تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد واستخدامها في الحفاظ على المخططات العمرانية رقميا لمدينة شبام حضرموت التاريخية

صلاح خالد علي الأسطى [1](*.1)
بلال ردمان علي الذبحاني [2](*.2)

© 2023 University of Science and Technology, Sana'a, Yemen. This article can be distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

© 2023 جامعة العلوم والتكنولوجيا، اليمن، صنعاء. يمكن إعادة استخدام المادة المنشورة حسب رخصة مؤسسة المشاع الإبداعي شريطة الاستشهاد بالمؤلف والمجلة.

[1] طالب دراسات عليا، قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة العوم والتكنولوجيا، الجمهورية اليمنية
[2] أستاذ مساعد، قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة العوم والتكنولوجيا، الجمهورية اليمنية
*عنوان المراسلة: salahalasta@gmail.com ، belal412@hotmail.com

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد واستخدامها في الحفاظ على المخططات العمرانية رقميا لمدينة شبام حضرموت التاريخية

الملخص:

للمدن التاريخية أهمية كبيرة في عصرنا الحالي لما تمثله من ثروة ثقافية واجتماعية وعمرانية للمجتمعات، حيث تكتسب المدن التاريخية أهميتها من خلال القيم والمبادئ التي انعكست على واقع المدينة وفي شخصيتها ومقوماتها الاجتماعية والطبوغرافية وفي شكلها التخطيطي والعمراني. لقد أخذت أساليب وطرق الحفاظ التقليدية فترات زمنية طويلة وتأثرت بالحالة السياسية والاقتصادية للبلاد والتي مازالت حتى الوضع الراهن تعيش فترة عدم الاستقرار، ومن هنا تلخصت مشكلة البحث في اعتماد مشاريع الحفاظ على الأساليب والطرق التقليدية وعدم وجود رؤية تطبيقية لاستخدام التقنيات الرقمية في الحفاظ، ويهدف هذا البحث إلى عمل منصة رقمية للحفاظ الرقمي لمدينة شبام حضرموت التاريخية باستخدام تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد، وتبرز أهمية البحث في أن استخدام تقنيات النمذجة لأنظمة المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد تساعد في الحفاظ الرقمي وذلك بإدارة وأرشفة البيانات العمرانية والتي تساهم في بناء قاعدة بيانات مكانية تربط بين البيانات المكانية ثلاثية الأبعاد ومجموعة من البيانات الوصفية المرتبطة مع كل كائن رسومي خاص بالعناصر العمرانية التاريخية، وقد اتبع البحث المنهج الاستقرائي الوصفي في دراسة المفاهيم النظرية والمنهج التطبيقي العملي في عمل المنصة الرقمية الخاصة بالتقنيات ثلاثية الأبعاد.

الكلمات المفتاحية: تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد، المدن التاريخية، الحفاظ الرقمي، المخططات العمرانية.

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

Using Three- Dimensional Modeling Techniques in Digital Preservation of Urban Plans for the Old Walled City of Shibam Hadramawt

Abstract:

Historic cities have great importance in our time because they represent a cultural, social and urban wealth for societies, where historical cities gain their importance through the values and principles that are reflected on the reality of the city, its personality, its social and topographic components, its planning and urban form. The traditional methods and paths of preservation have taken long periods of time and have been affected by the political and economic situation of the country which until our current situation, still living a period of instability. The study object is to create a vision for a preservation digital platform of the historical city of Shibam, Hadramout using 3D modeling techniques. The study importance is that using 3D modeling techniques and a set of metadata associated with each graphic object of historical urban elements would help in digital preservation. The research followed the descriptive inductive approach in studying the theoretical concepts and the practical approach in creating the digital platform for the three-dimensional modeling technologies.

Keywords: 3D modeling techniques, historical cities, digital preservation, urban plans.

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

1.المقدمة:

اختص العصر الحالي بتطوير العديد من التقنيات والتطبيقات والبرامج لنمذجة الابنية والمدن ثلاثية الابعاد ولكن هذه التقنيات تفتقر لوجود خطوات لاستخدامها في تجسيد المدن التاريخية ومخططاتها العمرانية، حيث يمكن توجيه تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد لدراسة وتحليل المخططات العمرانية الخاصة بتلك المدن التاريخية بهدف توثيقها والحفاظ عليها رقميا وذلك لإدارة مخططاتها العمرانية والمساعدة في اتخاذ قرارات الحفاظ المستقبلية. تعتبر مدينة شبام حضرموت من أكثر المدن اليمنية التاريخية التي لازلت تحتفظ بخصائصها العمرانية التاريخية رغم السيول والفيضانات التي تهددها في فترات مختلفة والتي قد تستدعي أساليب حفاظ حديثة في التعامل معها اعتمادا على التقنيات الرقمية، لذلك تم اخيار مدينة شبام حضرموت التاريخية ليتم عمل منصة رقمية لها تتضمن خطوات ومراحل استخدام تقنيات النمذجة ثلاثية الابعاد في الحفاظ الرقمي على المخططات العمرانية الخاصة بالمدينة وربط بياناتها الوصفية مع مجموعة من الملفات الملحقة ثم عمل تحليل ومحاكاة لتلك المخططات.

2.المشكلة:

ترتكز المشكلة البحثية في اعتماد مشاريع الحفاظ في اليمن على الأساليب والطرق التقليدية والتي تتعرض للإهمال المتواصل نتيجة لارتفاع تكاليفها المادية خاصة في الوضع السياسي الراهن في البلد وعدم وجود توجه لاستخدام التقنيات الرقمية الحديثة في الحفاظ.

3.الأهمية:

يكتسب البحث أهميته في أن تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد أحد الوسائل الحديثة المستخدمة في الحفاظ الرقمي وذلك بإدارة وأرشفة البيانات العمرانية لأنظمة المعلومات الجغرافية والذي يساهم في بناء قاعدة بيانات مكانية تربط بين البيانات المكانية ثلاثية الأبعاد ومجموعة البيانات الوصفية المرتبطة مع كل كائن رسومي خاص بالعناصر العمرانية التاريخية.

4.الهدف:

يتلخص الهدف الرئيسي من هذا البحث في عمل منصة رقمية لعملية الحفاظ الرقمي للمخططات العمرانية وحالتها في مدينة شبام حضرموت التاريخية باستخدام تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد بهدف توجيه مشاريع الحفاظ المستقبلية فيها، وإعادة الإعمار لتلك المناطق والمباني التاريخية بحسب أهميتها.

5.المنهجية:

يتكون البحث من محورين رئيسين تسلسلا لتحقيق هدفه، حيث أن المحور الأول من البحث قائم على المنهج الاستقرائي الوصفي (إطار نظري)، وأما المحور الثاني من البحث قائم على المنهج التطبيقي (إطار عملي) كالآتي:

أ. الإطار النظري: وذلك من خلال جمع المعلومات الأساسية وتكوين قاعدة بيانات لمواضيع البحث.

ب. الإطار العملي: وذلك من خلال اتباع المنهج التطبيقي في عمل المنصة الرقمية.

6. المحور الأول: الإطار النظري:

1.6. النمذجة ثلاثية الأبعاد:

هناك العديد ممن تحدثوا عن النمذجة بمفاهيمها المتعددة حيث ظهر مصطح النمذجة في ثمانينيات القرن العشرين بعد بداية انتشار الحاسوب [1] وتم اعتماد مفهوم النمذجة بصورة أولية في جامعة هارفرد في أواخر تسعينات القرن الماضي، وقد عرف Garland [2] (1999) النمذجة ثلاثية الأبعاد بأنها عبارة عن تحويل البيانات والخرائط والمعطيات ثنائية الأبعاد الى صورة ونموذج ثلاثي الأبعاد، كذلك عرفها Reddy [3] (1997) بأنها (عملية ترجمة للتمثيل الرياضي لأي سطح ثلاثي الابعاد للجسم بواسطة

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

برمجيات متخصصة والناتج يدعى النموذج ثلاثي الابعاد)، ويمكن أن يتم تمثيل هذه النماذج بشكل يدوي أو نصف يدوي أو آلي تبعا لنوع الأجهزة والبرمجيات المستخدمة بالإضافة الى خصائص الجسم المراد نمذجته، كما أن هذه النماذج ثلاثية الأبعاد تتشكل عن طريق جمع عدد من النقاط أو الاشكال ضمن الحيز الثلاثي الأبعاد وتكون مرتبطة مع بعضها بواسطة عدد من العلاقات الهندسية، كذلك تم تعريف النمذجة من قبل Çöltekin [4] (2006) بأنها (استعمال الحاسبات في تمثيل أشياء قد تكون جماديات أو كائنات حية ومحاكاة العمليات التي تقوم بها وأوضح Çöltekin بأن لنماذج الحاسب قيمة علمية عالية لأنها تسمح لشخص مَا أن يدرس استجابة النظام أو الشيء المراد اختباره في ظل ظروف لا يمكن أن يتعرض لها بسهولة بشكل آمن في المواقف الحقيقية ويمكن أن تسمح النماذج أيضا للباحثين بدراسة عمل وسلوك النظام ومايمكن أن يحدث عند تعديل أحد المكونات الفردية المغايرة من النظام، وعرف [ ] Mao (2011) النموذج ثلاثي الأبعاد بأنه (تمثيل وصفي مبسط لواقع معقد(وهذا التعريف يتشابه إلى حد ما مع تعريف Reddy، حيث أنه بعد بناء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد لمدينة ما يمكنك من خلال الحاسوب خزن وإدارة وتعديل ونقل النماذج المعقدة منها ذات مقياس الرسم الصغير وبسعة رقمية صغيرة لخزنها، واشار الى أن الجيل القادم من نظم المعلومات ثلاثية الأبعاد يسرع نحونا بما يستغله من تقدم كبير في التقنيات الرقمية الحاسوبية، وهو يحتاج إلى طرق جديدة في تمثيل أو نمذجة البيانات المكانية، وتحتل النمذجة ثلاثية الأبعاد الصدارة في هذا التمثيل، وأوضح Chen [5] (2013) بأن النمذجة تختص بشكل واسع بالأدوات والمفاهيم الضرورية لتشكيل النماذج ثلاثية الابعاد التي تقوم بشكل أساسي على مجموعة من المعلومات المعمارية والانشائية لجميع العناصر المشكلة للجسم او المبنى وبشكل مختصر عرف النمذجة بأنها (التمثيل الرقمي لخصائص المبنى الفيزيائية والوظيفية لتشكيل النموذج الأكثر دقة وفاعلية للمبنى بحالة بناءة الحالية) وهذا التعريف يتشابه بشكل كبير مع تعريفي Reddy وÇöltekin.

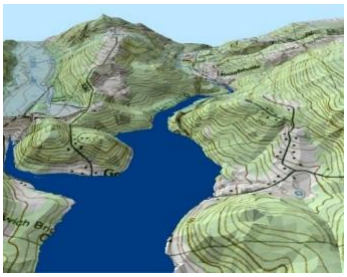
إذا يمكن تعريف النمذجة بأنها تمثيل وتجسيد الأجسام بصورة ثلاثية الأبعاد داخل بيئة الحاسوب لمنطقة معينة أو عناصر مادية معينة، بعد القيام بعدد من العمليات الرياضية والهندسية التوافقية المعقدة، والتعرف على خصائص تلك المنطقة أو العنصر، ونمذجتها بمستوى تفاصيل معينة والتي تساعد على فهم المناطق والعناصر التي تمت نمذجتها لأشخاص لم يشاهدوها بصورة مباشرة.

2.6. أنواع النمذجة ثلاثية الابعاد:

1.2.6. النمذجة حسب مقياس الدقة:[6]

تعددت النمذجة ثلاثية الأبعاد وصنفت أنواعها حسب مقياس الدقة وحسب مستوى التفاصيل حيث صنفت بحسب مقياس الدقة كالاتي:

أ- نماذج بمقياس دقة صغير: كالنماذج الرقمية للتضاريس وخطوط الكنتور المبينة للارتفاع والانخفاض والمناسيب العامة للأرض بأشكالها المختلفة كخطوط التسوية والصيغة المصفوفية المستخدمة في التحليل الطبوغرافي كحساب الانحدارات وخطوط الرؤية وغيرها شكل (1).



شكل (1): نماذج رقمية لجزء من الأرض تبين الارتفاع والانخفاض والمناسيب ونوعية التضاريس [8]

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

ب. نمـاذج بمقيـاس دقة متوسـط: وتكون على مسـتوى المـدن في تمثيلها وتسـتخدم في تخطيط المدن وتصميمها وفي عمليات الاستجابة السريعة لحالات الطوارئ شكل (2).

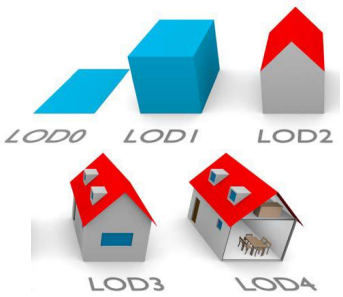
ج. نماذج بمقياس دقة كبير: وتكون على مسـتوى المبنى والغرف وتسـتخدم في تصميم الديكور وبعض التحليلات وألعاب الفيديو.

شكل (2): نماذج بمقياس متوسط تكون على مستوى المدن في تمثيلها وتستخدم في تخطيط المدن [9]

2.2.6. النمذجة حسب مستوى التفاصيل:

قسـمت النمذجة حسـب مسـتوى التفاصيل (LOD = Level of Detail) إلى خمسة مستويات كما في الشكل (3) وهي مبينة كالاتي [10]:

1. المسـتوى 0 من التفاصيل (LOD 0)وتتمثل بالنماذج ذات المقياس الصغير وتكون على مستوى الإقليم ويطلق عليها أيضا نماذج ذات بعدين ونصف (2.5D).
2. المستوى 1 من التفاصيل (LOD 1) ويتمثل بالنماذج ذات المقياس المتوسط حيث يسمح بتمثيل الأبنية ككتل حسب ارتفاعاتها دون أي تفاصيل خارجية للمبنى [ ]
3. المسـتوى 2 من التفاصيل (LOD 2) ايضا يتمثل بالنماذج ذات المقياس المتوسـط من التفاصيل وهو كالمستوى السابق ويضاف عليه نسيج المبنى الخارجي وبنية السقف.
4. المستوى 3 من التفاصيل (LOD 3) وهو من النماذج ذات المقياس المتوسط ايضا وهو كالمستوى السابق اضافة الى أنه يتم تمثيل المباني مع أدق التفاصيل الخارجية الموجودة على الواجهات.
5. المسـتوى 4 من التفاصيـل (LOD 4) ويتمثل بالنماذج ذات المقياس الكبـير والتي تختص بالتصميم الداخلي للمباني ونمذجة الكائنات الموجودة فيها.



شكل (3): تقسيم Biljecki النمذجة حسب مستوى التفاصيل Level of Detail [9]

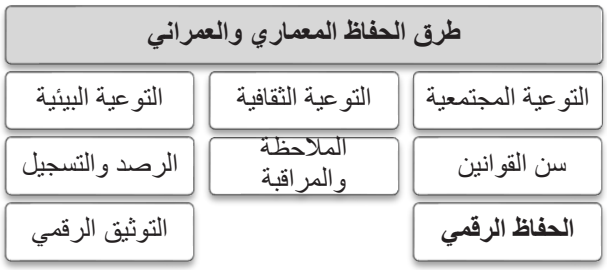
3.6. الحفاظ الرقمي في المدن التاريخية:

تشغل عمليات الحروب والكوارث الطبيعية أو الصناعية في العصر الحالي اهتمام المنظمات والمؤسسات العالمية المسؤولة عن الحفاظ وبدورها توجه هذه المنظمات المجتمعات المختلفة للحفاظ والاستدامة في مختلف الاصعدة والمجالات كالمجال العمراني والمعماري والمجالات الثقافية والاجتماعية والتراثية والأثرية المختلفة، فلذلك اعتبر الحفاظ هو شعار القرن الواحد والعشرين من أجل استدامة البشرية والمجتمعات التابعة لها، ومن هذا المنطلق يعتبر الحفاظ العمراني والاستدامة في المدن وبالأخص المدن التاريخية من أهم الأهداف التي تسعى لها الدول المتقدمة لما تشكل تلك المدن والمناطق التاريخية من أهمية اقتصادية وتراث ثقافي واجتماعي مهم للمجتمعات التابعة لها بشكل خاص والبشرية بشكل عام، ولذلك لا يمكن لأساليب الحفاظ التقليدي من تمثيل المشهد الكلي لواقع المدينة التاريخية وقد ينتج في بعض الحالات مشهد غير مرتبط بحقيقة المدينة التاريخية[12]، ولكن في السنوات الأخيرة أصبح لأنظمة الحفاظ العمراني الرقمي استخدام واسع في نطاقات المناطق والمدن التاريخية وذلك لإمكانية آليات الحفاظ العمراني الرقمي من أرشفة وتحليل وترتيب البيانات والتي بدورها تساعد في إعداد وترتيب الخطط المستقبلية وإدارتها، وقد أشار Trillo [13] وآخرون (2020) بأن الحفاظ العمراني الرقمي هو (العملية الرقمية التي تشمل كل الإجراءات والأساليب التي توفر للموروث البقاء بصورة حاسوبية رقمية ثلاثية الأبعاد لأطول مدة ممكنة ليؤدي دورا في حياة المجتمع الذي يتعايش معه مستقبلا)، وأوضح Mohamed [14] (2017) أن الحفاظ العمراني الرقمي هو (الإدارة والتخطيط باستخدام التقيات التكنولوجية الحديثة اعتمادا على مخططات وقاعدة بيانات رقمية مشابهة للواقع مع الاستغلال الأمثل للموارد الطبيعية والبشرية التي صنعها الإنسان لكي تتفق مع متطلبات واحتياجات المستقبل وكيفية استغلالها وإدارتها) وتنبغي الإشارة بأن هذا المفهوم مختص بإدارة الحفاظ العمراني الرقمي والذي يختلف نوعا ما عن تعريف Trillo، وأوضح FRANCESCA [15] (2018) بأن الحفاظ العمراني الرقمي يعني (الإجراءات والأعمال التي تأخذ لمنع التلف وإطالة عمر التراث العمراني رقميا باستخدام التكنولوجيا الحديثة) كذلك أشار FRANCESCA أن عملية الحفاظ الرقمي للمدن التاريخية يجب أن تتم بطريقة صحيحة مستندة على المعايير الخاصة بالحفاظ الرقمي دون تزوير للقيمة التاريخية وهي عملية تضم العديد من التخصصات وتضم فريق من المتخصصين من معماريين وأثريين واقتصاديين ومهندسين وعلماء تاريخ ومساحين ومقاولي بناء ومخططين ومستشارين متخصصين، لذلك يمكن استخلاص مفهوم للحفاظ العمراني الرقمي بأنه العمليات الرقمية التي تستخدم البيانات تم جمعها حول عناصر المخطط العمراني التاريخي والمناطق العمرانية التابعة له والتي يتم التركيز فيها على ما تحتويه من مبان ذات أهمية أو منشآت عمرانية مميزة أو نسيج عمراني وتخطيطي تاريخي وتراثي قيم باستخدام التكنولوجيا الحديثة، ويشمل الحفاظ الرقمي النواحي العمرانية والاجتماعية والاقتصادية والثقافية والبيئية كما يشمل أيضا الصورة البصرية العامة للمناطق العمرانية التاريخية، وتجدر الاشارة بان الحفاظ العمراني الرقمي حسب Fadli وAlSaeed (2019) يندرج ضمن أساليب التعامل مع المناطق العمرانية التاريخية ويؤثر على أساليب التعامل الأخرى كما في الشكل (4) حيث تختلف أساليب التعامل مع المناطق العمرانية التاريخية باختلاف المشاكل التي تتعرض لها، ويعتبر الحفاظ الرقمي أحد طرق الحفاظ المعماري والعمراني كما في الشكل (5).

أساليب التعامل مع المناطق العمرانية التاريخية		
التجديد	اعادة التأهيل	الاستعادة
الازالة	الحماية	اعادة الاحياء
اعادة التطوير	الحفاظ	اعادة البناء

شكل (4): أساليب التعامل مع المناطق العمرانية التاريخية وموقع الحفاظ العمراني الرقمي من تلك التعاملات [17]

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1



شكل (5): طرق الحفاظ المعماري والعمراني [16]

4.6. خطوات عملية الحفاظ العمراني الرقمي:

تتعدد خطوات الحفاظ العمراني الرقمي وتتنوع حسب المشروع والمنطقة التاريخية القائم لها عملية الحفاظ العمراني، وسوف يتم هنا استعراض ثلاث نماذج مختلفة إلى حد ما في خطوات الحفاظ العمراني الرقمي لها،[18] وقسمت الخطوات بشكل عام الى عدة خطوات رئيسية مبينة في الشكل (6) والشكل(7) ويمكن تلخيصها كالآتي:

1. **التوثيق الرقمي: تقوم هذه المرحلة برصد النماذج التاريخية ووصفها وتسجيلها صوريا ورقميا من خلال اجراء مسح شامل ميداني، الى جانب الاستناد الى الادبيات والمصادر والمعلومات والوثائق التي تزودنا بمعلومات كاملة عن الحالة الاصلية للمخططات العمرانية في المدينة التاريخية وعناصرها المختلفة.**
2. **معالجة البيانات وقولبتها باستخدام التقنيات ثلاثية الأبعاد: حيث يتم أخذ المعلومات من الخطوة السابقة واستخدامها كقاعدة بيانات للتقنيات ثلاثية الأبعاد ليتمكن من عملية القولبة والتمثيل بصورة صحيحة.**
3. **إدارة المخططات العمرانية: تكون هذه العملية مقترنة بالتقنيات ثلاثية الأبعاد ومعتمدة على حصيلة المعلومات والبيانات الناتجة منها.**

شكل (6): خطوات عملية الحفاظ العمراني الرقمي الرئيسية [19]

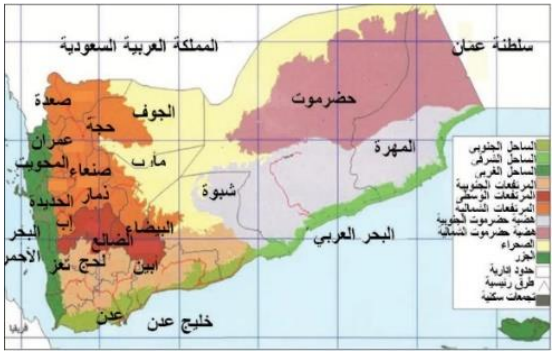
https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

شكل (7): مراحل عملية الحفاظ العمراني الرقمي الرئيسية [20]

7. المحور الثاني: الإطار العملي:

1.7. مدينة شبام حضرموت:[21]

تتمتع اليمن بتنوع معماري فريد نتيجة التنوع الطبوغرافي والغنى الحضاري، وتقع اليمن بين خطي عرض 20درجة شمالا و12درجة جنوبا وخطي طول 41 شـرقا و45 غربا، حيث تشـكل الجزء الجنوبي الغربي من شـبه الجزيرة العربية، وتتكون اليمن إداريا من واحد وعشـرين محافظة كما في الشـكل (8) وتعتبر محافظة حضرموت أكبرها حيث تبلغ مساحة محافظة حضرموت 155.376كم^2.



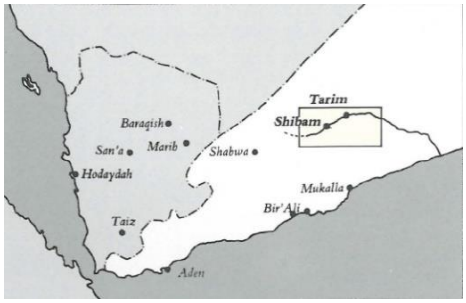
شكل (8): خريطة اليمن ومحافظاتها[22]

2.7. موقع المدينة:[23]

تعتبر شبام إحدى مديريات محافظة حضرموت البالغة 29 مديرية حيث تقع مدينة شبام على خط 48^{o}

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

و 38 ° شرق جرينتش و°15 و 57 ° شمال خط الاستواء في منتصف وادي حضرموت ضمن مديرية شبام في محافظة حضرموت كما في الشكل (9)، وتقع المدينة إلى الشمال مباشرة من مجرى الوادي الرئيسي وعلى رابية ترابية لا يزيد ارتفاعها عن 10 أمتار وقد نحت الوادي أطرافها الغربية والجنوبية، أما ارتفاعها عن سطح البحر فيبلغ 600 – 700م ويمر الطريق الإقليمي الرئيسي للوادي بجوار المدينة، وتبلغ مساحة المدينة 7.7 هكتار تقريبا، وتشرف على المدينة من جهة الجنوب سلسلة جبلية يتراوح ارتفاعها ما بين 200 – 300م.



شكل (9): موقع مدينة شبام في وادي حضرموت [24]

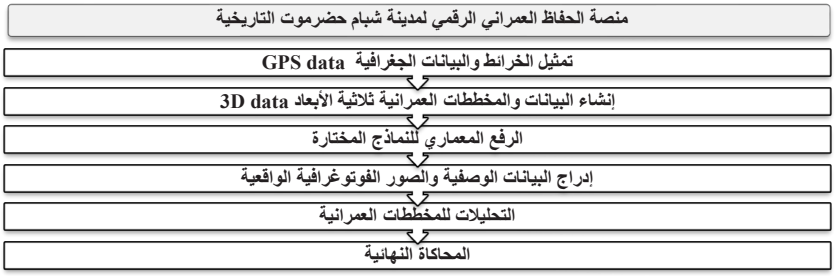
3.7. منصة الحفاظ الرقمي:

تعتبر مدينة شبام حضرموت أحد أهم المدن التاريخية في اليمن وشبة الجزيرة العربية، وتعتبر عملية التوثيق والحفاظ على هذه المدينة التاريخية من أهم أولويات منظمة اليونيسكو العالمية لما تشكل من أهمية بالغة للتراث الثقافي والحضاري العالمي، ولكن عمليات التوثيق والحفاظ التقليدية تلك باتت تعاني من العديد من أوجه القصور خصوصا في العصر الحالي لذلك دعت الحاجه للاستفادة من التكنولوجيا الحديثة والتقنيات العصرية لحفظ ذلك الإرث الإنساني المتشكل في مدينة شبام حضرموت التاريخية ومكوناتها العمرانية حيث تعتبر آليات التوثيق والحفاظ العمراني الرقمي أحد أفضل الطرق والوسائل وأهمها في رفع البيانات العمرانية الخاصة بالمدن التاريخية وأرشفة تلك البيانات وإدارتها وتحليلها وإعداد الخطط المستقبلية الخاصة بالمخططات العمرانية اعتمادا على هذه البيانات وتوجيه صناع القرار فيما يخص الحفاظ على المدينة التاريخية، حيث تترجم منظومة الحفاظ العمراني الرقمي الخاصة بمدينة شبام حضرموت التاريخية في إنشاء منصة تابعة لتقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد وأنظمة المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد حيث تكون هذه المنصة محدودة بأسوار المدينة التاريخية من جميع الجهات وتشمل قطاعاتها الأربعة وتكون خاصة بالمخططات العمرانية والبيانات التابعة لعناصر هذه المخططات في الفترة الحالية ويمكن إضافة وتحديث تلك البيانات مستقبلا حسب الحاجة.

4.7. خطوات ومراحل إنشاء المنصة الرقمية:

تتمثل هذه الخطوات في ست خطوات رئيسية أولها المعايرة والتصحيح للخرائط التي ستتضمنها المنصة باستخدام تقنيات GPS بعد أن تكون لدينا المعلومات والبيانات العمرانية لمدينة شبام حضرموت التاريخية موثقة بصورة رقمية (توفير البيانات الوصفية الموثوقة رقميا، توفير المخططات العمرانية المختلفة رقميا، توفير مخططات معمارية رقمية لنماذج مختارة، توفير صور فوتوغرافية واقعية رقمية، توفير نموذج كتلي رقمي للمخططات العمرانية LOD=1، توفير نموذج رقمي عام للمدينة LOD= 3، توفير نماذج معمارية رقمية تفصيلية للنماذج المختارة[25]* بنسبة تفصيل (LOD=3–4) وقد تم اختيار هذه المباني بالذات بسبب توفر بياناتها المعمارية بشكل كبير نسبة للمباني الأخرى، ينقل بعدها للخطوة الأخرى وهي ادخالها في منصة التوثيق والحفاظ العمراني الرقمي وذلك بربط جميع ما ذكر ببعضه البعض من خلال تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد (Revit, AutoCAD, Lumion, laser Scanning, GPS) وفي المنصة ثلاثية الأبعاد (GIS)، وقد يتم ادراج ما سبق وبيانات وصفية اخرى من خلال

برنامجي (FileMaker, BIM) بصورة ثنائية الأبعاد فقط وهما برنامجين مختصين بإدارة المعلومات والبيانات، بعد ذلك يتم عمل تحليلات معينة للمخططات العمرانية بناء على الواقع الفعلي وتقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد، ويمكن منهجية آلية هذه المراحل كما في الشكل (10)، كما تم تفصيل المراحل التي سيتم اتباعها لعمل منصة للتوثيق والحفاظ الرقمي لمدينة شبام حضرموت التاريخية كما في الشكل (11).



شكل (10): مراحل وخطوات منصة الحفاظ الرقمي لمدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

شكل (11): تفصيل مراحل وخطوات منصة الحفاظ الرقمي لمدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

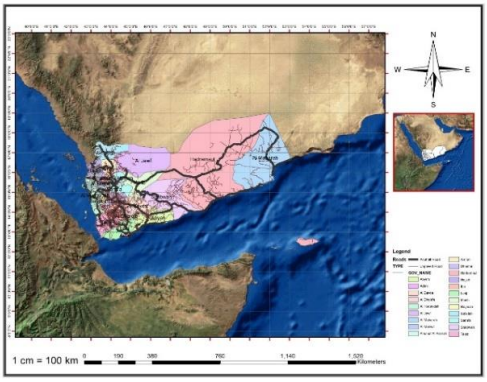
1.4.7. تمثيل الخرائط والبيانات الجغرافية:

تعتبر هذه الخطوة هي أول مرحلة في استخدام تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد لعمل منصة الحفاظ الرقمي لمدينة شبام حضرموت التاريخية حيث تنقسم هذه المرحلة لثلاثة أقسام أو مراحل رئيسية مبينة في الشكل (12) وهذه الأقسام هي المعايرة والتصحيح لخريطة الجمهورية اليمنية وذلك لكون حالة الدراسة تقع فيها، ومن ثم المعايرة والتصحيح لخريطة محافظة حضرموت وذلك لكون حالة الدراسة هي أحد المدن التابعة للمحافظة، وأخيرا المعاييرة والتصحيح لخريطة مدينة شبام حضرموت التاريخية والتي تعتبر هي حالة الدراسة لهذا البحث.

شكل (12): مراحل تمثيل الخرائط والبيانات الجغرافية لمدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

أ. المعايرة والتصحيح لخريطة اليمن:

حيث تقوم هذه الخطوة بإدراج خريطة الجمهورية اليمنية في أحد أنظمة المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد ArcGIS بدقة عالية، ومن ثم تتم عمليات المعايرة والتصحيح للخريطة، حيث أن هذه العمليات تكون مبنية على نظام GCS وهو نظام تابع لبيانات إحداثيات الخرائط الجغرافية GPS، ويقوم نظام GCS بالمعايرة والتصحيح طبقا لدرجات خطوط الطول للكرة الأرضية ليتم الحصول على خريطة نهائية مصححة ومعايرة لموقع اليمن الفعلي في الكرة الأرضية ضمن بيانات أنظمة المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد يمكن العمل عليها وإدراج عناصر وبيانات عمرانية فيها بصورة ثلاثية الأبعاد كما هو مبين في الشكل (13).

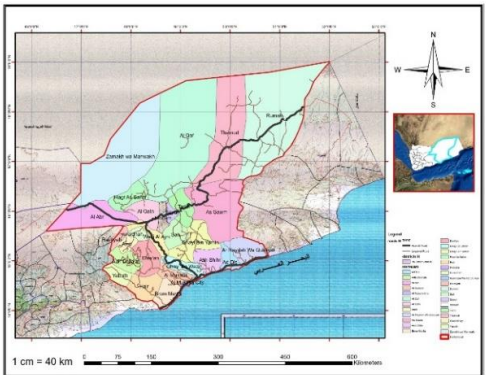


شكل (13): خريطة نهائية مصححة ومعايرة لموقع اليمن الفعلي ضمن بيانات أنظمة المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد، المصدر: الباحث

ب. المعايرة والتصحيح لخريطة محافظة حضرموت:

حيث تقوم هذه الخطوة بإدراج خريطة محافظة حضرموت التابعة للجمهورية اليمنية في أحد أنظمة المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد ArcGIS بدقة عالية، ومن ثم تتم عمليات المعايرة والتصحيح للخريطة، حيث أن هذه العمليات تكون مبنية على نظام GCS وهو نظام تابع لبيانات إحداثيات الخرائط الجغرافية GPS، ويقوم نظام GCS بالمعايرة والتصحيح طبقا لدرجات خطوط الطول للكرة الأرضية وحيث أن محافظة حضرموت تقع بين خطي الطول 46°، 52° شمالا أي شرق خط جرينتش وشمال خط الاستواء فسيتم الحصول على خريطة نهائية مصححة ومعايرة لموقع محافظة حضرموت الفعلي في اليمن ضمن بيانات أنظمة المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد يمكن العمل عليها وإدراج عناصر وبيانات عمرانية

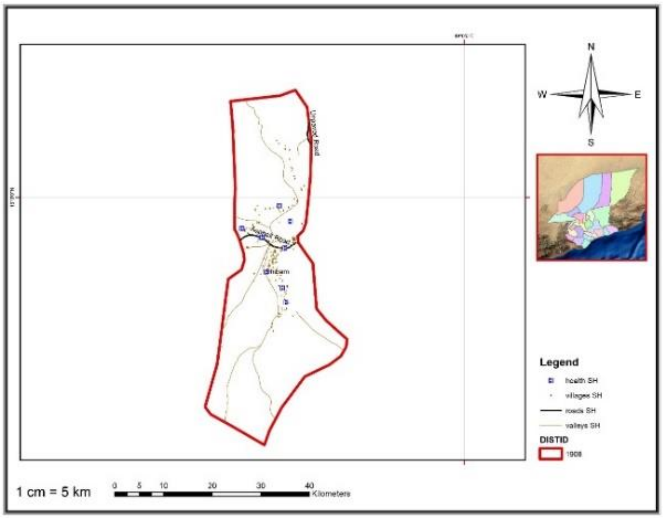
فيها بصورة ثلاثية الأبعاد كما هو مبين في الشكل (14).



شكل (14): خريطة نهائية مصححة ومعايرة لموقع محافظة حضرموت الفعلي في اليمن ضمن بيانات أنظمة المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد، المصدر: الباحث

ج. المعايرة والتصحيح لخريطة مدينة شبام حضرموت التاريخية:

حيث تقوم هذه الخطوة بإدراج خريطة مدينة شبام حضرموت التاريخية التابعة لمحافظة حضرموت اليمنية في أحد أنظمة المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد ArcGISبدقة عالية، ومن ثم تتم عمليات المعايرة والتصحيح للخريطة، حيث أن هذه العمليات تكون مبنية على نظام UTM وهو نظام تابع لبيانات إحداثيات الخرائط الجغرافية GPS، ويقوم نظام UTM بالمعايرة والتصحيح طبقا لدرجات خطوط الطول للكرة الأرضية بعد تحويلها إلى معامل عددي مصحح مبنى على إدخال نسبة الخطأ في كروية الأرض في الخرائط المسطحة، ونظام UTM متخصص في الخرائط المقربة التي تحتوي على تفاصيل عمرانية ومعمارية كثيرة لذلك ينبغي العمل عليه في حالة المدن التاريخية كما في الشكل (15) والذي يبين مدينة شبام حضرموت التاريخية ضمن بيانات أنظمة المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد يمكن العمل عليها وإدراج عناصر وبيانات عمرانية فيها بصورة ثلاثية الأبعاد.



شكل (15): خريطة نهائية مصححة ومعايرة لموقع مدينة شبام حضرموت التاريخية الفعلي في مديرية شبام التابعة لمحافظة حضرموت ضمن بيانات أنظمة المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد، المصدر: الباحث

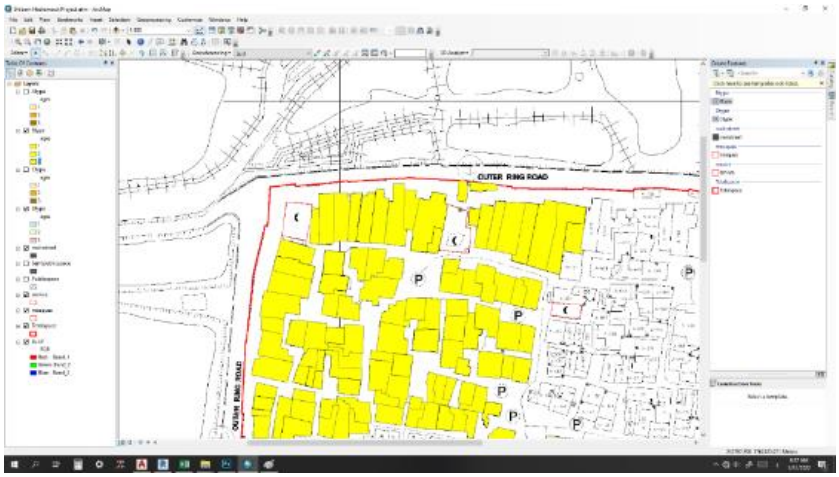
https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

2.4.7. إنشاء البيانات والمخططات العمرانية ثلاثية الأبعاد:

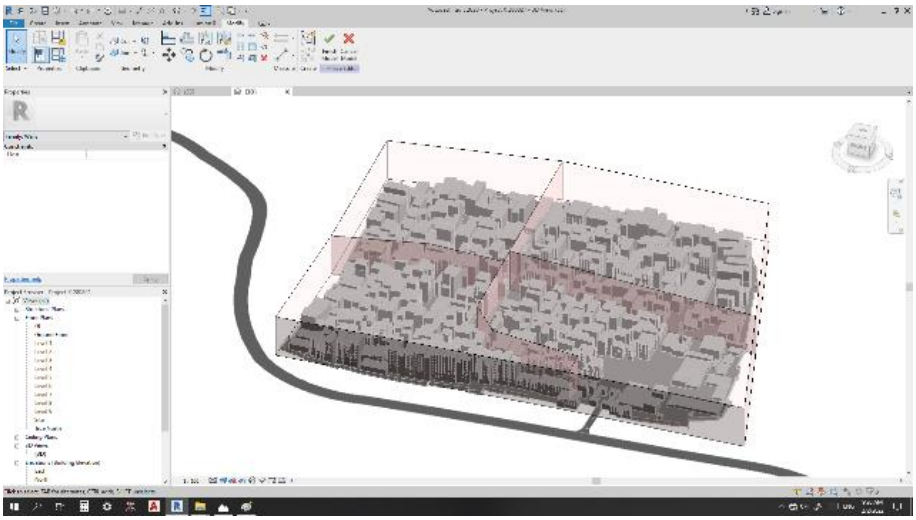
تعتبر هذه الخطوة هي ثاني مرحلة في استخدام تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد لعمل منصة الحفاظ الرقمي لمدينة شبام حضرموت التاريخية حيث أن التوثيق الرقمي للبيانات والمخططات العمرانية الفعلية لمدينة شبام حضرموت التاريخية يعتبر هو العنصر الأساسي في هذه المرحلة والذي بدورة يؤثر على منظومة ومنصة الحفاظ العمراني الرقمي الشاملة للمدينة، وتنقسم هذه المرحلة لتسعة أقسام رئيسية مبينة في الشكل (16) وهذه الأقسام هي عمليات الإنشاء ثلاثي الأبعاد لمخططات الاستعمالات والارتفاعات والحالات والاعمار للمباني إضافة لمخططات الحركة والمسارات والمصمت والمفتوح وأنواع الفراغات وأخيرا مخططات ومجاري مياه الأمطار والصرف الصحي .

شكل (16): أقسام مرحلة إنشاء البيانات والمخططات العمرانية ثلاثية الأبعاد لمدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

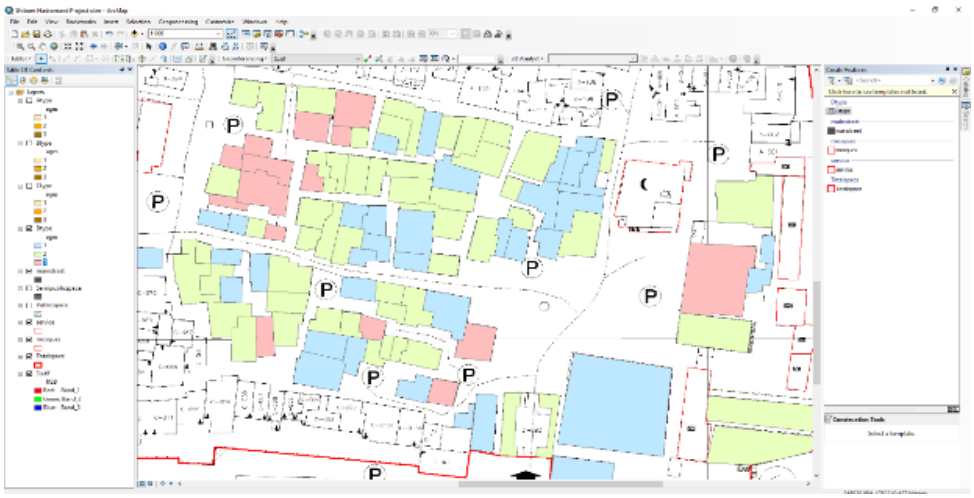
ويتم في هذه المرحلة إنشاء المخططات العمرانية المختلفة لمدينة شبام حضرموت التاريخية بصورة ثلاثية الأبعاد كما في الشكل (17) (18) (19) (20)، ويتم إنشاء المخططات العمرانية المختلفة بصورة ثلاثية الأبعاد إعتمادا على عمليات القولبة والنمذجة (الرفع والعمل بصورة ثنائية الأبعاد وثلاثية الأبعاد مع البيانات الورقية المتوفرة وبيانات الرفع التقليدي للمدينة) باستخدام برامج REVIT و ArcGIS وتقنيات GPS لتوفير الإحداثيات المطلوبة، هذه العمليات المختلفة تتم باستخدام الطريقة الإجرائية في النمذجة (بمعنى أنه تتم النمذجة للعنصر المعماري أو العمراني إعتمادا على بياناته الأساسية وخواصه الهندسية ومنها الموقع أي موقع العنصر ضمن الحيز ثلاثي الأبعاد والإحداثيات وأخيرا المقياس)، وباستخدام النماذج الوسائطية الجزئية الضمنية للعناصر العمرانية في المخطط.



شكل (17): عملية إنشاء المخططات العمرانية ثلاثية الأبعاد لاستعمالات المباني لمدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

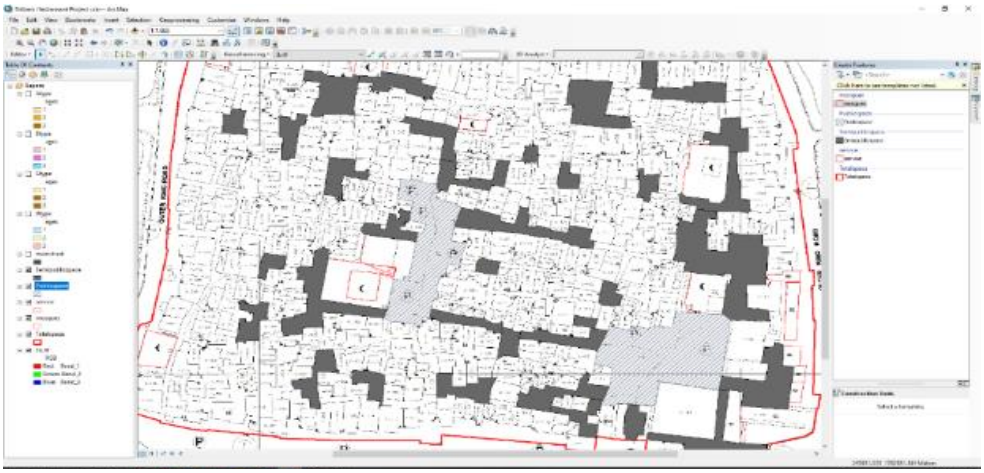


شكل (18): عملية إنشاء المخططات العمرانية ثلاثية الأبعاد لارتفاعات المباني لمدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث



شكل (19): عملية إنشاء المخططات العمرانية ثلاثية الأبعاد لحالات المباني لمدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

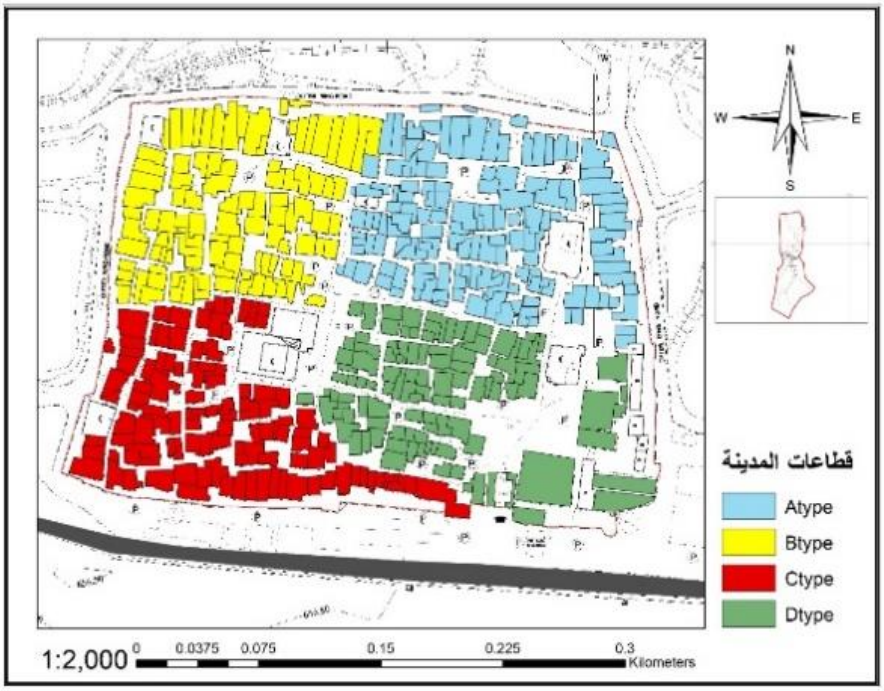


شكل (20): عملية إنشاء المخططات العمرانية ثلاثية الأبعاد لأنواع الفراغات في مدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

3.4.7. الرفع المعماري للنماذج:

تعتبر هذه الخطوة هي ثالث مرحلة في استخدام تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد لعمل منصة الحفاظ الرقمي لمدينة شبام حضرموت التاريخية حيث تختص هذه المرحلة في إدراج مخططات معمارية مختلفة لنماذج مباني مختارة (21 مبنى) في مدينة شبام حضرموت التاريخية ودمجها في المخطط العمراني العام ثلاثي الأبعاد، حيث أن المشروع اليمني الألماني للتنمية الحضرية في مدينة شبام GTZ [25] قدم برنامج البيوت التاريخية في شبام لتوثيق المباني في المدينة لرفع حوالي ٣٠منزل وقد تم الاستعانة ببعض تلك النماذج، وقد رقم المشروع اليمني الألماني للتنمية الحضرية في مدينة شبام مباني المدينة الى أربعة قطاعات (قطاع A-B-C-D) كما في الشكل (21)، بعد ذلك تم ترقيم مباني تلك القطاعات إلى أرقام متسلسلة حيث تزيد مباني تلك القطاعات عن 450 مبنى.

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

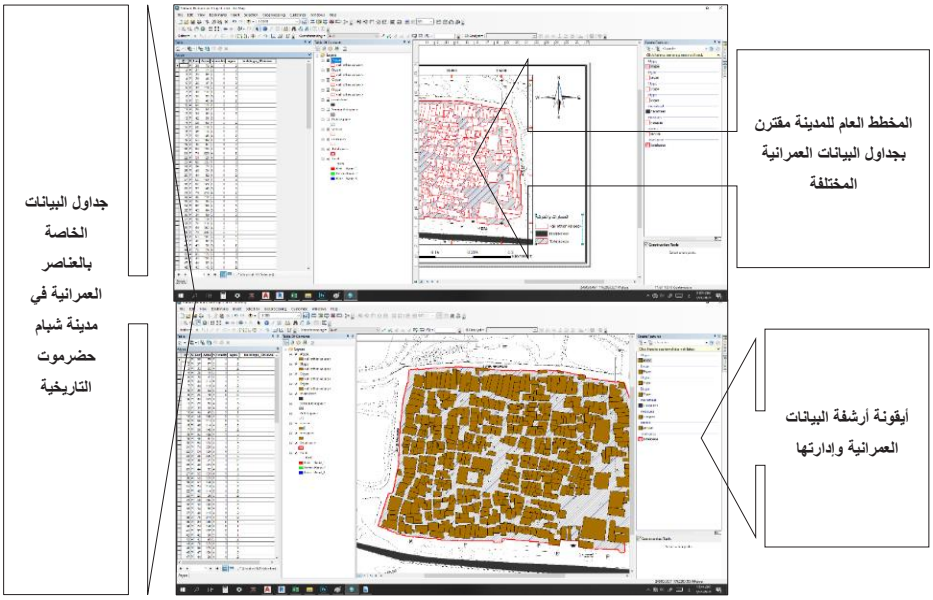


شكل (21): تقسيم مدينة شبام حضرموت التاريخية إلى أربعة قطاعات، المصدر: الباحث

4.4.7. إدراج البيانات الوصفية والصور:

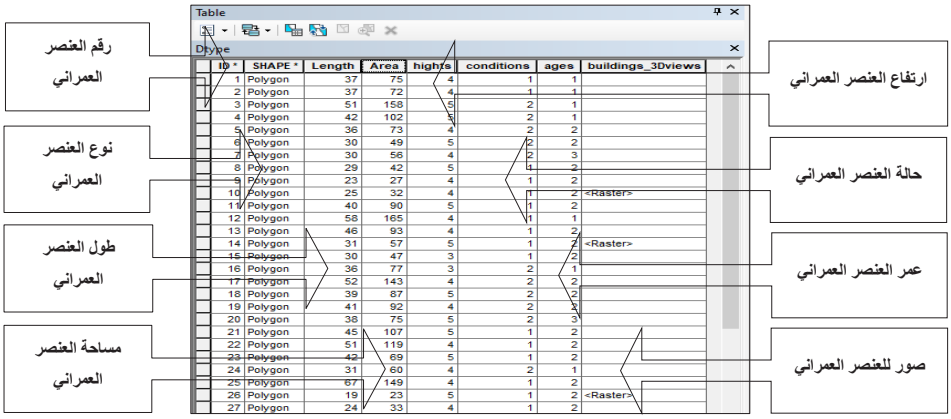
تعتبر هذه الخطوة هي رابع مرحلة في استخدام تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد لعمل منصة الحفاظ الرقمي لمدينة شبام حضرموت التاريخية حيث تختص هذه المرحلة في عملية الإدراج والمزامنة للبيانات الوصفية والصور وربطها بالمخططات والخرائط ثنائية وثلاثية الأبعاد للعناصر العمرانية في مدينة شبام حضرموت التاريخية، وتتعدد أساليب الربط في أنظمة المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد ولكنها بشكل أساسي تكون مبنية ضمن جداول تدرج فيها معظم البيانات الوصفية كما في الشكل (22).

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1



شكل (22): البيانات الوصفية وربطها في جداول مختلفة، المصدر: الباحث

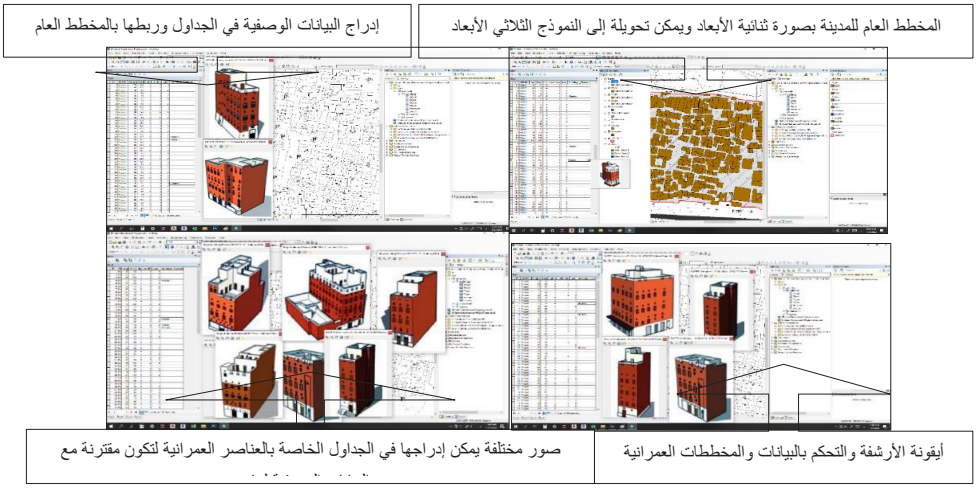
ويمكن إداج العديد من قوائم أنواع البيانات وقولبتها في الجداول بما يتناسب مع نوعية العناصر العمرانية المنمذجة وربطها بحروف وكلمات أو بمجموعة من الأرقام وتفضل طريقة الربط بمجموعة من الأرقام وذلك لإمكانية تطبيقات النمذجة ثلاثية الأبعاد التعامل مع الأرقام وتحليلها بطريقة أدق وأسرع من الربط بطريقة الحروف والكلمات كما في الشكل (23).



شكل (23): قوائم جداول البيانات في أنظمة المعلومات ثلاثية الأبعاد لمدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

كذلك يمكن إدراج العديد من أنواع الصور الواقعية والمنمذجة وربطها بالعناصر العمرانية الخاصة بها في مدينة شبام حضرموت التاريخية ضمن أحد الخصائص المتعددة للجداول كما في الشكل (24).

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1



شكل (24): ربط الصور بالعناصر العمرانية ضمن جداول البيانات في الأنظمة الجغرافية ثلاثية الأبعاد، المصدر: الباحث

5.4.7. التحليلات للمخططات العمرانية ثلاثية الأبعاد:

تعتبر هذه الخطوة هي خامس مرحلة في استخدام تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد لعمل منصة الحفاظ الرقمي لمدينة شبام حضرموت التاريخية حيث أن منظومة الحفاظ الرقمي للبيانات والمخططات العمرانية الفعلية لمدينة شبام حضرموت التاريخية تساهم في إجراء العديد من التحليلات التي يمكن إدراجها ضمن منصة الحفاظ الرقمي وذلك عن طريق الإستفادة من الخصائص التقنية والمكانية في الأنظمة ثلاثية الأبعاد ArcGIS لإجراء تحليلات مختلفة لمدينة شبام حضرموت التاريخية ولمخططاتها العمرانية، حيث سيتم في هذه المرحلة إستخلاص عشرة تحليلات مبينة في الشكل (25) وهذه التحليلات هي تحليل المخطط العام للمدينة، تحليل النسيج العمراني، تحليل المسارات، تحليل استعمالات المباني، تحليل السطوع الشمسي والظل، تحليل خط السماء، تحليل نسب الشغور والإملاء، تحليل اعمار المباني، تحليل حالات المباني و تحليل إرتفاعات المباني.

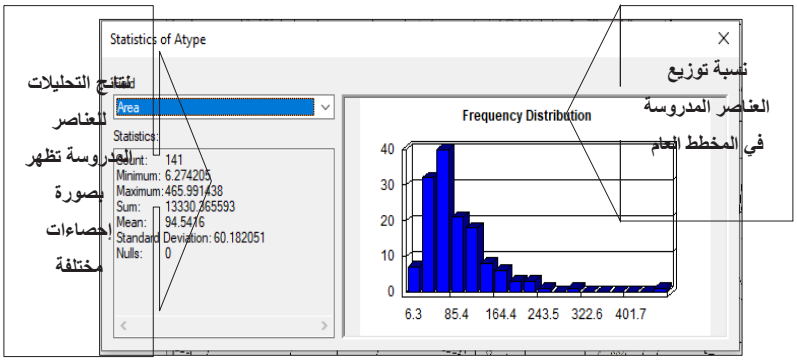
شكل (25): أنواع التحليلات للمخططات العمرانية ثلاثية الأبعاد في مدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

أ. تحليل المخطط العام لمدينة شبام حضرموت التاريخية:

تقسم المدينة إلى أربعة قطاعات بواسطة محورين رأسي من الشمال إلى الجنوب ومحور أفقي من الشرق إلى الغرب، وتتجمع اغلب مباني الخدمات فيها عند الجزء الجنوبي الشرقي من المدينة حيث تتواجد البوابة الرئيسية للمدينة، وتتجمع المباني الخدمية حول أكبر ساحات المدينة مثل القصر والجامع والمدرسة والسوق والمباني الحكومية ومحال الخدمات العامة وهي مبان محدودة الارتفاعات ويتدرج الداخل إلى المدينة من هذه المنطقة العامة إلى الأحياء التي تتمتع ببعض الخصوصية عبر سلسلة من الشوارع الضيقة، وتشغل مباني القطاع A حسب تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد مساحة تقدر

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

بحوالي 13330 م^2 من مجموع المساحة الكلي للمدينة والتي تقدر بحوالي 82000 م^2، ويبلغ عدد مباني هذا القطاع بحوالي 141 مبنى متوسط مساحتها 94 م^2 والشكل (26) يبين رسم بياني لهذه التحليلات.



شكل (26): رسم بياني للقطاع A الخاص بمدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

وتشغل مباني القطاع B حسب تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد مساحة تقدر بحوالي 11386 م^2 من مجموع المساحة الكلي للمدينة، ويبلغ عدد مباني هذا القطاع بحوالي 101 مبنى متوسط مساحتها 112 م^2، كذلك تشغل مباني القطاع C حسب تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد مساحة تقدر بحوالي 10666 م^2 من مجموع المساحة الكلي للمدينة، ويبلغ عدد مباني هذا القطاع بحوالي 109 مبنى متوسط مساحتها 97 م^2 ، وأخيرا تشغل مباني القطاع D حسب تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد مساحة تقدر بحوالي 10683 م^2 من مجموع المساحة الكلي للمدينة، ويبلغ عدد مباني هذا القطاع بحوالي 105 مبنى متوسط مساحتها 101 م^2 والجدول (1) يبين مجموع مساحة الإشغال لكل قطاع.

جدول (1): معدل إشغال مباني قطاعات مدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث اعتمادا على تقنيات GIS

اسم القطاع	مساحة مباني القطاع بالمتر المربع
A	13330
B	13386
C	10666
D	10683
المجموع	48065

ب. تحليل خط السماء لمدينة شبام حضرموت التاريخية:

تهيمن كتل المباني المرتفعة في الواجهات الخارجية للمدينة على خط السماء فيها وترسم هذه الأبراج خط متدرج صعودا وهبوطا على خط الأفق وتشترك طبوغرافية الموقع في التناغم الشكلي مع الخط الأفقي للمدينة حيث يظهر جبل الخبة كامتداد لكتلة المدينة من جهة الشرق ويظهر الجبل كخلفية للمدينة من جهة الشمال تعطي المشهد امتداد نحو الأعلى وتتضح جمالية خط السماء في الواجهة الجنوبية للمدينة حيث توجد هناك أعلى البنايات من حيث الارتفاع كما أن التدرج الأفقي يتصاعد من الشرق إلى الغرب بتناغم شكلي وتكرار إيقاعي متصاعد إلى أعلى نقطة ثم يعود إلى الهبوط ثم إلى الاستقرار النسبي كما في الشكل (27).

شكل (27): خط السماء لمدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

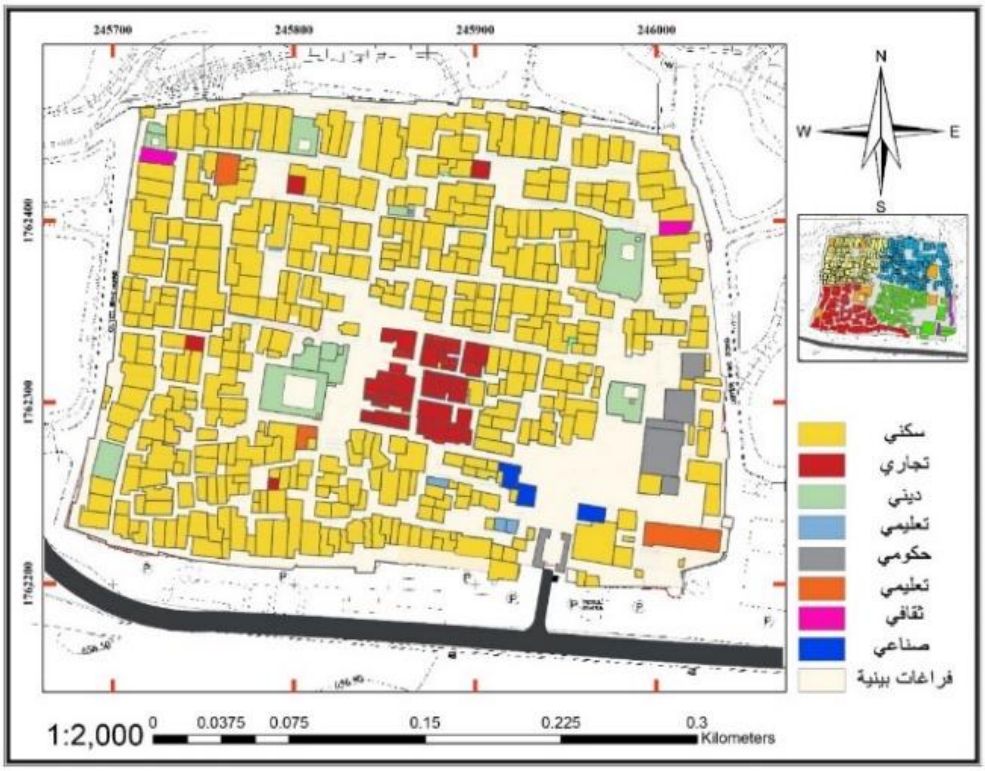
ج. تحليل نسب الشغور والاملاء في مدينة شبام حضرموت التاريخية:

يظهر مخطط الشغور والإملاء أو المصمت والمفتوح لمدينة شبام حضرموت التاريخية أن نسبة الإملاء في المباني كبيرة إلى حد ما في بعض قطاعات المدينة نسبة للمخطط العام، وباستخدام التحليل بتقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد يظهر أن مساحة الجزء المصمت أو الإملاء في المدينة يقدر بحوالي 50067 م^2 أي بنسبة 61 % من إجمالي المساحة الكلية للمدينة، بينما تقدر مساحة الجزء المفتوح أو الشغور في المدينة بحوالي 31785 م^2 أي بنسبة 39 % من إجمالي المساحة الكلية للمدينة.

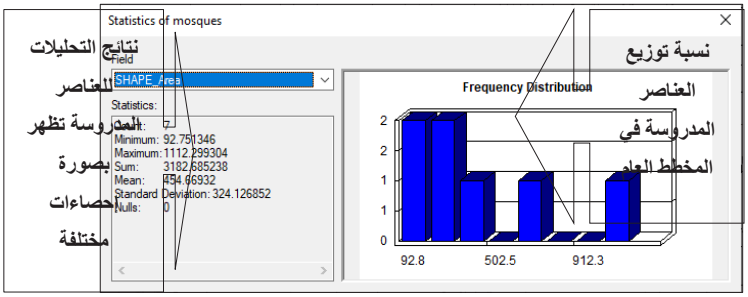
د. تحليل استعمالات المباني لمدينة شبام حضرموت التاريخية:

تتنوع استعمالات المباني في مدينة شبام حضرموت التاريخية وتختلف من منطقة لأخرى كما في الشكل (28) حيث يسيطر الاستعمال السكني للمباني في الجهة الغربية والشمالية للمدينة ويتركز الاستعمال التجاري للمباني في المنطقة الوسطية للمدينة بينما تتركز استعمالات المباني الحكومية والتعليمية والصحية والصناعية في الجزء الجنوب شرقي للمدينة عند المدخل الرئيسي لها، وباستخدام أنظمة التحليل ثلاثية الأبعاد فإنها تظهر أنه تتراوح مساحة الجزء السكني حوالي 43482 م^2 أي ما يقارب 53 % من إجمالي المخطط العام لمدينة شبام حضرموت، والاستعمال التجاري تتراوح مساحته 2283 م^2 أي ما يقارب 3 % من إجمالي المخطط العام، بينما تتراوح مساحة الجزء الديني (المساجد والجوامع) 3182 م^2 أي ما يقارب 4 % من إجمالي المخطط العام للمدينة ويظهرها الرسم البياني في الشكل (29)، وجزء الخدمات (حكومية،صناعية، تعليمية، صحية وثقافية) فتتراوح مساحتها ما يقارب 1120 م^2 أي ما يقارب 1 % من إجمالي المخطط العام كما يظهرها الرسم البياني في الشكل (42-5)، وأخيرا فإن المساحات البينية تشغل ما يقارب 39 % من المخطط العام بمساحة 31785 م^2، والجدول (2) يبين مساحات استعمالات المباني في مدينة شبام حضرموت. إذا يمكن القول بأن مدينة شبام حضرموت التاريخية مخصصة بشكل رأيسي للسكن بمعنى بأنها مدينة سكنية وليست تجارية أو أنشأت لأسباب دينية وغيرها من الأسباب الأخرى.

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1



شكل (28): خريطة استعمالات المباني لمدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث



شكل (29): رسم بياني لمساجد مدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

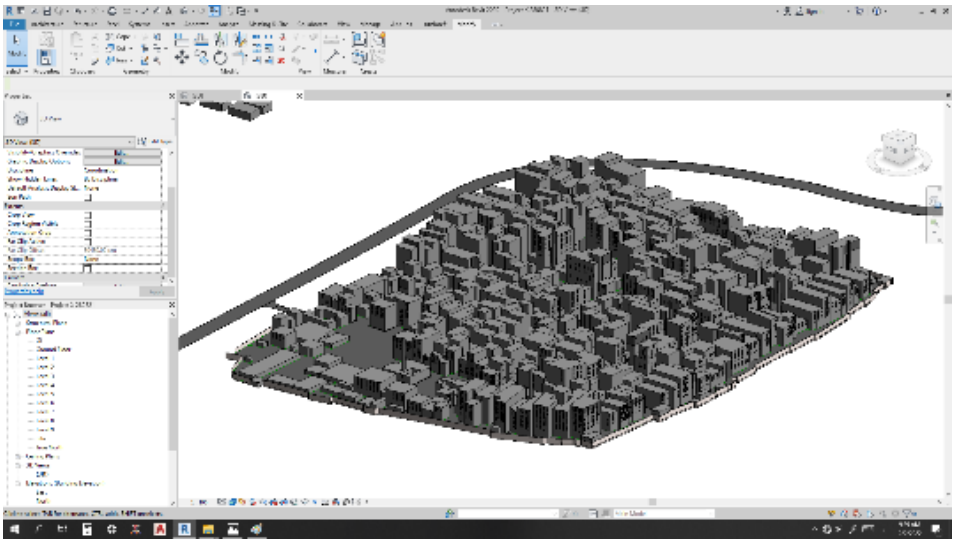
الاستعمال	المساحة بالمتر المربع	النسبة
سكني	43482	% 53
تجاري	2283	% 3
ديني	3182	% 4
خدمات	1120	% 1
مساحات بينية	31785	% 39
المجموع	81852	100 %

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

6.4.7. المحاكاة النهائية:

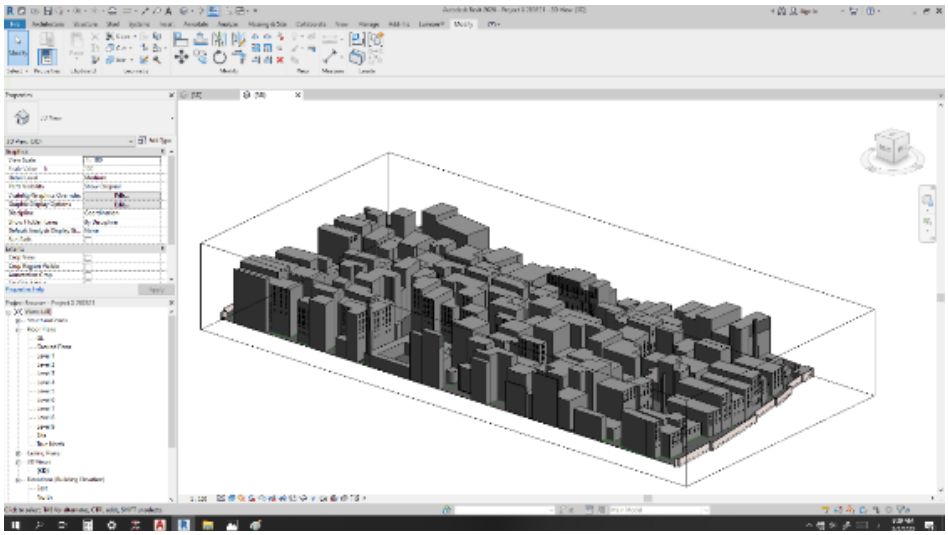
تعتبر هذه الخطوة هي آخر مرحلة في استخدام تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد لعمل منصة الحفاظ الرقمي لمدينة شبام حضرموت التاريخية حيث أن منظومة الحفاظ الرقمي للبيانات والمخططات العمرانية الفعلية لمدينة شبام حضرموت التاريخية تساهم في إنتاج محاكة نهائية شبه حقيقة للمنطقة المدروسة وذلك باستعراض النتيجة النهائية لمدينة شبام حضرموت التاريخية بطريقة افتراضية وباستخدام تقنيات مختلفة منها الزيارات الافتراضية و الصور بخاصية 360° والمناظيروالواجهات المتنوعة.

تم استخدام برنامج REVIT و برنامج LUMION وبعض الأدوات المساعدة في أنظمة ArcGIS، حيث أنه بعد عمليات النمذجة بنسبة تفصيل LOD=1 (حيث أدرجت في هذه المرحلة تفاصيل بسيطة في النموذج العام للمدينة كالنموذج الكتلي للمباني والعناصر العمرانية الأخرى بدون وجود تفاصيل معمارية كالأبواب والنوافذ والزخارف وغيرها) كما في الشكل (30) وإجراء عمليات قطع مختلفة للنموذج الكتلي في المدينة بنسبة تفصيل LOD=2 كما في الشكل (31) (حيث تم الاهتمام في هذه المرحلة بالإرتفاعات الحقيقية للمباني وفي الانشاء لفتحات النوافذ والأبواب) وتساهم عمليات القطع تلك في زيادة التفاصيل المعمارية والعمرانية في نموذج مدينة شبام حضرموت التاريخية ثلاثي الأبعاد، ثم تتم بعد ذلك عمليات الإكساء وإظهار التفاصيل للمدينة بنسبة تفصيل LOD=3-4 كما في الشكل (32) (حيث يتم الإظهار هنا لمعظم التفاصيل العمرانية الخاصة بالمدينة من مباني ومسارات حركة وغيرها من العناصر إضافة لبعض التفاصيل المعمارية الخاصة بتلك المباني من نوافذ وأبواب وغيرها وبعدها يتم الإكساء لتلك النماذج بمواد الإنشاء المقاربة لمواد الإنشاء الواقعية في المدينة التاريخية).



شكل (30): عمليات النمذجة لمدينة شبام حضرموت التاريخية بنسبة تفصيل LOD=1، المصدر: الباحث

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

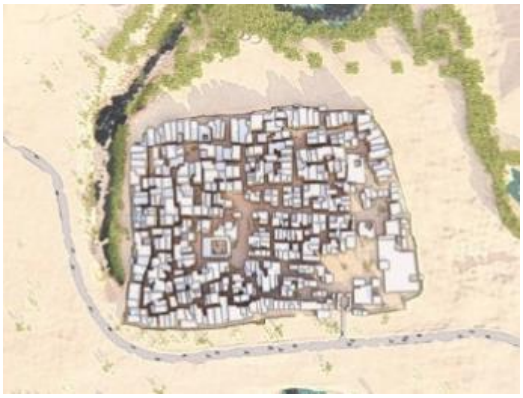


شكل (31): عمليات القطع لنموذج مدينة شبام حضرموت التاريخية بنسبة تفصيل LOD=2، المصدر: الباحث

شكل (32): عمليات الإكساء وإضفاء التفاصيل لنموذج مدينة شبام حضرموت التاريخية بنسبة تفاصيل LOD =3-4، المصدر: الباحث

كذلك يمكن عمل آليات مختلفة لإظهار تفاصيل المدينة ومنها المساقط العامة المطابقة للواقع كما في الشكل (33) وأيضا المناظير الإزومترية وذات نقاط التلاشي المتنوعة كما في الشكل (34).

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1



شكل (33): المسقط العام لنموذج مدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

شكل (34): مناظير أيزو مترية وذات نقاط التلاشي المتنوعة لنموذج مدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

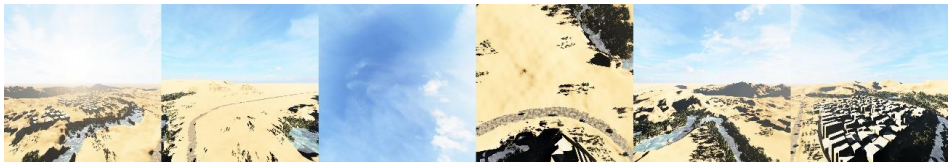
كذلك يمكن إنشاء صور ذات خاصية 360° للمناظير الداخلية من ساحات نموذج المدينة كما في الشكل (35) وصور ذات خاصية 360° لنموذج المدينة بعين الطائر كما في الشكل (36).

شكل (35): صور ذات خاصية 360° للمناظير الداخلية من ساحات مدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

شكل (36): صور ذات خاصية 360° لنموذج مدينة شبام حضرموت التاريخية بعين الطائر، المصدر: الباحث

وأخيرا يمكن إنتاج العديد من الفيديوهات والزيارات بتقنية VR أي الواقع الافتراضي كما في الشكل (37) والمدعمة بقنية AI أي الذكاء الاصطناعي والتي لا يمكن اظهارها في نطاق البحث كتابتا أو بالصور ولكن سيتم عرضها بطريقة أخرى.



شكل (37): منظومة عمل آلية VR الواقع الافتراضي لمدينة شبام حضرموت التاريخية، المصدر: الباحث

8. النتائج:

1. يتناول مصطلح النمذجة ثلاثية الأبعاد تمثيل وتجسيد الأجسام بصورة ثلاثية الأبعاد داخل بيئة الحاسوب لمنطقة معينة أو عناصر مادية معينة من خلال العديد من العمليات الرياضية والهندسية.
2. أهم مشكلات التوثيق التقليدي الفترات الزمنية الطويلة التي تحتاجها مراحل التوثيق التقليدي، إضافة إلى أن عمليات الرفع التقليدية تواجه عقبات في الغالب ترجع لارتفاع تكلفة أعمال المسح الميداني وجمع البيانات والمعلومات، إضافة إلى العقبات المتعلقة بكيفية التعامل مع المعلومات لتعدد مصادرها والجهات التي تتعامل معها.
3. يمتاز استخدام التكنولوجيا الحديثة في التوثيق الرقمي وتقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد في عملية جمع وتخزين ومعالجة البيانات بالتكلفة القليلة لتتناسب مع حجم الفائدة المتوقعة لتوفر العديد من الاحتياجات المادية، حيث يمكن الاستفادة من الميزات المتاحة في هذا المجال لما تتيحه من فرص لم يكن من السهل الحصول عليها سابقا.
4. من أهم الإشكاليات التي واجهت معظم مشاريع التوثيق والحفاظ السابقة لمدينة شبام حضرموت هو ضعف ربط البيانات الوصفية بالمخطط العام للمدينة التاريخية، إضافة إلى إغفال الجانب العمراني في بعض المشاريع أو التطرق له بشكل بسيط وسطحي، دون إجراء أي عمليات رقمنة أو تحليل للبيانات العمرانية التابعة للمخطط العام الخاص بالمدينة التاريخية.
5. تتم عملية الحفاظ على المدن التاريخية وفق عدة مراحل (التوثيق، الدراسة والتحليل، الملاحظة، أسلوب التعامل، التقرير، المتابعة)، ويعتبر الحفاظ العمراني الرقمي هو المرحلة الأولى والاهم التي يجب استحداثها قبل بقية المراحل السابقة في عملية الحفاظ على المدن التاريخية لما لهذه المرحلة من تأثير على المراحل اللاحقة.
6. يقصد بمفهوم الحفاظ الرقمي في المدن التاريخية عمليات الأرشفة والإدارة والتحليل للبيانات الرقمية العمرانية التي تم جمعها ضمن آليات وخطوات في المنصة الرقمية والتي يمكن الوصول لها عن طريق عدد من المستخدمين (مخططين، عمرانيين، معماريين، أثريين، إداريين، مدنيين ...الخ)، وللحفاظ العمراني الرقمي العديد من الخصائص والخطوات كما وله تأثيرات وفوائد ومميزات عديدة لصناع القرار ولإدارة المخططات العمرانية في المدن التاريخية وإعداد الخطط المستقبلية وتوجيهها.

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

7. المنصة الرقمية الخاصة بالمخططات العمرانية لمدينة شبام حضرموت التاريخية مرتكزة على مبدأين أساسيين هما التوثيق الرقمي والحفاظ الرقمي، حيث يتمثل مبدأ التوثيق الرقمي في عملية الإنشاء للبيانات والمخططات العمرانية ثلاثية الأبعاد الخاصة بمدينة شبام حضرموت التاريخية، ويمكن تمثيل هذه العملية بعمليات أخرى أكثر تفصيلا ومنها الإنشاء ثلاثي الأبعاد لمخططات الاستعمالات والارتفاعات والحالات والاعمار للمباني، ويتمثل مبدأ الحفاظ الرقمي في خمس عمليات رئيسية وهي تمثيل الخرائط والبيانات الجغرافية، والرفع المعماري للنماذج المختارة، إضافة إلى إدراج البيانات الوصفية والصور الفوتوغرافية الواقعية، والتحليلات للمخططات العمرانية، وأخيرا المحاكاة النهائية للنموذج الفعلي للمدينة التاريخية.
8. تعتبر منصة التوثيق والحفاظ العمراني الرقمي أحد أفضل الطرق والوسائل وأهمها في رفع البيانات العمرانية وأرشفتها وإدارتها وتحليلها لمدينة شبام حضرموت التاريخية وتوجيه صناع القرار فيما يخص الحفاظ على المدينة التاريخية والمناطق المحيطة بها.
9. تنشأ منصة التوثيق والحفاظ العمراني الرقمي من مجموعة من تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد وأنظمة المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد حيث تكون هذه المنصة شاملة للمدينة التاريخية وقطاعاتها الأربعة وتكون خاصة بالمخططات العمرانية والبيانات التابعة لعناصر هذه المخططات في الفترة الحالية ويمكن إضافة وتحديث تلك البيانات مستقبلا حسب الحاجة.
10. من أهم مخرجات المحاكاة النهائية باستخدام تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد لنموذج مدينة شبام حضرموت التاريخية الواجهات العامة للمدينة، والمساقط العامة المطابقة للواقع، وأيضا المناظير الإزومترية وذات نقاط التلاشي المختلفة، والصور ذات خاصية 360° للمناظير الخاصة بالساحات التابعة لنموذج المدينة، وصور ذات خاصية 360° لنموذج المدينة بعين الطائر، والعديد من الفيديوهات والزيارات الافتراضية بتقنية الواقع الافتراضي (VR) والذكاء الصناعي (AI) والتي تساهم بشكل كبير في دعم مجال السياحة والترويج الإعلامي.

9. التوصيات:

1. ينبغي أن تتوفر عند المهندس العمراني معرفة وخلفية علمية جغرافية عند استخدام تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد لمدينة شبام حضرموت التاريخية، ويتمثل ذلك في كيفية معايرة الخرائط والصور الطبوغرافية وتصحيحها في أنظمة المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد.
2. يجب أن يتم اختيار النظام الجغرافي المناسب عند القيام بعملية التصحيح والمعايرة للمخططات العمرانية وصور الأقمار الصناعية الخاصة بنموذج مدينة شبام حضرموت التاريخية كالاتي:
   أ/ استخدام نظام GCS: للحصول على خرائط معايرة بنظام الدراجات في حالة كانت مساحة العمل كبيرة كالدراسات المخصصة للمحافظات والأقاليم الشاسعة.
   ب/ استخدام نظام UTM: للحصول على خرائط معايرة بنظام الوحدات في حالة كانت مساحة العمل صغيرة نسبيا كالدراسات المخصصة للمدن والأراضي التي تطلب دقة عالية في رفع الإحداثيات الجغرافية وتجسيدها.
3. لإعطاء واقعية لنموذج مدينة شبام حضرموت التاريخية الناتج، لابد من تصدير النموذج قبل عرضه ضمن فعاليات الواقع الافتراضي الى برامج مثل 3D MAX, MAYA, REVIT, LUMION أو برامج مشابهة، لإضافة بيئة مناسبة للعمل بشكل ثلاثي الابعاد مثل الأشجار وعناصر فرش الموقع العام.
4. للحصول على وثيقة ثنائية الابعاد لنموذج مدينة شبام حضرموت التاريخية الناتج، يجب تصدير النموذج ثلاثي الابعاد (ذو الابعاد والنسب الواقعية) الى برامج الرسم الهندسي REVIT, ArcGIS, AUTOCA, VECTOR أو برامج مشابهة، للتمكن من الحصول على نسخة رقمية مفهومة يمكن التعامل معها بسهولة من قبل العديد من المستخدمين المتخصصين.

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

5. توجيه صناع القرار في فترة إعداد خطط الحفاظ المستقبلية للمدن التاريخية اليمنية بالاستعانة بمنصة الحفاظ الرقمي الخاصة بالمخططات العمرانية لتلك المدن التاريخية.
6. إلزامية تعديل وتطوير منصة الحفاظ الرقمي الخاصة بالمخططات العمرانية في المدينة التاريخية بما يتناسب مع نوع المشروع المدروس والأهداف النهائية لذلك المشروع.

10. المراجع:

[1] Garland, M., *Quadric-Based Polygonal Surface Simplification* (Doctoral dissertation), Carnegie Mellon University, United States, p 3, 1999.

[2] Garland, M., *Quadric-Based Polygonal Surface Simplification* (Doctoral dissertation), Carnegie Mellon University, United States, p 4-5, 1999.

[3] Reddy, M., *Perceptually Modulated Level of Detail for Virtual Environments* (Doctoral dissertation), University of Edinburgh, UK, p14, 1997.

[4] Çöltekin, A., *Foveation for 3D visualization and stereo imaging* (Doctoral dissertation), Helsinki University of Technology, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Finland, p6, 2006.

[5] Mao, B., *Visualization and Generalization of 3D City Models* (Doctoral dissertation), KTH Royal Institute of Technology, Sweden, p7, 2011.

[6] Chen, M., *Comparison of 3D Tree Parameters* (Master's thesis), Wageningen University and Research Centre, the Netherlands, p19, 2013.

[7] **شعبان، فادي عزالدين ، تطوير تطبيق مكتبي** BM_GIS **لإدارة الأبنية ثلاثية الأبعاد في بيئة أنظمة المعلومات الجغرافية، *مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العملية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد 40*، العدد** 1، **ص** 14، 2018.

[8] Makan, *3D Spatial Modeling*, an article Posted on May 2, 2019 by GIS for Every One, 2019.

[9] Makan, *3D Spatial Modeling*, an article Posted on May 2, 2019 by GIS for Every One, 2019.

[10] Biljecki, F., *Level of detail in 3D city models*, PhD thesis, TU Delft, P 6-7, 2017.

[11] Biljecki, F., *Level of detail in 3D city models*, PhD thesis, TU Delft, P 7, 2017.

[12] He yan, Cui limin, *3D-GIS Application in Information Management and Conservation Planning of Historic City*, Beijing Tsinghua Urban Planning & Design Institute, Beijing, P.R. China, P 1-2, 2012.

[13] Claudia Trillo, Rania Aburamadan, Shatha Mubaideen, Dana Salameen and Busisiwe Chikomborero Ncube Makore, *Towards a Systematic Approach to Digital Technologies for Heritage Conservation. Insights from Jordan*, article in De Gruyter magazine, P 121-122, 2020.

[14] Gamal Abdelmonem, Mohamed, Architectural and Urban Heritage in The Digital Age: Dilemmas of Authenticity, Originality and Reproduction, Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research, P 5-8, 2017.

[15] RUSSELLO AMMON, FRANCESCA, Digital Humanities and the Urban Built Environment: Preserving the Histories of Urban Renewal and Historic Preservation, Peer-reviewed Articles, P 11-12, 2018.

[16] **الباحث اعتماداً على:**
Fodil Fadli, Mahmoud AlSaeed, *Digitizing Vanishing Architectural Heritage; The Design and Development of Qatar Historic Buildings Information Modeling [Q-HBIM] Platform*, Sustainability articles, P 2-6, 2019.

[17] Fodil Fadli, Mahmoud AlSaeed, *Digitizing Vanishing Architectural Heritage; The Design and Development of Qatar Historic Buildings Information Modeling [Q-HBIM] Platform*, Sustainability articles, P 2-6, 2019.

[18] ***نقابة المهندسين الأردنيين، التراث العمراني بين تحديات الحاضر وآفاق المستقبل (دراسة تحليلية لتجربة الدرعية التاريخية بالمملكة العربية السعودية)*** **، ورقة علمية لنقابة المهندسين الأردنيين في المؤتمر المعماري الأردني الدولي الخامس بعنوان "العمارة المعاصر في العالم العربي: الفرص والتحديات "،عمان، الأردن نوفمبر** 2016، **ص**9 – 12، 2016.

[19] **الباحث اعتماداً على: نقابة المهندسين الأردنيين،** ***التراث العمراني بين تحديات الحاضر وآفاق المستقبل (دراسة تحليلية لتجربة الدرعية التاريخية بالمملكة العربية السعودية)*** **، ورقة علمية لنقابة المهندسين الأردنيين في المؤتمر المعماري الأردني الدولي الخامس بعنوان "العمارة المعاصر في العالم العربي: الفرص والتحديات "،عمان، الأردن نوفمبر** 2016، **ص**13 – 14، 2016.

[20] Shehata, Ahmed Mohamed Abd Elrahman, *GIS Application in Documenting and Analyzing Architectural Heritage*, International Conference on Heritage Cities Luxor – Egypt: 29 November to 02 December 2006, P 2-8, 2006.

[21] **بافقية، عبد القادر،** ***العمارة المدنية في موقع ريبون (مملكة حضرموت) من القرن الثامن ق.م إلى القرن الثاني الميلادي*** **(رسالة ماجستير)، مقدمة إلى معهد الآثار والأنثروبولوجيا، جامعة اليرموك، الأردن، ص** 90–89، 1999.

[22] **علي، عبدالمنطلب، الشاوش، سميرة ،** ***تأثير الظروف المناخية على الطابع المعماري للمدن اليمنية دراسة تطبيقية على المدن (زبيد، صنعاء، شبام- حضرموت)، مقال نشر في ندوة الإسكان 3 للهيئة العليا لتطوير مدينة الرياض، ص***67، 2002.

[23] **بافقية، عبد القادر،** ***العمارة المدنية في موقع ريبون (مملكة حضرموت) من القرن الثامن ق.م إلى القرن الثاني الميلادي*** **(رسالة ماجستير)، مقدمة إلى معهد الآثار والأنثروبولوجيا، جامعة اليرموك، الأردن، ص** 92، 1999.

https://doi.org/10.59222/ustjet.1.1.1

[24] Breton, Jean-François, Shibam and the Wadi Hadramaut, Mimar Gallery All content following this page was uploaded by Jean-François Breton on 13 August, P10, 2018.

[25] I.B. Tauris & Co Ltd, Intervention Architecture, Building for Change, Rehabilitation of the City of Shibam, Wadi Hadhramaut Yemen, GTZ Technical Office GOPHCY, Aga Khan Award for Architecture P 32-39, 2007.