تم بناؤها بين البنية التحتية الرقمية (التوأّم الرقمي)، والقدرة التحليلية (الذكاء الإقتصادي) والهدف الإستراتيجي (المرونة التنافسية)، تقدم نموذجا متكاملًا يمكن للمدن الأخرى أن تتعلم منه وتتكيف معه، وفقا لسياقاتها الخاصة وإمكانياتها المتاحة، هذا النموذج لا يقتصر على المدن الكبيرة أو الغنية بل يمكن تطبيقه بدرجات متفاوتة حسب الموارد والأولويات.

ومع ذلك يجب أن نتذكر أن التكنولوجيا وحدها ليست الحل السحري، فنجاح سنغافورة إرتكز أيضا على رؤية سياسية واضحة طويلة الأمد، وإستثمارات مستدامة وإطار حوكمي قوي وثقافة مؤسسية عالية، وبالتالي فإن تبني التوأّم الرقمي يجب أن يكون جزءا من إستراتيجية تحول شاملة تشمل الجوانب التكنولوجية والمؤسسية والإجتماعية والثقافية، فمستقبل المدن لن يحدده فقط حجم مبانيها أو بنيتها التحتية المادية، بل سيحدده بشكل متزايد ذكاء أنظمتها وقدرتها على التكيف والإزدهار في وجه المجهول، ويبدو أن التوأّم الرقمي سيكون حجر الزاوية في بناء هذا المستقبل الذكي والمرن.

VI-1- نتائج الدراسة :

تؤكد نتائج تحليل حالة سنغافورة صحة الفرضيات التي إنطلقت منها الدراسة، وتوضح بشكل عملي كيف يمكن للتوأّم الرقمي أن يكون محفزا قويا للذكاء الإقتصادي والمرونة التنافسية الحضرية.

لقد أظهرت تجربة سنغافورة الافتراضية وجود تأثير سبيبي إيجابي ومباشر بين تبني سنغافورة لتقنية التوأّم من خلال مشروعها الوطني (Virtual Singapore) وبين تعزيز ذكائها الإقتصادي، وهو ما إنعكس في النمو المستمر والمؤكد إحصائيا لمساهمة الإقتصاد الرقمي في الناتج المحلي الإجمالي، مما أدى إلى بناء مرونة تنافسية حضرية قوية وقدرة إستباقية على الإستجابة للصدمات.

أثبتت الدراسة أن سنغافورة الافتراضية تعمل بالفعل كمنصة تكاملية للبيانات، حيث كسرت صوامع المعلومات بين الوكالات الحكومية المختلفة، ذلك أن دمج البيانات الغابطة والديناميكية والإقتصادية في منصة واحدة وفر رؤية شاملة لم تكن ممكنة في السابق، وهذا التكامل عزز بشكل كبير دقة وجودة مخرجات الذكاء الإقتصادي، وهذا يتوافق مع ما ذهب إليه الأدبيات حول أهمية تكامل البيانات في المدن الذكية.

أظهر التحليل كيف يساهم التوأمة الرقمي في بناء المرونة بأبعادها الثلاثة، فمن خلال نمذجة تأثير الصدمات (المرونة الإستباقية)، والمراقبة الآنية أثناء الأزمات (المرونة التكيفية)، وتحليل بيانات ما بعد الأزمة للتعلم والتحسين (المرونة التحويلية)، يقدم التوأمة الرقمي مجموعة أدوات متكاملة لإدارة المخاطر وتعزيز قدرة المدينة على الصمود والإزدهار في وجه التحديات، وهذا يتجاوز المفهوم التقليدي للمرونة كمجرد "إعادة بناء" إلى مفهوم أكثر تقدماً وهو "إعادة التصميم بذكاء".

ومع ذلك كشفت الدراسة أيضاً عن تحديات مهمة أبرزها قضايا الخصوصية وأمن البيانات، والحاجة إلى إستثمارات أولية ضخمة وضرورة تطوير المهارات الرقمية للقوى العاملة، فنجاح سنغافورة في هذا المجال لم يكن تكنولوجيا فحسب بل كان مدعوماً بإطار حوكمي قوي وثقة عالية بين المواطنين والحكومة، وهو عامل قد لا يتوفر بنفس الدرجة في سياقات حضرية أخرى.

VI-2- توصيات البحث :

- بناءً على النتائج والدروس المستفادة من دراسة حالة سنغافورة، تقدم هذه الدراسة التوصيات التالية:
- 1- يجب على الحكومات تبني رؤية طويلة الأجل للتحويل الرقمي، تضع التوأمة الرقمي في صميم إستراتيجيات التنمية الحضرية مع إلزام سياسي ومالي مستمر.
 - 2- تخصيص الموارد اللازمة لتطوير بنية تحتية رقمية قوية بما في ذلك شبكات الإتصالات المتقدمة، مراكز البيانات ومنصات الحوسبة السحابية كركيزة أساسية للتوأمة الرقمي.
 - 3- وضع أطر قانونية وتنظيمية لجمع البيانات وحمايتها ومشاركتها، مع ضمان خصوصية الأفراد وأمن المعلومات.
 - 4- تشجيع التنسيق والتعاون بين مختلف الوزارات والوكالات الحكومية، وكذلك بين القطاع العام والخاص والأوساط الأكاديمية لضمان التكامل والإستفادة القصوى من التوأمة الرقمي.
 - 5- تنمية المواهب وبناء القدرات وذلك بالإستثمار في برامج التعليم والتدريب، لتطوير المهارات اللازمة في مجالات علوم البيانات والذكاء الاصطناعي والنمذجة ثلاثية الأبعاد لضمان وجود الكفاءات المحلية.
 - 6- دمج التوأمة الرقمي كأداة أساسية في جميع مراحل التخطيط الحضري، من التصميم الأولي إلى غاية تقييم الأثر والمراقبة المستمرة.
 - 7- إستخدام قدرات المحاكاة للتوأمة الرقمي لإختبار تأثيرات المشاريع الجديدة والسياسات أو الأحداث غير المتوقعة على المدينة قبل تنفيذها.
 - 8- إستخدام بيانات التوأمة الرقمي لتحسين كفاءة إستخدام الموارد وتحديد فرص التحسين المستمر.
 - 9- إستكشاف فرص تطوير حلول وتطبيقات مبتكرة، تستفيد من بيانات ومنصات التوأمة الرقمي لتلبية إحتياجات المدن والشركات والمواطنين.
 - 10- البحث عن فرص للشراكة مع الحكومات والجهات العامة في مشاريع التوأمة الرقمي، والمساهمة بالخبرات التقنية والحلول المبتكرة.
 - 11- تطوير حلول تركز على تقديم قيمة مضافة حقيقية، سواء في تحسين الكفاءة أو تقليل التكاليف أو تعزيز جودة الحياة.
 - 12- التعمق في البحث حول الجوانب الإقتصادية والإجتماعية للتوأمة الرقمي وتأثيره على مختلف القطاعات الحضرية.
 - 13- المساهمة في بناء أطر نظرية أكثر شمولاً تربط بين التكنولوجيا والإقتصاد والمجتمع في سياق المدن الذكية.

-المساهمة في نشر الوعي حول إمكانيات التوأم الرقمي وفوائده، وتقديم برامج تعليمية وتدريبية في هذا المجال.

VII-الإحالات والمراجع :

- 1-أبو الفضل عبد العال مصطفى (2023)، دراسة مدى مساهمة تقنية التوأم الرقمي في إدارة تكلفة دور حياة المنتج لزيادة القدرة التنافسية للشركات: دراسة ميدانية في بيئة الأعمال السعودية، المجلة العلمية للدراسات والبحث الإدارية، مجلد 15، عدد 4، ص 123-155.
- 2-داي وسام (2015-2016)، الذكاء الاقتصادي في خدمة تنافسية الأقاليم الحضرية: دراسة حالة الصناعة الصيدلانية والبيوتكنولوجية في الجزائر، أطروحة دكتوراه، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، جامعة باتنة 1، الجزائر.
- 3-سعيد بن دنيدينة (2021)، دور الذكاء الاقتصادي في تحسين جودة الخدمات المصرفية: دراسة ميدانية في البنوك الجزائرية، مجلة إقتصاد المال والأعمال، مجلد 5، عدد 2، ص 131-151.
- 4-بدري شيرين (2014)، أثر الذكاء الاقتصادي في تحقيق متطلبات تنمية المشاريع الصغيرة دراسة قياسية، مجلة كلية بغداد للعلوم الاقتصادية الجامعة، عدد 39، ص 57-96.
- 5-فيلاي أسماء، وعائشة بوشيخي (2018)، الذكاء الاقتصادي في المؤسسة الوطنية للسيارات الصناعية: الواقع والمجهودات، مجلة إقتصاد والمناجمنت، مجلد 17، عدد 2، ص 96-114.
- 6-Abdelrahman, M., Edgardo, M., Lei, B., Matias, Q., Clayton, M., & Biljecki, F. (2025, 4 15). What is a Digital Twin anyway? Deriving the definition for the built environment from over 15,000 scientific publications. *Building and Environment*, 274, 1-19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112748>.
- 7-Batty, M. (2018). Digital Twins. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45(5), 817-820. doi: <https://doi.org/10.1177/2399808318796416>.
- 8-Chen, M., Yujie, L., Peng, Y., Tingting, C., & Yiye, Z. (2022). Key Elements of Attentions for Enhancing Urban Resilience: A Comparison of Singapore, Hong Kong and Hangzhou. *Buildings*, 12(3), 1-21. doi: <https://doi.org/10.3390/buildings12030340>.
- 9-Das, D., & Berwyn, K. (2024). AI and data-driven urbanism: The Singapore experience. *Digital Geography and Society*, 7, 1-15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.diggeo.2024.100104>.
- 10-Ferr'e-Bigorra, J., Gasals, M., & Gangol ells, M. (2022). The adoption of urban digital twins. *Cities*, 131(5), 1-12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103905>
- 11-Kitchin, R. (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. *Geo Journal*, 79, 1-14. doi: <https://doi.org/10.1007/s10708-013-9516-8>.
- 12-Li, K., Xianzhong, M., Guangwen, H., & Zhang, Z. (2022). The application of resilience theory in urban development: a literature review. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 49651–49671. doi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-20891-x>.
- 13-Mohsen, A & Bilge Gokhan, C, (2023). Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities. *Decision Analytics Journal*, 6, 1-10. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100165>.
- 14-Moinet, N. (2010). *Petite histoire de l'intelligence économique*. Editions L'Harmattan. L'Harmattan.

- 15-Oliver, D., & Kitchin, R. (2025). Urban digital twins: Digital twins for participatory steering. *New Media & Society*, 27(8), 4402-4419. doi: <https://doi.org/10.1177/14614448251338280>.
- 16-Peldon, D., Banihashemi, S., LeNguyen, K., & Derrible, S. (2024). Navigating urban complexity: The transformative role of digital twins in smart city development. *Sustainable Cities and Society*, 111, 1-18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105583>.
- 17-Philippe, B. (1991). *Stratégies et surveillance des environnements concurrentiels*. Masson.
- 18-Reza, S. (2025). From policy to platforms: Analysing public engagement with Singapore's smart nation initiative through social media discourse. *Urban Governance*, 5, 142-154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ugj.2025.04.001>.
- 19-Sharma, A., Kosasih, E., Zhang, J., Brintrup, A., & Calinescu, A. (2022). Digital Twins: State of the art theory and practice, challenges, and open research questions. *Journal of Industrial Information Integration*, 30, 1-15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100383>.
- 20-Willem, V. W., & de Carvalho, L. (2015). *Economic Intelligence for Cities: Strategies and Pitfalls*. New urban economies, pp. 46-48.
- 21-Yang, S., & Heechul, K. (2021). Urban digital twin applications as a virtual platform of smart city. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development* Vol. 12, No. 4, 2021, 12(4), 363-379. doi: <https://doi.org/10.22712/susb.20210030>.
- 22-Zhu, M., & Jiayi, J. (2025). Data-Driven Urban Digital Twins and Critical Infrastructure Under Climate Change: A Review of Frameworks and Applications. *Urban Planning*, 10, 1-24. Doi : <https://doi.org/10.17645/up.i432>.