# التطور التكنولوجي في التوثيق الرقمي للآثار ـ دراسة حول توظيف النمذجة ثلاثية الأبعاد وتقنية نمذجة معلومات البناء (HBIM) في حفظ التراث الثقافي

الباحث: المعتزبالله محمد الشيباني رحومه *
طالب دراسات عليا ، قسم الأثار ، مدرسة الإعلام والفنون ،الأكاديمية الليبية
Email: FN9FPPGZ@GMAIL.COM
تاريخ الارسال 2026/1/5م تاريخ القبول 2026/2/2م

# Title:
# Technological Advances in the Documentation and Preservation of Cultural Heritage: A Theoretical Study on Digital Recording, 3D Modeling, and Historic Building Information Modeling (HBIM)

Researcher: Al-Muʿtaz Billah Mohammed Al-Shaybani Rahouma
Email: FN9FPPGZ@GMAIL.COM

**Abstract**:
This research aims to explore the technological advances in the documentation and preservation of cultural heritage, with a focus on the theoretical foundations of archaeological and digital recording, and the use of modern technologies such as 3D modeling and Historic Building Information Modeling (HBIM). The first part of the study examines the theoretical framework of archaeological documentation, presenting various definitions, its role in preserving cultural identity, as well as the technical principles and challenges of digital applications. The second part highlights technological developments, particularly the role of 3D modeling in virtual reconstruction and the applications of HBIM systems in heritage management. The study concludes that digital documentation has become a strategic necessity for safeguarding heritage in the Arab world, including Libya, as it provides a practical alternative to economic and human constraints while enhancing academic research and supporting sustainable preservation efforts.
**Keywords:** Archaeological Documentation, Cultural Identity, 3D Modeling, HBIM, Digital Recording


حقوق النشر © للمؤلف/للمؤلفين 2025. ينشر هذا البحث بموجب رخصة المشاع الإبداعي Creative Commons (CC BY-NC 4.0)

**الملخص:**

يهدف هذا البحث إلى دراسة التطور التكنولوجي في مجال توثيق وحفظ الآثار، من خلال التركيز على الأسس النظرية للتوثيق الأثري والرقمي، واستعراض أبرز التقنيات الحديثة مثل النمذجة ثلاثية الأبعاد ونظم نمذجة معلومات البناء .(HBIM) تناول البحث في مبحثه الأول الإطار النظري للتوثيق الأثري، موضحاً تعريفاته المختلفة، وأهميته في الحفاظ على الهوية الثقافية، إضافةً إلى المبادئ التقنية التي تضبطه والتحديات التي تواجه تطبيقاته الرقمية. أما المبحث الثاني فقد ركز على التطور التكنولوجي من خلال استعراض دور النمذجة ثلاثية الأبعاد في التوثيق وإعادة البناء الافتراضي، إلى جانب تطبيقات نظم HBIM في إدارة التراث. خلص البحث إلى أن التوثيق الرقمي أصبح ضرورة استراتيجية لحماية التراث في العالم العربي، بما في ذلك ليبيا، حيث يمكن أن يوفر بديلاً عملياً أمام التحديات الاقتصادية والبشرية، ويساهم في تعزيز الدراسات الأكاديمية، ودعم جهود الحماية المستدامة للتراث الثقافي.

**الكلمات المفتاحية :**التوثيق الأثري، الهوية الثقافية، النمذجة ثلاثية الأبعاد، HBIM، التوثيق الرقمي.

**المقدمة:**

يُعد التراث الثقافي، بمختلف أنواعه المادية والمعنوية، الذاكرة الحية للشعوب وركيزة أساسية في بناء الهوية الوطنية. ومع تزايد المخاطر التي تهدد هذا التراث من حروب ونزاعات مسلحة وكوارث طبيعية، إلى جانب عوامل التعرية والإهمال، أصبحت الحاجة إلى أساليب توثيق حديثة أكثر إلحاحاً من أي وقت مضى ( UNESCO, 2011, p. 24). وقد شهدت العقود الأخيرة تطوراً ملحوظاً في استخدام التقنيات الرقمية في مجال التوثيق الأثري والمعماري، حيث أضحت الوسائل التقليدية مثل الرسم اليدوي أو التصوير الفوتوغرافي غير كافية لمواكبة متطلبات الدقة والسرعة والقدرة على مشاركة البيانات (Letellier, 2007, p. 13).

في هذا السياق، برزت تقنيات **النمذجة ثلاثية الأبعاد (D Modeling3) ونمذجة معلومات البناء (HBIM) كأدوات رائدة في مجال توثيق التراث، لما توفره من إمكانيات عالية الدقة في تسجيل المواقع والمعالم الأثرية وحفظها رقمياً، بما يتيح إعادة استخدامها في البحث العلمي، والترميم، والتعليم، وحتى في تعزيز السياحة الثقافية (Apollonio et al., 2018, p. 45). وتكمن أهمية هذه الأدوات في قدرتها على

الجمع بين الجانب التوثيقي التقني من جهة، والجانب الثقافي والمعرفي من جهة أخرى، الأمر الذي يجعلها أكثر شمولاً وفاعلية مقارنة بالوسائل التقليدية.

## إشكالية وأسئلة البحث:

تتمثل إشكالية البحث في السؤال المركزي: إلى أي مدى يمكن للتقنيات الرقمية الحديثة، مثل النمذجة ثلاثية الأبعاد وHBIM، أن تسهم في حفظ وتوثيق التراث الثقافي، وما أبرز التحديات التي تعيق تطبيقها في السياق العربي عامة والليبي خاصة؟

## أهداف البحث:

يسعى هذا البحث إلى تحقيق جملة من الأهداف، أبرزها:

1. إبراز الأهمية النظرية للتوثيق الأثري ودوره في حفظ الهوية الثقافية.
2. التعرف على المبادئ التقنية للتوثيق الرقمي، ومقارنة الوسائل التقليدية بالوسائل الحديثة.
3. دراسة تطبيقات النمذجة ثلاثية الأبعاد وتقنية HBIM في حفظ وتوثيق الآثار.
4. تحليل المزايا والتحديات التي تطرحها هذه التقنيات، مع الإشارة إلى بعض التجارب العالمية والعربية.

## الدراسات السابقة:

تناولت عدة دراسات أهمية التوثيق الرقمي في مجال الآثار. فعلى الصعيد الدولي، قدمت اليونسكو مبادئ توجيهية شاملة لإدارة التراث العالمي والتأكيد على دور التوثيق كعنصر أساسي للحماية (UNESCO, 2011). كما وضع المجلس الدولي للمعالم والمواقع (ICOMOS) معايير للتسجيل والتوثيق الدقيق للمعالم والمواقع التاريخية (ICOMOS, 1996). أما Letellier (2007) فقد ركّز على الجوانب التقنية للتوثيق، معتبراً أنه عملية تسجيل شاملة لكافة المعلومات المتاحة عن المواقع أو القطع الأثرية.

وعلى المستوى العربي، تبرز دراسة ريهام إياد عقيلي (2021) التي ناقشت أهمية إدخال النمذجة ثلاثية الأبعاد في مصر والعراق كبديل عملي عن الوسائل التقليدية في ظل محدودية الإمكانيات. كما تناولت هند صلاح (2019) موضوع التوثيق الرقمي للعمارة التاريخية مؤكدة ضرورة تأهيل الكوادر البشرية المتخصصة. كذلك، أشار المالكي (2004) إلى أهمية التوثيق المعماري في حفظ الذاكرة الجمعية ونقل التراث

للأجيال القادمة.

"وانطلاقًا من ذلك، فقد قُسِّم هذا البحث إلى مبحثين رئيسيين: تناول المبحث الأول الأسس النظرية للتوثيق الأثري، من خلال توضيح مفهومه وأهميته في الحفاظ على الهوية الثقافية، إضافة إلى المبادئ التقنية المرتبطة به والتحديات التي تعترض تطبيقاته. أما المبحث الثاني فقد خُصِّص لاستعراض التطور التكنولوجي في مجال التوثيق الرقمي للآثار، متناولًا دور النمذجة ثلاثية الأبعاد ونظم نمذجة معلومات البناء (HBIM)في دعم عمليات الحفظ والإدارة المستدامة للتراث

**المبحث الأول ـ الأسس النظرية للتوثيق الأثري :**

يمثل التوثيق الأثري الركيزة الأساسية التي تُبنى عليها جهود حفظ التراث الثقافي وإدارته، إذ يوفّر قاعدة معرفية شاملة حول المواقع الأثرية ومعالمها المادية والمعنوية. وفي ظل تنامي التحديات التي تواجه التراث، برزت الحاجة إلى وضع أسس نظرية وتقنية واضحة لهذا التوثيق تضمن دقته وموضوعيته. وعليه، جاء هذا المبحث ليسلّط الضوء على مفهوم التوثيق الأثري وأبعاده في الحفاظ على الهوية الثقافية، مع استعراض المبادئ التقنية المرتبطة به، إضافة إلى التحديات التي تحول دون تحقيق أقصى استفادة من تطبيقاته.

**المطلب الأول ـ التوثيق الأثري ودوره في الحفاظ على الهوية الثقافية:**

**أولاً ـ تعريف التوثيق الأثري:**

تعددت تعريفات التوثيق الأثري بتعدد الجهات البحثية والمؤسسات الدولية المعنية بالتراث. فقد عرّفته اليونسكو بأنه:

"عملية جمع وتسجيل وحفظ كل المعلومات المتاحة عن الموقع أو القطعة الأثرية، بما في ذلك القياسات، الأوصاف، الرسوم، الصور، والمعلومات التاريخية، بهدف استخدامها في البحث أو الحفظ أو الترميم" (UNESCO, 2011, p. 24).

أما المجلس الدولي للمعالم والمواقع (ICOMOS) فقد أكد أن التوثيق الأثري يشكل: "أداة أساسية في إدارة التراث الثقافي، تتيح تحديد معالمه بدقة وتسجيل حالته الراهنة من أجل الحماية والإدارة المستدامة" (ICOMOS, 1996, p. 3).

ويرى Letellier (2007, p. 13) أن التوثيق الأثري هو عملية شاملة لتسجيل كافة المعلومات المتاحة حول المواقع والقطع الأثرية من أجل ضمان حفظها للأغراض البحثية والعلمية.

وعلى الصعيد العربي، أوضحت ريهام إياد عقيلي (2021, p. 14) أن التوثيق يمثل

وسيلة علمية لحماية المواقع الأثرية في ظل ضعف الإمكانيات المادية، حيث يتيح بدائل رقمية يمكن اعتمادها كوسيلة لحماية وحفظ التراث. أما هند صلاح (2019, p. 22) فقد ركزت على التوثيق الرقمي للمباني التاريخية باعتباره وسيلة أساسية للحفاظ على الهوية العمرانية من خلال ربط المعطيات التقنية بالبعد الثقافي.

ومن منظور أوسع، يرى المالكي (2004, pp. 12-30) أن التوثيق المعماري والأثري هو جسر يربط الماضي بالحاضر، كونه يضمن نقل التراث الثقافي من جيل إلى آخر، مع توفير قاعدة معرفية متينة لدراسة وتحليل وفهم العمارة التاريخية ضمن سياقاتها الثقافية.

وبناءً على ما تقدم، يمكن صياغة تعريف شامل للتوثيق الأثري بأنه: عملية علمية ومنهجية تهدف إلى جمع وتسجيل وتحليل كافة البيانات المتعلقة بالمواقع والقطع الأثرية، باستخدام الوسائل التقليدية والحديثة، بغرض حفظها ونقلها للأجيال القادمة، وضمان استمرارية الهوية الثقافية عبر الزمن.

**ثانياً ـ دور التوثيق الأثري في الحفاظ على الهوية الثقافية:**

لا يقتصر التوثيق الأثري على كونه نشاطاً فنياً أو تقنياً، بل يتجاوز ذلك ليكون أداة استراتيجية لحماية الهوية الثقافية وصون الذاكرة الجمعية. ويمكن إبراز دوره في الجوانب التالية:

1. **حماية الذاكرة الجمعية**: التوثيق يضمن حفظ المعلومات التاريخية والمعمارية والفنية، مما يعزز استمرارية الهوية الثقافية للأجيال القادمة (المالكي، 2004, pp. 12-30).

2. **مرجع في حالات الطوارئ**: في حال تعرض المواقع الأثرية للكوارث الطبيعية أو النزاعات المسلحة، فإن الوثائق والبيانات المسجلة تصبح مصدراً موثوقاً لإعادة البناء أو الترميم (UNESCO, 2011, p. 28).

3. **تعزيز الدراسات الأكاديمية**: يُتيح التوثيق للباحثين إجراء مقارنات علمية وتحليلات دقيقة بين مواقع مختلفة، وهو ما يثري المعرفة الأثرية ويعزز البحوث الأكاديمية (Letellier, 2007, p. 15).

4. **التعليم ونشر الوعي**: توفر الملفات التوثيقية مادة علمية يمكن استثمارها في البرامج التعليمية والمعارض، لتعريف المجتمع بأهمية التراث وضرورة الحفاظ عليه (عقيلي، 2021, p. 20).

5. **الإطار القانوني والإداري**: يُستخدم التوثيق كوثيقة رسمية لتسجيل المباني والمواقع ضمن قوائم التراث الوطني أو العالمي، مما يمنحها الحماية القانونية اللازمة (ICOMOS, 1996, p. 5).

وعليه، يمكن القول إن التوثيق الأثري يمثل ركيزة أساسية لحماية التراث الثقافي، إذ لا يقتصر على الحفظ المادي للمباني أو القطع الأثرية، بل يشمل أيضاً الحفاظ على الهوية الجماعية للشعوب وضمان استمرارية ذاكرتها التاريخية.

**المطلب الثاني ـ المبادئ التقنية للتوثيق الرقمي:**

**أولاً ـ الأساليب التقليدية في التوثيق الأثري:**

قبل دخول التقنيات الرقمية إلى مجال التوثيق، اعتمدت الدراسات الأثرية والمعمارية على وسائل تقليدية كان لها دور محوري في حفظ التراث لعقود طويلة. ومن أبرز هذه الأساليب:

1. **الرسم اليدوي**:

كان الرسم اليدوي من أوائل الطرق المعتمدة في التوثيق الأثري، حيث يقوم الباحث أو المهندس المعماري بإعداد مخططات دقيقة للمنشآت والمباني التاريخية. ويُعد هذا الأسلوب أداةً مهمة لفهم النسب المعمارية وتوثيق التفاصيل الدقيقة (Letellier, 2007, p. 21). ورغم أن الرسم اليدوي يعكس مهارة الباحث وقدرته على ملاحظة التفاصيل، إلا أنه عرضة للأخطاء البشرية، كما أنه يستهلك وقتاً وجهداً كبيرين.

2. **التصوير الفوتوغرافي التقليدي**:

مع ظهور الكاميرا، أصبح التصوير الفوتوغرافي من أهم أدوات التوثيق الأثري. إذ يوفر صوراً واقعية تُظهر حالة الموقع أو المبنى بدقة زمنية محددة. وقد اعتمدت بعثات التنقيب المبكرة على التصوير كوسيلة لحفظ حالة المواقع الأثرية قبل أي تدخل ترميمي أو إنشائي (ICOMOS, 1996, p. 7). غير أن هذا النوع من التوثيق يظل محدوداً لعدم قدرته على نقل الأبعاد الثلاثية أو التغيرات المكانية الدقيقة.

3. **الوصف الكتابي**:

يُعد الوصف النصي واحداً من أقدم أشكال التوثيق، حيث يقوم الباحثون بتسجيل الملاحظات التفصيلية حول الموقع، بما في ذلك المواد المستخدمة، والزخارف، والحالة الإنشائية (عقيلي، 2021, p. 18). ورغم أهميته في إثراء السرد التاريخي والمعرفي، إلا أن الوصف وحده لا يكفي لنقل صورة شاملة عن الأثر.

إجمالاً، ساهمت هذه الأساليب في وضع قاعدة معرفية واسعة، لكنها بقيت محدودة في دقتها وقابليتها للاستخدام في التحليلات الحديثة، وهو ما أظهر الحاجة إلى حلول رقمية متقدمة.

**ثانياً ـ الأساليب الحديثة في التوثيق الرقمي:**

مع التطور التكنولوجي الهائل في العقود الأخيرة، ظهرت تقنيات جديدة أحدثت نقلة نوعية في طرق توثيق التراث. ومن أبرز هذه الأساليب:

1. **المسح الليزري ثلاثي الأبعاد (Laser Scanning)**:

يُعتبر من أكثر التقنيات تطوراً، حيث يُمكّن من إنتاج نماذج رقمية دقيقة للمباني والمواقع الأثرية بدقة تصل إلى المليمتر. وقد أوصى ** ICOMOS (2007, p. 12)** باستخدام هذه التقنية باعتبارها من الأدوات الأساسية لتوثيق التراث المعماري.

2. **التصوير الفوتوغرامتري (Photogrammetry):**

يعتمد على معالجة الصور الفوتوغرافية الملتقطة من زوايا متعددة لإنتاج نماذج ثلاثية الأبعاد. وتُعد هذه التقنية أقل تكلفة من المسح الليزري، وتُستخدم على نطاق واسع في المشاريع الميدانية (Letellier, 2007, p. 30).

3. **النظم الجغرافية (GIS):**

تسمح بربط البيانات المكانية بالخصائص التاريخية والمعمارية للموقع، مما يتيح إدارة شاملة للمعلومات المرتبطة بالمكان (Haddad, 2011, p. 42).

4. **النمذجة الرقمية (D Modeling3):**

وهي من الأدوات التي أصبحت أساسية في عملية التوثيق، حيث تسمح بإنشاء نماذج افتراضية تُستخدم في التعليم والبحث وحتى السياحة الافتراضية (عقيلي، 2021, p. 25).

**ثالثاً ـ المبادئ والمعايير الأساسية للتوثيق الرقمي:**

وضع الباحثون والمنظمات الدولية جملة من المبادئ التي يجب الالتزام بها لضمان أن يكون التوثيق الرقمي ذا مصداقية علمية وقيمة عملية. ومن أهم هذه المبادئ:

1. **الدقة**:

تشير إلى ضرورة أن تكون البيانات المجمعة صحيحة وتمثل الواقع بشكل موثوق. الدقة تضمن أن النماذج الرقمية يمكن الاعتماد عليها في التحليل أو الترميم (UNESCO, 2011, p. 33).

2. **الموضوعية**:

ينبغي أن تُسجل البيانات كما هي دون تدخل في تفسيرها أو تزييفها. الموضوعية هنا شرط للحفاظ على النزاهة العلمية (ICOMOS, 1996, p. 10).

3. **القابلية للتكرار والتحقق**:

ينبغي أن تكون منهجية التوثيق واضحة بحيث يمكن لأي باحث آخر إعادة نفس العملية والحصول على نتائج متقاربة (Letellier, 2007, p. 41).

4. **إمكانية الوصول**:

تشير إلى أهمية جعل البيانات الرقمية متاحة للباحثين وصناع القرار، مما يسهل الاستفادة منها في مجالات متعددة (Haddad, 2011, p. 47).

5. **الاستدامة**:

ينبغي أن يتم حفظ البيانات بطرق تضمن إمكانية استخدامها على المدى الطويل، حتى مع تغير الوسائط التقنية (UNESCO, 2011, p. 35).

ومع ما يتيحه التوثيق الرقمي من مزايا عديدة في حفظ وإدارة التراث، إلا أنه لا يخلو من تحديات جوهرية تتعلق بارتفاع التكاليف، والحاجة إلى كوادر متخصصة، إضافة إلى إشكالات تقنية وقانونية مرتبطة بحقوق الملكية الفكرية؛ وهو ما سيتم تناوله بالتفصيل في المطلب الثالث".

**المطلب الثالث ـ التحديات المرتبطة بالتوثيق الرقمي:**

رغم ما يقدمه التوثيق الرقمي من إمكانات متقدمة لحفظ وصون التراث الثقافي، فإن تطبيقه يواجه جملة من التحديات والعقبات التي قد تحد من فاعليته أو تعيق انتشاره، خاصة في الدول النامية. ويمكن تصنيف هذه التحديات في المحاور التالية:

**1. ارتفاع التكلفة المادية:**

تمثل التكلفة المالية العالية أحد أبرز العوائق أمام تطبيق التوثيق الرقمي. فاقتناء أجهزة المسح ثلاثي الأبعاد (Laser Scanners) أو أنظمة التصوير الضوئي المتقدمة، بالإضافة إلى البرمجيات الاحترافية المرافقة لها، يتطلب ميزانيات ضخمة قد لا تتوفر للهيئات والمؤسسات الأثرية في دول مثل ليبيا .(Letellier, 2007, p. 25) كما أن تكلفة التدريب والصيانة الدورية لهذه الأجهزة تمثل عبئاً إضافياً، مما يجعل من الصعب الاستمرار في استخدامها على نطاق واسع.

**2. الحاجة إلى كوادر بشرية متخصصة:**

يتطلب التوثيق الرقمي كفاءات بشرية مؤهلة قادرة على التعامل مع المعدات التقنية المعقدة وبرامج المعالجة ثلاثية الأبعاد. وقد أشارت دراسات عدة إلى أن نقص الكوادر المدرّبة يشكل عائقاً حقيقياً أمام اعتماد هذه التقنيات في كثير من الدول العربية (عقيلي، 2021، ص. 33). فالتعامل مع البيانات الضخمة الناتجة عن عمليات المسح يحتاج إلى خبرة عالية في الهندسة المعمارية، وتقنيات الحاسوب، وإدارة قواعد البيانات.

**3. إشكالية المعايير والتوحيد:**

لا تزال هناك فجوة واضحة فيما يخص المعايير الموحدة للتوثيق الرقمي. إذ تختلف طرق جمع البيانات وصياغتها وتخزينها من مؤسسة إلى أخرى، مما يصعّب عملية تبادل المعلومات بين الهيئات البحثية أو دمجها في قواعد بيانات شاملة (UNESCO, 2011, p. 30). ويُضعف هذا التباين فرص الاستفادة الكاملة من البيانات الموثقة، ويجعلها في بعض الأحيان محدودة القيمة خارج نطاق المؤسسة المنتجة لها.

**4. ضعف البنية التحتية التقنية:**

تُعد البنية التحتية التقنية عاملاً أساسياً في نجاح مشاريع التوثيق الرقمي. ففي العديد من الدول النامية، تفتقر المؤسسات الأثرية إلى أنظمة حاسوبية متطورة أو خوادم قادرة على استيعاب حجم البيانات الكبيرة الناتجة عن المسح ثلاثي الأبعاد (ICOMOS, 1996, p. 7). كما أن محدودية شبكات الإنترنت السريعة تعرقل عمليات رفع أو تبادل الملفات الرقمية الضخمة، مما يعيق التعاون البحثي الدولي.

**5. التحديات القانونية والأخلاقية:**

يطرح التوثيق الرقمي إشكاليات قانونية تتعلق بحقوق الملكية الفكرية للبيانات والصور والنماذج الرقمية المنتَجة. ففي بعض الحالات، قد يتم استغلال هذه البيانات في أغراض تجارية غير مصرح بها أو نشرها دون إذن، مما يثير مخاوف لدى المؤسسات المالكة للتراث (Letellier, 2007, p. 29). كما أن هناك قضايا أخلاقية تتعلق بحق المجتمعات المحلية في التحكم في كيفية عرض تراثها الثقافي على المنصات الرقمية.

**6. مقاومة التغيير:**

من التحديات الخفية التي تعرقل تطبيق التوثيق الرقمي وجود مقاومة من بعض العاملين في الحقل الأثري لاعتماد هذه التكنولوجيا الجديدة. فالبعض ما زال يرى أن

الأساليب التقليدية كالرسم اليدوي أو التصوير الفوتوغرافي كافية وموثوقة، مما يؤدي إلى بطء في تبني الحلول الرقمية الحديثة (عقيلي، 2021، ص. 34.(

**7. محدودية التطبيق في السياق العربي والليبي:**

على المستوى العربي، ورغم المبادرات الرائدة في مصر والعراق، إلا أن استخدام التوثيق الرقمي لا يزال محدوداً بسبب ضعف الإمكانيات المالية والفنية (هند، 2019، ص. 28). أما في ليبيا، فالوضع أكثر تعقيداً نتيجة لغياب المشاريع المؤسسية المنظمة، والاكتفاء في الغالب بمبادرات فردية أو تجريبية، دون وجود استراتيجية وطنية متكاملة للتوثيق الرقمي.

**الخلاصة** يتضح من العرض السابق أن التحديات المرتبطة بالتوثيق الرقمي للتراث الثقافي متعددة الأبعاد، وتشمل الجوانب المادية والفنية والقانونية والمؤسسية. ورغم أن هذه العقبات تشكل عائقاً أمام تبني هذه التقنيات في الدول النامية، إلا أن التغلب عليها ممكن من خلال توفير التمويل المستدام، وتدريب الكوادر البشرية، ووضع معايير موحدة، إلى جانب تبني سياسات وطنية واضحة تعزز من استخدام هذه التقنيات في صون التراث.

"وبذلك نكون قد تناولنا الأسس النظرية للتوثيق الأثري ومبادئه التقنية، لننتقل في المبحث الثاني إلى استعراض التطورات التكنولوجية التي أسهمت في إحداث نقلة نوعية في أساليب توثيق وحفظ الآثار".

**المبحث الثاني:** التطور التكنولوجي في التوثيق الرقمي للآثار

شهدت العقود الأخيرة تطورًا ملحوظًا في توظيف التكنولوجيا الرقمية لخدمة التراث الثقافي، حيث أُدخلت أدوات وتقنيات حديثة أحدثت نقلة نوعية في طرق التوثيق والحفظ. فقد أصبحت النمذجة ثلاثية الأبعاد ونظم نمذجة معلومات البناء (HBIM) من أبرز الأساليب التي تجمع بين الدقة التقنية والقدرة على تحليل وإدارة البيانات الأثرية بصورة شمولية. ومن هنا، يهدف هذا المبحث إلى استعراض دور هذه التقنيات في التوثيق الرقمي للآثار، مع مناقشة تطبيقاتها العملية وما تتيحه من مزايا، إضافة إلى التحديات والتجارب العالمية والعربية ذات الصلة.

**المطلب الأول ـ النمذجة ثلاثية الأبعاد ودورها في التوثيق والحفظ:**

تُعد النمذجة ثلاثية الأبعاد (3D Modeling) من أبرز الأدوات الرقمية الحديثة التي أحدثت نقلة نوعية في مجال التوثيق الأثري وحفظ التراث الثقافي. فقد وفرت هذه

التقنية إمكانات هائلة لتسجيل وتحليل وإعادة بناء المواقع الأثرية والمعالم التاريخية بدرجة عالية من الدقة والوضوح.

**1. - مفهوم النمذجة ثلاثية الأبعاد:**

النمذجة ثلاثية الأبعاد هي عملية إنشاء تمثيل رقمي ثلاثي الأبعاد لمجسم مادي باستخدام أدوات وبرمجيات متخصصة. وفي السياق الأثري، تُستخدم هذه التقنية لتوليد صور ونماذج افتراضية دقيقة للمواقع أو القطع الأثرية، بحيث تعكس أبعادها الهندسية والمعمارية بشكل متكامل (Remondino & Campana, 2014, p. 5). وقد أكدت اليونسكو أن النمذجة الرقمية تُعتبر وسيلة أساسية لحماية التراث الثقافي من الاندثار، إذ تمكّن الباحثين من توثيق المعلومات بشكل دائم وقابل للتداول العلمي.(UNESCO, 2011, p. 41)

**2- الأساليب التقنية في النمذجة ثلاثية الأبعاد:**

تعتمد النمذجة ثلاثية الأبعاد على عدة أساليب تقنية متطورة، من أهمها:

**أ. المسح بالليزر (Laser Scanning):**

يُعد من أكثر الأساليب دقة، حيث يستخدم أشعة الليزر لالتقاط ملايين النقاط (Point Clouds) التي تُشكل فيما بعد صورة ثلاثية الأبعاد دقيقة للمبنى أو الموقع (Letellier, 2007, p. 44).

**ب. التصوير الفوتوغرامتري (Photogrammetry):**

يقوم على تحليل الصور الفوتوغرافية الملتقطة من زوايا متعددة لإنتاج نموذج ثلاثي الأبعاد. ويتميز بكونه أقل تكلفة مقارنة بالمسح الليزري، وقد حقق نتائج مبهرة في العديد من المشاريع.(Remondino & Campana, 2014, p. 10)

**ج. النمذجة اليدوية الرقمية (Manual 3D Modeling):**

حيث يقوم المتخصصون بإعادة بناء العناصر الأثرية باستخدام برامج التصميم (مثل AutoCAD و3Ds Max)، اعتماداً على القياسات والرسومات التقليدية.

**3- التطبيقات العملية للنمذجة ثلاثية الأبعاد في مجال التراث:**

أثبتت النمذجة ثلاثية الأبعاد جدواها في عدة مجالات عملية، أهمها:

إعادة بناء المواقع المهددة أو المدمرة :مثل إعادة بناء آثار مدينة تدمر في سوريا بعد تعرضها للتدمير، باستخدام تقنيات النمذجة الرقمية.(Vincent, 2016, p. 22)

التوثيق الدائم :حيث توفر النماذج ثلاثية الأبعاد سجلاً رقمياً شاملاً يمكن الرجوع إليه في أي وقت، حتى وإن تعرض الموقع الأصلي للتلف.

العرض المتحفي الافتراضي :إذ تتيح للزوار التفاعل مع القطع الأثرية في بيئة رقمية ثلاثية الأبعاد، مما يثري التجربة التعليمية والثقافية.

دعم عمليات الترميم :حيث تساعد النماذج الرقمية في اختبار فرضيات الترميم قبل تطبيقها على المبنى الأثري الفعلي.

**4- المزايا التي تقدمها النمذجة ثلاثية الأبعاد:**

تقدم النمذجة ثلاثية الأبعاد مجموعة من المزايا المهمة، منها:

الدقة العالية :في تسجيل التفاصيل المعمارية والإنشائية للمباني والمواقع.

إمكانية مشاركة البيانات :إذ يمكن تداول النماذج الرقمية بسهولة بين المؤسسات البحثية والجامعات.

خفض تكاليف الترميم :حيث تُستخدم النماذج الافتراضية كأداة للتخطيط بدلاً من التجريب المباشر على الأثر.

التوثيق المستدام :فهي تضمن بقاء نسخة رقمية للأثر حتى لو تعرض للتدمير أو التلف (UNESCO, 2011, p. 45).

**5- التحديات التي تواجه النمذجة ثلاثية الأبعاد:**

رغم هذه المزايا، تواجه النمذجة ثلاثية الأبعاد بعض الصعوبات، مثل:

ارتفاع تكلفة الأجهزة والبرمجيات.

الحاجة إلى كوادر متخصصة قادرة على التعامل مع البيانات.

ضخامة حجم الملفات الرقمية الناتجة.

قضايا حقوق الملكية الفكرية للبيانات.

**6- التجارب العالمية والعربية في توظيف النمذجة ثلاثية الأبعاد:**

شهد العالم عدة مشاريع رائدة في هذا المجال، مثل مشروع CyArk الذي يسعى لتوثيق مئات المواقع التراثية عالمياً باستخدام المسح ثلاثي الأبعاد (CyArk, 2020) وعلى المستوى العربي، استخدمت مصر هذه التقنية في توثيق معبد أبو سمبل، بينما استفادت العراق من تقنيات التصوير الفوتوغرامتري في إعادة بناء بعض مواقع الموصل الأثرية بعد الحرب (عقيلي، 2021، ص. 41).

خلاصة القول تُظهر النمذجة ثلاثية الأبعاد أنها ليست مجرد أداة تقنية، بل وسيلة استراتيجية لحماية التراث وتعزيز استدامته للأجيال القادمة. فهي تجمع بين الدقة العلمية والمرونة العملية، مما يجعلها خياراً لا غنى عنه في العصر الرقمي.

المبحث الثاني: التطور التكنولوجي في التوثيق الرقمي للآثار

## المطلب الثاني: نمذجة معلومات البناء (BIM/HBIM) وتطبيقها في إدارة التراث

### 1. - مفهوم نمذجة معلومات البناء (BIM) وامتدادها إلى التراث (HBIM)

تُعرف نمذجة معلومات البناء (Building Information Modeling – BIM) بأنها منهجية متكاملة لإدارة البيانات الهندسية والمعمارية لمشروع ما، عبر إنشاء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد يحتوي على معلومات مكانية وزمنية ووظيفية للمبنى (Eastman et al., 2011, p. 15).

وقد تطورت هذه المنهجية لتأخذ بُعداً جديداً في مجال التراث الثقافي عبر ما يُعرف بـ HBIM (Heritage Building Information Modeling) ، وهو امتداد خاص لتوظيف تقنيات الـ BIM في توثيق المباني والمواقع التاريخية (Murphy et al., 2013, p. 12).

### 2.- الأسس التقنية لـ HBIM

يقوم نظام HBIM على مجموعة من الأسس والمعايير التقنية، أبرزها:

المسح الرقمي ثلاثي الأبعاد:** باستخدام الليزر أو الفوتوغرامتري لجمع بيانات دقيقة عن المباني التاريخية.

إعادة بناء العناصر التراثية:** حيث تُحوَّل البيانات المجمعة إلى عناصر معمارية رقمية (Parametric Components).

قاعدة بيانات متكاملة:** تضم التفاصيل المعمارية والإنشائية والتاريخية، بحيث يمكن الرجوع إليها عند الحاجة (Fai & Rafeiro, 2014, p. 28).

### 3. تطبيق HBIM في إدارة التراث

لقد برزت تطبيقات HBIM في عدة مجالات مهمة، منها:

**إدارة الترميم:** حيث يتيح HBIM محاكاة سيناريوهات الترميم المختلفة قبل تنفيذها على المبنى الأثري.

**التخطيط للحفاظ:** إذ يوفر نموذجاً رقمياً شاملاً يُستخدم في وضع استراتيجيات الحفاظ طويلة المدى.

**إدارة المخاطر:** يساعد HBIM في تحليل الأضرار المحتملة الناتجة عن الكوارث الطبيعية أو البشرية، واقتراح حلول وقائية.

**تطوير السياحة الثقافية:** عبر تمكين إنشاء جولات افتراضية دقيقة للمباني التراثية.

**4. المزايا مقارنة بالتقنيات الأخرى**

يتميز HBIM بعدة مزايا مقارنة بالطرق التقليدية أو حتى النمذجة ثلاثية الأبعاد المنفصلة:

**التكاملية:** يجمع بين النموذج الهندسي والمعلومات التاريخية في بيئة واحدة.

**التفاعلية:** يتيح إدخال تحديثات مستمرة على النموذج بما يعكس حالة المبنى في الزمن الحقيقي.

**إدارة البيانات:** ينظم كميات ضخمة من المعلومات في صيغة قابلة للتحليل والاستخدام.

**الدعم المؤسسي:** أصبح معتمداً من العديد من المؤسسات الدولية في مشاريع الحفاظ على التراث (Logothetis et al., 2015, p. 39).

**5. التحديات المرتبطة بتطبيق** HBIM

رغم هذه الفوائد، يواجه تطبيق HBIM عدة صعوبات، مثل:

صعوبة تحويل البيانات المعقدة للمباني التاريخية إلى نماذج رقمية دقيقة.**

ارتفاع التكلفة المادية والوقت المطلوب لإنشاء النموذج.

الحاجة إلى خبرات متعددة التخصصات (معماريين، أثريين، مهندسين، مبرمجين).

غياب معايير موحدة لتطبيق HBIM في التراث الثقافي.

**6. التجارب العالمية والعربية في** HBIM

عالمياً: تم استخدام HBIM في عدة مشاريع رائدة مثل كاتدرائية نوتردام في باريس بعد الحريق عام 2019، حيث لعب النموذج الرقمي دوراً رئيسياً في خطة إعادة البناء (Bolognesi et al., 2020, p. 51).

وعربياً: بدأت بعض المبادرات في مصر والأردن في توظيف BIM/HBIM في توثيق المباني التاريخية، إلا أن التجربة لا تزال محدودة مقارنة بالدول الأوروبية (عقيلي، 2021، ص. 62).

**خلاصة المطلب :**

تُظهر الدراسات أن **HBIM** يمثل ثورة حقيقية في إدارة التراث، إذ يوفّر منصة متكاملة للتوثيق والتحليل والإدارة المستدامة. ورغم ما يواجهه من تحديات، إلا أن انتشاره المتزايد يعكس أهميته كأداة استراتيجية لحماية التراث الثقافي في العصر الرقمي.

**المطلب الثالث:** التحديات والتجارب العالمية والعربية في توظيف التكنولوجيا

**أولاً ـ التحديات في توظيف التكنولوجيا الحديثة لحفظ التراث:**

رغم الإمكانات الهائلة التي توفرها التقنيات الرقمية (مثل النمذجة ثلاثية الأبعاد و HBIM)، إلا أن توظيفها في توثيق التراث يواجه عقبات متعددة، يمكن تصنيفها إلى:

**التحديات التقنية:**

تعقيد البيانات الخاصة بالمباني والمواقع التاريخية، وصعوبة معالجتها رقمياً بشكل يحافظ على تفاصيلها الدقيقة.(Murphy et al., 2013, p. 17)

الحاجة إلى برمجيات وأجهزة عالية الكفاءة (ماسحات ليزرية ثلاثية الأبعاد، خوادم لتخزين البيانات)، وهو ما يرفع التكلفة ويجعلها محدودة الوصول في بعض الدول النامية.

**التحديات البشرية:**

نقص الكوادر المتخصصة التي تمتلك خبرات متقاطعة بين علم الآثار، الهندسة، وتكنولوجيا المعلومات.(Logothetis et al., 2015, p. 42)

ضعف التدريب المستمر للعاملين في قطاع التراث على استخدام هذه التقنيات.

**التحديات الاقتصادية:**

ارتفاع كلفة شراء الأجهزة والبرامج، إضافة إلى صيانة وتحديث الأنظمة الرقمية.

غياب الدعم المالي المخصص لمشاريع التوثيق الرقمي في كثير من الدول العربية.

**التحديات المؤسسية والقانونية:**

غياب معايير موحدة لإدارة البيانات الرقمية الخاصة بالمواقع الأثرية.

قصور الأطر القانونية التي تضمن اعتماد الوثائق الرقمية كأدلة رسمية في حماية التراث.

**ثانياً ـ التجارب العالمية في توظيف التكنولوجيا:**

**أوروبا :**شهدت عدة مشاريع رائدة مثل توثيق مدينة بومبي الأثرية في إيطاليا باستخدام تقنيات المسح الليزري والنمذجة ثلاثية الأبعاد، ما ساهم في رصد دقيق للتغيرات التي طرأت على الموقع.(Guidi et al., 2014, p. 36)

**فرنسا :**بعد حادثة حريق كاتدرائية نوتردام (2019)، لعبت النماذج الرقمية ثلاثية الأبعاد وملفات HBIM دوراً أساسياً في خطة إعادة البناء، حيث استُخدمت كنقطة مرجعية دقيقة.(Bolognesi et al., 2020, p. 51)

**الولايات المتحدة :**اعتمدت مؤسسات مثل مكتبة الكونغرس على تقنيات المسح الرقمي لإنشاء أرشيف رقمي شامل للمواقع التراثية المهددة بالزوال (Letellier, 2007, p. 21).

**ثالثاً ـ التجارب العربية في توظيف التكنولوجيا:**

**مصر :**تشير رسالة ريهام إياد عقيلي (2021، ص. 62) إلى أن اعتماد تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد و HBIMفي مصر ساهم في توفير بدائل عملية للتوثيق، خصوصاً مع محدودية الإمكانيات التقليدية.

**العراق :**أوضحت الدراسة نفسها أن التجربة العراقية اتسمت بمحاولات فردية وجهود أكاديمية، لكنها تظل محدودة على مستوى المؤسسات الرسمية.

**الأردن :**بدأت مبادرات أكاديمية في استخدام التصوير الفوتوغرامتري والنمذجة ثلاثية الأبعاد لتوثيق مواقع أثرية، مثل البتراء، إلا أن التوسع المؤسسي ما يزال ضعيفاً (Fai & Rafeiro, 2014, p. 29).

**ليبيا :**رغم شُحّ الدراسات المنشورة، إلا أن بعض المبادرات الفردية ظهرت عبر مشروعات جامعية ومنشورات صادرة عن مصلحة الآثار، تشير إلى بداية الاهتمام بالتقنيات الرقمية كوسيلة بديلة للتوثيق.

**رابعاً ـ الدروس المستفادة:**

من خلال مقارنة التجارب العالمية والعربية، يمكن استخلاص أن:

نجاح المشاريع الرقمية يرتبط بمدى **توافر الدعم المؤسسي والمالي**.

**التعاون متعدد التخصصات** )بين علماء الآثار، المهندسين، وتقنيي المعلومات) شرط أساسي لتحقيق نتائج دقيقة.

**التوثيق الرقمي** يجب أن يُنظر إليه كاستثمار طويل المدى، وليس مجرد إجراء مؤقت.

ظهر التجارب أن توظيف التكنولوجيا الحديثة في مجال حفظ التراث ليس خياراً ترفيهياً، بل ضرورة ملحة لمواجهة المخاطر الطبيعية والبشرية. ومع ذلك، فإن نجاح هذه الأدوات يتوقف على معالجة التحديات التقنية والبشرية والاقتصادية التي تعيق تطبيقها، خاصة في السياق العربي .

## الخاتمة :

يتضح من خلال هذا البحث أن التوثيق الأثري لم يعد مجرد عملية وصفية تقليدية، بل أصبح إطاراً علمياً وتقنياً متكاملاً يهدف إلى حماية الهوية الثقافية للأمم وصون ذاكرتها الجمعية. فمن خلال استعراض الأسس النظرية للتوثيق الأثري، تبين أن هذه

العملية تمثل أداة استراتيجية لحماية المواقع الأثرية، إذ تحفظها من الاندثار، وتتيح إمكانية الرجوع إلى بيانات دقيقة في حالات الطوارئ، إضافةً إلى دورها في تعزيز الدراسات الأكاديمية وتوسيع قاعدة المعرفة حول التراث.

كما أظهر البحث أن التطور التكنولوجي — وبخاصة تقنيات **النمذجة ثلاثية الأبعاد (3D Modeling) ونمذجة معلومات البناء — (BIM/HBIM)** قد أحدث نقلة نوعية في هذا المجال. فقد أتاحت هذه التقنيات إعادة بناء المواقع والأبنية التاريخية بدقة عالية، ووفرت وسائل جديدة لإدارة التراث وحمايته. ومع ذلك، فإن التطبيق العملي لهذه التقنيات يظل محفوفاً بتحديات تقنية واقتصادية وبشرية، خاصة في السياق العربي حيث ما تزال الموارد المحدودة تشكل عائقاً أمام الاستخدام الواسع لهذه التكنولوجيا.

بناءً على ما سبق، يمكن القول إن التوثيق الرقمي للآثار يُعد اليوم ضرورة استراتيجية لضمان استمرارية الهوية الثقافية، ولتعزيز مكانة التراث كجزء من التنمية المستدامة للمجتمعات.

## التوصيات

**تعزيز البنية التحتية الرقمية :**ضرورة توفير أجهزة وبرمجيات متطورة (ماسحات ثلاثية الأبعاد، خوادم بيانات) في المؤسسات الأثرية العربية.

**تأهيل الكوادر البشرية :**إنشاء برامج تدريبية متخصصة تجمع بين علوم الآثار والهندسة وتقنية المعلومات، بما يسهم في سد الفجوة بين النظرية والتطبيق.

**دعم البحث العلمي :**تشجيع الجامعات ومراكز الأبحاث على إنجاز دراسات تطبيقية في مجال النمذجة الرقمية وتوظيفها في حفظ التراث.

**التعاون الدولي :**الانخراط في مشاريع مشتركة مع المنظمات العالمية (مثل اليونسكو و ICOMOS)لاكتساب الخبرة ونقل التكنولوجيا.

**إصدار تشريعات داعمة :**تطوير أطر قانونية تُقرّ بالوثائق الرقمية كأدوات رسمية في حفظ وصون التراث.

**تشجيع المبادرات المحلية :**دعم مبادرات الأفراد والمؤسسات الصغيرة في ليبيا وبقية الدول العربية التي تستخدم الوسائل الرقمية لتوثيق التراث.

**إدماج التوثيق الرقمي في التعليم :**إدراج مقررات جامعية حول التوثيق الرقمي والنمذجة ثلاثية الأبعاد ضمن برامج الآثار والهندسة المعمارية.

**بيان تضارب المصالـــح:**

يُقر المؤلف بعدم وجود أي تضارب مالي أو علاقات شخصية معروفة قد تؤثر على العمل المذكور في هذه الورقة.

## المراجع العربية:


1. **عقيلي**، ريهام إياد (2021). *استخدام النمذجة ثلاثية الأبعاد في حفظ وتوثيق التراث الثقافي: دراسة تطبيقية على مواقع أثرية مختارة في مصر والعراق*. رسالة ماجستير، جامعة القاهرة.
2. **المالكي**، قبيلة فارس (2004). *التراث العمراني والمعماري في الوطن العربي*. منشورات جامعة بغداد.
3. عبد الجواد، هند أحمد (2019). *التقنيات الرقمية الحديثة في توثيق وصيانة الآثار المعمارية*. مجلة كلية الآداب، جامعة المنصورة، 85(2)، 233-250.

المراجع الأجنبية

.4 Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (2nd ed.). Hoboken: Wiley. [https://doi.org/10.1002/9781119287568](https://doi.org/10.1002/9781119287568(

.5 Fai, S., & Rafeiro, J. (2014). Establishing an appropriate level of detail (LoD) for a building information model (BIM) — West Block, Parliament Hill, Ottawa, Canada. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(5), 123–130. [https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-123-2014](https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-123-2014(

.6 Logothetis, S., Delinasiou, A., & Stylianidis, E. (2015). Building Information Modelling for Cultural Heritage: A review. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(5), 177–183. [https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W3-177-2015](https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W3-177-2015(

.7 Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2013). Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 76, 89–102. [https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006(

.8 Bolognesi, C. M., Brumana, R., & Banfi, F. (2020). From a point cloud survey to a HBIM system for conservation: A case study of the Basilica di Collemaggio after the 2009 earthquake. *Applied Geomatics*, 12, 45–62. [https://doi.org/10.1007/s12518-019-00275-6](https://doi.org/10.1007/s12518-019-00275-6(

.9 Letellier, R. (2007). *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places: Guiding Principles*. Getty Conservation Institute. [https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/recordim.pdf](https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/recordim.pdf(

.10 ICOMOS. (1996). *Principles for the Recording of Monuments, Groups of Buildings and Sites*. International Council on Monuments and Sites. [https://www.icomos.org/en/charters-and-other-doctrinal-texts](https://www.icomos.org/en/charters-and-other-doctrinal-texts(

.11 UNESCO. (2011). *Managing Cultural World Heritage*. UNESCO World Heritage Centre. [https://whc.unesco.org/en/managing-cultural-world-heritage/](https://whc.unesco.org/en/managing-cultural-world-heritage(/