Al-Farouk journal of sciences
Volume (2), Issue (3) (JUNE, 2026)
ISSN: 3135-2359

مجلة الفاروق للعلوم
المجلد (2) ملحق العدد 3 يونيو 2026
ردمد: 3135-2359

دور تقنية التوأم الرقمي في دعم اتخاذ القرار وتطوير إدارة البنية التحتية في مدينة البيضاء

عزالدين يحي صالح لصيمع [*1]، مصطفى محمد حمد محمد[2]، صالح يحيى صالح لصيمع[3]
قسم الهندسة المدنية – المعهد العالي للعلوم والتقنية – البيضاء – ليبيا [*1]
قسم الهندسة المدنية – المعهد العالي للعلوم والتقنية – البيضاء – ليبيا [2]
الأشغال والأملاك العسكرية [3]
Salehlsm555@gmail.com

The Role of Digital Twin Technology in Supporting Decision-Making and Developing Infrastructure Management in Al-Bayda City

Azzaldin Yahya Saleh Lasimaa [*1], Mustafa Muhammad Hamad Muhammad [2], Saleh Yahya Saleh Lasimaa [3]
Department of Civil Engineering – Higher Institute of Science and Technology – Al-Bayda – Libya [*1]
Department of Civil Engineering – Higher Institute of Science and Technology – Al-Bayda – Libya [2]
Military Works and Properties [3]

تاريخ الاستلام: 2026/05/24 تاريخ المراجعة 2026 /06/16 تاريخ القبول:2026/06/28- تاريخ النشر :2026 /07/20

الملخص:
تهدف هذه الدراسة إلى بحث إمكانية توظيف تقنية "التوأم الرقمي" (Digital Twin Technology) لتطوير إدارة البنية التحتية في المدن الليبية، متخذةً من مدينة "البيضاء" نموذجاً للدراسة.
وتسعى الدراسة إلى تحليل الدور المحوري لهذه التقنية في تحسين عمليات التخطيط والتشغيل والصيانة واتخاذ القرار ضمن أنظمة البنية التحتية الذكية، بما في ذلك شبكات المياه والنقل والطاقة والمباني الحضرية.
ولتحقيق هذا الهدف، اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي القائم على مراجعة الأدبيات السابقة وتقارير التحول الرقمي وتحليل دراسات حالة دولية رائدة. وعلاوة على ذلك، عزز البحث جانبه التطبيقي من خلال استبانة ميدانية استهدفت المختصين والخبراء في مدينة البيضاء؛ وذلك لتقييم مستوى الوعي بهذه التقنية، ودراسة جدوى تطبيقها عملياً، وتحديد أبرز العقبات والتحديات التي تعيق تنفيذها.
ناقشت الدراسة قدرة "التوائم الرقمية" (Digital Twins) على توفير نموذج ديناميكي عالي الدقة يعكس ظروف الواقع الفعلي، وذلك بهدف تعزيز قدرات الإدارة الاستباقية.
وخلصت النتائج إلى أن إمكانات توظيف هذه التقنية تمثل فرصة استراتيجية واعدة لنقل المدن الليبية نحو الاستدامة والتحول الذكي؛ غير أن تحقيق هذه الإمكانات يظل مرهوناً بتوفر بيئة رقمية داعمة - وفي مقدمتها البيانات المفتوحة - وبوضع تشريعات وطنية ومعايير تنظيمية تحكم اعتماد هذه التقنية وإدارتها التشغيلية.
الكلمات المفتاحية: التوأم الرقمي - إدارة البنية التحتية - المدن الذكية.

1.1 مقدمة:

شـهدت المدن الحديثة تطوراً متسـارعاً في اسـتخدام تكنولوجيات المعلومات والاتصـالات، مما أثر بشـكل مباشر على أساليب تخطيط البنية التحتية الحضرية وإدارتها، وذلك في ظل الضغوط المتزايدة الناجمة عن النمو السكاني والتوسع العمراني وتعقيد شبكات المرافق والخدمات العامة. وقد دفع ذلك المدن إلى البحث عن أدوات ذكية قادرة على تمثيل النظم الحضرية المعقدة وتحليلها بشكل شامل، بهدف تعزيز كفاءة الإدارة وتحقيق الاستدامة (Batty, 2018).

في هذا السـياق، برزت تقنية "التوأم الرقمي" كواحدة من أهم الابتكارات التكنولوجية الحديثة؛ إذ تُعرَّف بأنها نموذج رقمي ديناميكي يعكس بدقة الأصـل المادي ويتم تحديثه باسـتمرار بناءً على تدفق البيانات في الوقت الفعلي. وتوفر هذه التقنية إمكانات واسـعة للمراقبة، والتنبؤ بالأعطال، ومحاكاة السـيناريوهات المستقبلية، مما يسهم في الانتقال من أساليب الإدارة التقليدية.

...أساليب الإدارة الذكية الاستباقية (Vickers, 2017 & Grieves).

تؤكد العديد من الدراسات الحديثة الدور الفعال لتقنية "التوأم الرقمي" في تحسين كفاءة إدارة البنية التحتية الحضرية؛ إذ يساهم دمج التوائم الرقمية مع تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في تعزيز كفاءة التشـغيل والصـيانة، وخفض التكاليف، ورفع جودة الخدمات المقدمة، فضـلاً عن دعم أهداف الاسـتدامة البيئية والاقتصادية (Shahat et al., 2021).

علاوة على ذلك، يوفر توظيف التوائم الرقمية في إطار المدن الذكية منصـة رقمية متكاملة لتحليل البيانات المكانية والزمانية وتقييم أداء شـبكات المياه والطاقة والنقل؛ مما يعزز دقة اتخاذ القرار ويدعم التخطيط الحضـري المسـتدام. وتتضـاعف أهمية هذه التقنية في البيئات الحضـرية التي تعاني من ضـعف التنسـيق المؤسسي وتقادم البنية التحتية (Al-Sehrawy et al., 2021).

ورغم أن تطبيق تقنية التوأم الرقمي في البلدان النامية قد يواجه تحديات فنية ومؤسسية، إلا أنه يمثل فرصة استراتيجية لتحسين إدارة البنية التحتية وتطوير الخدمات الحضرية، شريطة توفر الإطار التشريعي المناسب والدعم الفني اللازم (Qiu et al., 2025).

2.1 أهداف الدراسة :

1. تحسين كفاءة إدارة البنية التحتية الحضرية من خلال استخدام نماذج رقمية تفاعلية وواقعية.
2. دعم اتخاذ القرار في مجالات التخطيط الحضـري والصـيانة والتشـغيل عبر محاكاة السـيناريوهات المسـتقبلية وتحليل البيانات لحظياً.
3. تعزيز الاسـتدامة في المدن من خلال ترشـيد اسـتهلاك الموارد وتقليل الانبعاثات، وذلك باسـتخدام "التوائم الرقمية" كمحرك للتخطيط الذكي.
4. دعم مفهوم المدن الذكية وتحسين جودة حياة السكان من خلال خدمات حضرية أكثر كفاءة.

3.1 أهمية هذه الدراسة:

تكتسب دراسة جدوى توظيف تقنية "التوأم الرقمي" في إدارة تطوير البنية التحتية أهمية بالغة في الوقت الراهن؛ نظراً لدور هذه التقنية في دعم التحول الرقمي، وتعزيز الكفاءة، وتحسين عمليات التخطيط واتخاذ القرار اسـتناداً إلى بيانات دقيقة، ورفع كفاءة التشـغيل والصـيانة، وخفض التكاليف، وزيادة الكفاءة الاقتصـادية، ودعم الاسـتدامة وحماية البيئة، فضلاً عن تعزيز الابتكار والتطوير والتحول الرقمي الذكي.

4.1 مشكلة الدراسة:

تواجه مدينة البيضـاء تحديات متزايدة في إدارة بنيتها التحتية الحضـرية؛ وذلك نتيجةً للنمو العمراني العشـوائي وتقادم شـبكات المرافق الحيوية (الطرق، والمياه، والصـرف الصـحي، والكهرباء)، بالتزامن مع ضـعف نظم المعلومات المكانية ومحدودية التكامل الرقمي بين مقدمي الخدمات. وقد أدى ذلك إلى عدم كفاءة الأساليب التقليدية المتبعة حالياً في التنبؤ بالأعطال، أو إدارة العمليات والصـيانة بفعالية، أو اتخاذ قرارات اسـتراتيجية تسـتند إلى بيانات دقيقة.

على الرغم من الحلول الثورية التي توفرها تقنية "التوأم الرقمي" (Digital Twin) عالمياً من خلال إنشـاء نماذج ديناميكية تحاكي الواقع وتدعم الإدارة الاسـتباقية، إلا أن تطبيقها في البيئة الليبية لا يزال يكتنفه الغموض.

وبناءً على ذلك، تتبلور مشكلة البحث في عدم وضوح الرؤية بشأن مدى إمكانية توظيف هذه التقنية المتقدمة في ظل الواقع الراهن للبنية التحتية لمدينة البيضاء، وفي الحاجة الملحّة لإجراء دراسة تشخيصية تحدد المتطلبات والعقبات والفرص المتاحة لتحويل هذه "الإمكانية" إلى واقع تطبيقي يساهم في تطوير إدارة المدينة.

5.1 لالدراسات السابقة :

دراسة (Qiu et al., 2025) هدفت إلى استكشاف تأثير تقنية التوأم الرقمي على إدارة البنية التحتية، مع التركيز على الاستدامة وتحليل الاتجاهات والاستراتيجيات الحالية لتعزيز دمج هذه التقنية .وخلصت الدراسة إلى أن استخدام التوائم الرقمية ساهم في زيادة كبيرة بنسبة 80% في عدد المنشورات خلال الفترة ما بين عامي 2019 و2024، حيث تصدرت آسيا - ولا سيما الصين - المساهمات البحثية. وقد قدم ذلك رؤىً قيّمةً للجهات المعنية الساعية إلى تحسين إدارة البنية التحتية في العصر الرقمي، كما أوصت الدراسة باعتماد "التوائم الرقمية" كأداة استراتيجية لتعزيز إدارة البنية التحتية.

الدراسة 2 (Dani et al., 2023)

هدف المشروع إلى تطوير منصة للمدن الذكية تعتمد على تقنية "التوائم الرقمية" لمراقبة عمليات اتخاذ القرار ودعمها. وقد تحقق ذلك من خلال دمج أنظمة وبيانات رقمية متنوعة، حيث قُسِّمت المنصة إلى أربع طبقات: طبقة أساسية للبيانات المدنية، وطبقة ثلاثية الأبعاد للأصول، وطبقة للتوائم الرقمية لدمج البيانات الفورية، وطبقة تعزيزية لتحسين البيانات الرقمية.

وخلصت الدراسة إلى أن استخدام التوائم الرقمية في المنصة يعزز قدرة الحكومة على اتخاذ القرارات اللازمة لتطوير المدن الذكية وتحسين التخطيط وإدارة الموارد والبنية التحتية، كما أوصت بتوسيع نطاق استخدام المنصات الرقمية القائمة على تقنية التوائم الرقمية لدعم استدامة المدن الذكية.

الدراسة 3 (السحراوي وآخرون، 2021)

هدفت الدراسة إلى تصنيف استخدامات التوائم الرقمية في التخطيط العمراني وإدارة البنية التحتية للمدن، وذلك من خلال استعراض المبادرات العملية القائمة لهذه التقنية.

وقد خلصت الدراسة إلى أن تطبيق التوائم الرقمية قد أثبت فاعلية المعرفة والخبرة العملية في تطوير وإدارة قطاعات البنية التحتية، بما في ذلك النقل والاتصالات والشبكات. كما أوصت الدراسة بتبني التوائم الرقمية على نطاق واسع لدعم تطوير البنية التحتية والإدارة المستدامة للمدن.

1. **منهجية الدراسة:**

اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي -بشقيه النظري والتطبيقي- لكونه ملائماً لطبيعة الموضوع وأهدافه؛ ففي الجانب النظري، استُخدمت المصادر والمراجع والدراسات السابقة لبناء الإطار المعرفي لتقنية التوأم الرقمي، أما في الجانب الميداني (التطبيقي)، فقد ركزت الدراسة على مدينة البيضاء كحالة دراسية، معتمدةً على أداتين رئيستين لجمع البيانات:

- أولاً، الاستبيان:

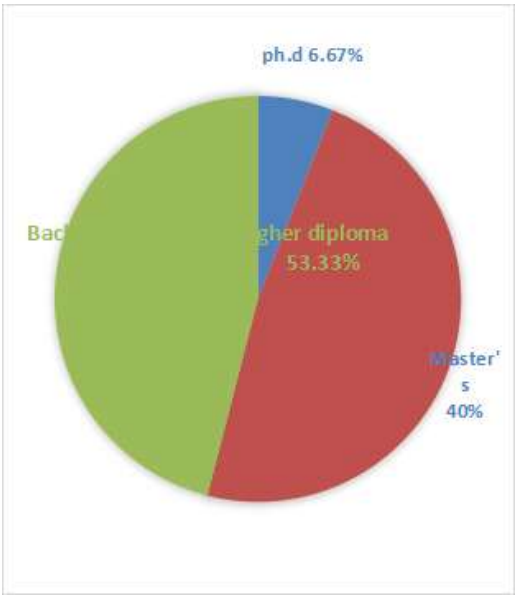
صُممت استبانة مُوجَّهة لتغطية محاور الدراسة (المعرفة، والتحديات، والجاهزية)، ووُزّعت على عينة قصدية مكوّنة من (45) فرداً. وقد اختيرت العينة بعناية لتشمل خبراء ومهندسين متخصصين وصنّاع قرار في جهات معنية بالبنية التحتية، وذلك لضمان الحصول على بيانات دقيقة من المختصين.

- ثانياً، المقابلات الشخصية:

لتعزيز دقة البيانات، أُجريت سلسلة من المقابلات الشخصية مع نخبة من القادة التنفيذيين والخبراء في قطاعات متنوعة، تشمل الإسكان والمرافق العامة ومجلس التخطيط والتخطيط العمراني.

هدفت هذه المقابلات إلى تقييم الوضع الراهن لمشاريع البنية التحتية القائمة، والتحقق من وجود قواعد بيانات رقمية، واستكشاف العقبات التنظيمية والتقنية التي قد تعيق تبني تقنية التوأم الرقمي في الوقت الحالي.

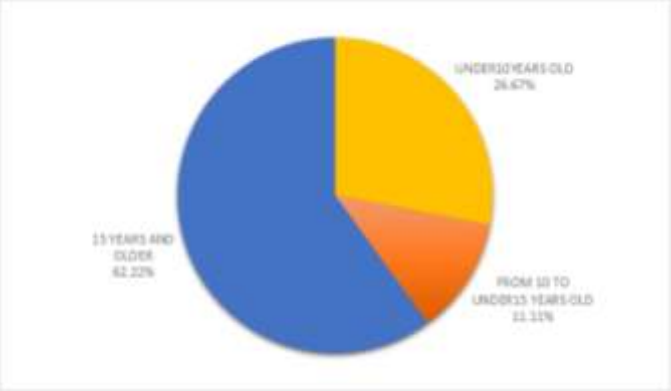
الشكل (1): يوضح توزيع أفراد عينة الدراسة وفقاً لمؤهلاتهم العلمية.



الجدول (1): توزيع أفراد عينة الدراسة وفقاً للمؤهل العلمي

Academic qualification	number	Percentage
Ph.D	3	% 6.67
Master's	24	% 53.33
Bachelor's degree or higher diploma	18	% 40
Total	45	% 100

الشكل (2): يوضح الخصائص العامة لأفراد عينة الدراسة وفقاً للخبرة.



الجدول (2): توزيع عينة الدراسة وفقاً لسنوات الخبرة

Number of years of experience	numbe	Percentage
under 10 years old	12	% 26.67
From 10 to under 15 years old	5	% 11.11
15 years and older	28	% 62.22
Total	45	% 100.0

المناقشة:

تسلط نتائج هذا الفصل الضوء على فجوة استراتيجية بين الطموح لتبني تقنية "التوأم الرقمي" وبين واقع البنية التحتية والجاهزية المؤسسية في ليبيا؛ فعلى الرغم من ارتفاع مستوى الوعي بجدوى هذه التقنية من الناحيتين الاقتصادية والفنية، إلا أن ثمة عقبات هيكلية -سواء كانت فنية أو تنظيمية- لا تزال تعيق عملية التنفيذ.

ختاماً، يتوقف نجاح توطين هذه التقنية على اعتماد خارطة طريق مرحلية، تبدأ بتعزيز الأسس الرقمية والتشريعية لتمهيد الطريق نحو انتقال آمن ومستدام إلى المدن الذكية.

أولاً: النتائج:

أظهرت بيانات الدراسة أن أفراد العينة يتمتعون بمستوى عالٍ من المؤهلات الأكاديمية والخبرات المهنية، مما يضفي مصداقية عالية على النتائج ويمنحها قيمة تفسيرية قوية، نظراً لطبيعة الموضوع التي تتطلب معرفة تخصصية دقيقة في قطاعي الهندسة والتخطيط. وقد خلصت الدراسة إلى النتائج التالية:

1. **الفجوة المعرفية:** كشفت الدراسة عن وجود فجوة معرفية كبيرة فيما يتعلق بتقنية "التوأم الرقمي" لدى شريحة واسعة من المشاركين؛ إذ اقتصرت مصادر المعرفة في الغالب على التعلم الذاتي عبر الموارد مفتوحة المصدر، مع غياب واضح للتأصيل الأكاديمي والتطبيق العملي. ويؤكد ذلك أن هذه التقنية لا تزال في مراحلها الأولية من حيث التبني المؤسسي والتعليمي في ليبيا.
2. **المتطلبات الهيكلية:** أكدت النتائج أن المدن تواجه تحديات هيكلية ورقمية كبيرة تعيق التنفيذ الفوري لهذه التقنية. وتتمحور هذه التحديات حول غياب قواعد البيانات المرجعية الشاملة والبنية التحتية الرقمية، مما يعني أن نجاح المشروع مرهون بالتهيئة المسبقة لبيئة العمليات (البيئة المُمكِّنة).
3. **العوائق الهيكلية وجاهزية الحكومة:** تمثلت أبرز العوائق المؤثرة في (ضعف المهارات الرقمية ورداءة البيانات) وصعوبة التكيف مع الأنظمة القديمة، فضلاً عن الفراغ التشريعي. كما صُنفت جاهزية الحكومة بأنها محدودة، إذ لا تزال المؤشرات الأولية غير كافية لدعم التنفيذ الشامل.

4. خارطة الطريق والمجالات الواعدة: خلصـــت الدراســـة إلى أن نقطة الانطلاق لنجاح التطبيق تكمن في صـــياغة اســـتراتيجية وطنية، تليها تهيئة البنية التحتية الرقمية وحوكمة البيانات. وفيما يتعلق بالأولويات القطاعية، حُدِّدت المجالات التالية باعتبارها القطاعات الأكثر إلحاحاً وملاءمةً للبدء في التطبيق ضـــمن البيئة الليبية: (الإسكان، وإدارة الكوارث، وصيانة الطرق والجسور).

5. الهشاشة الرقمية: كشفت الدراسة عن ضعف واضح في نظم المعلومات وقواعد البيانات الحالية، التي اتسمت بمحدودية الإمكانات والتشـتت. كما سُـجّل تراجع عام في جاهزية المدينة (من حيث البيانات والموارد البشـرية)، وهو ما يفسر حجم الفجوة بين الواقع الراهن ومتطلبات التحول نحو نموذج "التوأم الرقمي".

ثانياً: التوصيات:

بناءً على نتائج الدراســـة، وبهدف تذليل العقبات وتوفير بيئة داعمة لتوطين تقنية "التوأم الرقمي" في إدارة البنية التحتية، يوصي الباحث بما يلي:

1. صـياغة اسـتراتيجية وطنية: يتعين على الجهات الحكومية تبني رؤية اسـتراتيجية واضـحة للتحول الرقمي، تتضـــمن خارطة طريق ذات أهداف وجداول زمنية محددة، مقترنة بمؤشـــرات أداء رئيســـية دقيقة لقياس التقدم المحرز في تطبيق تقنيات المدن الذكية.

2. تحديث البنية التحتية الرقمية: الاستثمار في تطوير البنية التحتية لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات، بما في ذلك توسـيع شـبكات النطاق العريض، وتحديث نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وإنشـاء مراكز بيانات وطنية تدعم منصات متقدمة لإدارة الأصول.

المراجع :

1. Al-Sehrawy, R.; Kumar, B. and Watson, R. 2021. A digital twin uses classification system for urban planning & city infrastructure management. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 26: 832–862.
2. Al-Sehrawy, R.; Kumar, B. and Watson, R. 2021. Digital twins in smart cities: A systematic review. *Applied Sciences*, 11 (4): 1–23.
3. Alnnale, T. (2026). Predictive Governance in Digital Enterprises: An LSTM-Enhanced Deep Learning Framework for Economic Optimization of IT Incident Management Using Enriched Process Logs. *Al-Farooq Journal of Sciences*, *2*(3), 86-113.
4. Batty, M. 2018. Digital twins. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45 (5): 817–820.
5. Dani, A. A. H.; Supangkat, S. H.; Lubis, F. F.; Nugraha, I. G. B. B.; Kinanda, R. and Rizkia, I. 2023. Development of a smart city platform based on digital twin technology for monitoring and supporting decision-making. *Sustainability*, 15 (14002).
6. Grieves, M. and Vickers, J. 2017. Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In: Kahlen, F.-J.; Flumerfelt, S. and Alves, A. (Eds). *Transdisciplinary perspectives on complex systems*. Springer, pp. 85–113.
7. Hu, L. 2023. Research on the application of digital twin in smart cities. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, 42: 14–20.
8. Li, D.; Yu, W. and Shao, Z. 2021. Smart city based on digital twins. *Computers in Urban Science*, 1 (4).
9. MDPI. 2024. Digital Twins in Construction and Infrastructure Lifecycle. *Buildings*, 14 (9): 2616.
10. Novischi, D. 2025. Seeking a Definition of Digital Twins in Construction / Infrastructure Management. *LinkedIn Pulse*. Retrieved from

https://ae.linkedin.com/pulse/seeking-definition-digital-twins-construction-qd0of?tl=ar
11. OECD Observatory of Public Sector Innovation. 2021. Virtual Singapore: A dynamic 3D city model and collaborative data platform. *OECD*.
12. Qiu, S.; Zaheer, Q.; Ali, F.; Wajid, S.; Chen, H. and Ai, C. 2025. Exploring the impact of digital twin technology in infrastructure management: A comprehensive review. *Journal of Civil Engineering and Management*, 31 (4): 395–417.
13. Qiu, Y.; Li, X.; Zhang, Y. and Wang, J. 2025. Digital twin technology in infrastructure management: Trends, challenges, and future directions. *Journal of Urban Technology*, 32 (1): 45–67.
14. Shahat, E.; Hyun, C. T. and Yeom, C. 2021. City digital twin potentials: A review and research agenda. *Sustainability*, 13 (6): 3386.
15. Alnnale, T. (2025). *Random construction in the city of Al-Bayda during the period 2011-2022and its irregular expansion and its impact on the urban landscape.(2026),(38) 10 2614*.
16. Tommy, A. S. and Jaya, R. P. 2025. Integration of AI and digital twin technology for smart infrastructure management in urban cities. *Civil Engineering Science and Technology (CEST)*, 1 (1): 45–62.