



جامعة حلب

كلية الهندسة المعمارية

قسم تأهيل المدن الإسلامية

التوثيق المعماري والأثري باستخدام النمذجة الثلاثية الأبعاد

رسالة أعدت لنيل درجة ماجستير في الهندسة المعمارية

تقديم: م. رهام إياد عقيلي

2013م-1434هـ



جامعة حلب

كلية الهندسة المعمارية

قسم تأهيل المدن الإسلامية

التوثيق المعماري والأثري باستخدام النمذجة الثلاثية الأبعاد

رسالة أعدت لنيل درجة ماجستير في الهندسة المعمارية

الدكتور المشارك : د.حسن جبريني

أستاذ مساعد في قسم الهندسة الطبوغرافية

كلية الهندسة المدنية – جامعة حلب

الدكتور المشرف: د.لميس حربلي

أستاذ مساعد في قسم التخطيط والبيئة

كلية الهندسة المعمارية – جامعة حلب

تقديم :م. رهام إياد عقيلي

2013م-1434هـ

الجمهورية العربية السورية

جامعة حلب

تصريح

أصرح بأن هذا البحث: التوثيق المعماري والأثري باستخدام النمذجة الثلاثية الأبعاد لم يسبق أن تم قبوله للحصول على أية شهادة ولا هو مقدم حالياً للحصول على شهادة أخرى

المرشح:

م. رهام إياد عقيلي

الجمهورية العربية السورية

جامعة حلب

شهادة

نشهد بأن هذا العمل الموصوف في هذه الرسالة هو نتيجة بحث علمي قام به المرشح طالب الدراسات العليا رهام إياد عقيلي من قسم تأهيل المدن الإسلامية في كلية الهندسة المعمارية بجامعة حلب، تحت إشراف الدكتور المهندس لميس حربلي الأستاذ المساعد في قسم التخطيط والبيئة في كلية الهندسة المعمارية بجامعة حلب ومشاركة الدكتور حسن جبريني من قسم الهندسة الطبوغرافية في كلية الهندسة المدنية بجامعة حلب، وأي رجوع إلى بحث آخر في هذا الموضوع موثق ضمن النص

الدكتور المشارك

الدكتور المشرف

المرشح

د.حسن جبريني

د.لميس حربلي

رهام إياد عقيلي

الجمهورية العربية السورية

جامعة حلب

توثيق

نوقشت هذه الرسالة وأجيزت علناً بتاريخ 18-9-2013 من قبل لجنة الحكم ، المشكلة بموجب قرار مجلس البحث العلمي رقم 2195 المنعقد بتاريخ 15-8-2013 في جامعة حلب

الدكتور

جمال جوهر

الدكتور

محمد عطا الله شيخ محمد

الدكتور

لميس حربلي

شكر وتقدير

إلى الدكتورة لميس حربلي لإشرافها على هذا البحث ودفعي دائماً نحو الأفضل و
متابعتها الدائمة لي طوال سنواتي الدراسية .

إلى الدكتور حسن جبريني لإشرافه على البحث وسعة صدره في إغناء وتصويب جميع
الأفكار التي وردت ضمنه .

إلى كل من الدكتور جمال جوهر والدكتور محمد عطاالله شيخ محمد لاهتمامهم وإغناء
البحث بالملاحظات والاقتراحات.

ملخص

تعد مرحلة التوثيق المعماري والأثري هي المرحلة الأهم في عملية نقل التراث للأجيال القادمة، وحتى الآن تم إحرار تقدم في مجال التوثيق المعماري والأثري بسبب التطور العلمي و التكنولوجي المتسارع، حيث تطورت عدد من تقنيات التوثيق المعماري والأثري بشكل سريع، و أصبحت مستخدمة وبشكل كبير ضمن نظريات الحفاظ المعمارية، وقد تم من خلال استخدام تقنيات المساحة التصويرية والماسح الليزري ضمن مشاريع إعداد القياسات الثلاثية البعد للمعالم التاريخية، للحصول على بيانات ومعلومات رقمية ثلاثية الأبعاد دقيقة وصور واقعية، وقد تم استخدام هذه التقنيات لما تقدمه من سهولة في العمل ودقة واختصار في الوقت إذا ما تمت مقارنتها مع طرق التوثيق التقليدية. لذلك تم ضمن هذه المقالة التعريف بأحدث النظريات المستخدمة ضمن مجال التوثيق المعماري والأثري باستخدام النمذجة الثلاثية الأبعاد، بالإضافة إلى تحديد الطريقة الأنسب للحصول على نموذج ثلاثي البعد لأي مبنى أو معلم تاريخي بالنسبة للمهندس المعماري.

الباب الأول :توظيف النمذجة الثلاثية الأبعاد في عملية التوثيق المعماري الأثري

إن التراث الحضاري يمثل وثائق عالمية لا يمكن تجاهلها، والحفاظ على هذه الوثائق أمر مهم بالنسبة لتاريخ البشرية ومستقبلها ،ومسألة مهمة للمجتمع الحديث من الناحية الحضارية والإنسانية والاقتصادية، حيث تلعب دوراً كبيراً في تنميته وتطوره، ولكن كثير من هذه المعالم تندثر وتهمل نتيجة للحاق بركب التطور الحديث وعدم تأهيلها وإعادة توظيفها بالشكل الصحيح، بالإضافة إلى عدم فهم أهميتها بالنسبة للمجتمع والإنسان، ومن هنا تأتي أهمية توثيق هذه المعالم كخطوة أولى في عملية الحفاظ عليها وإعادة تأهيلها بالشكل الأمثل.

ونتيجةً للتطور العلمي و التكنولوجيا المتسارع بدأت عملية التوثيق تأخذ منهجاً وشكلاً جديداً ضمن عملية النمذجة الثلاثية الأبعاد، كون هذه العملية تعطي تصوراً واضحاً عن التكوين الهندسي للمعلم فتبرزه بصورة علمية وهندسية دقيقة ، و تتيح استخدام النتائج أو النماذج الناتجة ضمن مجالات متنوعة ومختلفة ترفع من سوية العمل التوثيقي وأهميته .
و اعتباراً لذلك رأينا أن يتضمن الباب الأول النقطتين التاليتين:

- مفهوم عملية التوثيق المعماري والأثري: نذكر فيه تعريفاً للتراث الحضاري ونستعرض أنواعه وأسباب تدهوره وكيفية الحفاظ عليه كمقدمة لتعريف عملية التوثيق المعماري وأهميتها واستعراض طرقها بشكل مختصر.
- النمذجة الثلاثية الأبعاد للمعالم والمواقع الأثرية: و نذكر فيها تعريف عملية النمذجة الثلاثية الأبعاد ومجالات استخدامها والتعرض لطرق عملية النمذجة وأنواع النماذج المستخدمة في عملية التوثيق.

و سوف تشكل هاتين النقطتين الفصلين الأول و الثاني من هذه الأطروحة.

1. الفصل الأول: مفهوم عملية التوثيق المعماري والأثري:

ويتضمن هذا الفصل قسمين أساسيين :

- التراث الحضاري: و نستعرض فيه التعريف التراث الحضاري وأهمية هذا التراث وأسباب تدهوره وكيفية الحفاظ عليه
- التوثيق المعماري و الأثري و نعرف فيه التوثيق المعماري والأثري ونبين أهميته وطرقه.

1.1. التراث الحضاري:

1.1.1. تعريف التراث الحضاري:

يعتبر التراث الحضاري ثروة حضارية تهتم بها الشعوب والأمم على اختلافها لأنها تجد فيها هويتها وأصالتها، فتسعى إلى العناية بها وحمايتها وتعمل على إكمال مسيرة تطورها لتبقى دائماً متواصلة مع ظروف عصرها والتحولات الحضارية التي تعيشها و لتقف في وجه التأثيرات البشرية والطبيعية، و بناءً على هذا تضمنت اتفاقية اليونسكو لحماية التراث الثقافي والطبيعي التي عقدت في المؤتمر العام في دورته السابعة عشر عام 1972 تعريفاً لكل من التراث الثقافي و التراث الطبيعي كما يلي[1]:

1. التراث الثقافي و يشمل كل ما يلي:

- الآثار: الأعمال المعمارية ، وأعمال النحت والتصوير، والعناصر أو التكوينات ذات الصفة الأثرية والنقوش والكهوف ومجموعات المعالم التي لها جميعاً قيمة عالمية استثنائية من وجهة نظر التاريخ أو الفن أو العلم.
- المجمعات: مجموعة المباني المنعزلة أو المتصلة التي لها قيمة عالمية استثنائية من وجهة نظر التاريخ أو الفن أو العلم و ذلك بسبب عمارتها أو تناسقها أو اندماجها في المنظر الطبيعي.
- المواقع: أعمال الإنسان أو الأعمال المشتركة بين الإنسان و الطبيعة وكذلك المناطق بما فيها المواقع الأثرية التي لها قيمة عالمية استثنائية من وجهة النظر التاريخية أو الجمالية.

2. التراث الطبيعي ويشمل ما يلي:

- المعالم الطبيعية المتألفة من التشكلات الفيزيائية أو البيولوجية أو مجموعات من هذه التشكلات التي لها قيمة عالمية استثنائية من وجهة النظر الفنية أو الجمالية.

- التشكلات الجيولوجية أو الفيزيوجرافية والمناطق المحددة بدقة والمؤلفة لمواطن الأجناس الحيوانية أو النباتية المهدة التي لها قيمة عالمية استثنائية من وجهة نظر العلم أو المحافظة على الثروات.
- المواقع الطبيعية أو المناطق الطبيعية المحددة بدقة التي لها قيمة عالمية استثنائية من وجهة نظر العلم أو المحافظة على الثروات أو الجمال الطبيعي.

1.1.2. أهمية الحفاظ على التراث الحضاري و أسباب تدهوره:

إن التراث الحضاري بشكل عام والتراث الثقافي والمعماري بشكل خاص يعتبر صفة معبرة عن البعد و العمق الثقافي والحضاري للمجتمع، و يمثل في حد ذاته قيمة حضارية له وللأجيال المتعاقبة ، حيث يلعب دوراً كبيراً في تطور المجتمع من جميع النواحي الاقتصادية والاجتماعية والإنسانية، ويشكل هذا التراث جزءاً من الحياة اليومية على اختلاف أساليبها وأنماطها، ولكن نلاحظ غياب مفهوم أهمية التراث بالنسبة للإنسان والمجتمع لعدة أسباب أدت إلى تهميش التراث وتدهوره، ويمكن تلخيص أسباب هذا التدهور ضمن الوطن العربي بما يلي[2]:

- تأثير العوامل الطبيعية مثل الرياح و الرطوبة وعوامل الحت...الخ، بالإضافة إلى تأثير الكوارث الطبيعية كالزلازل والسيول.
- غياب الوعي بالقيم التراثية لدى الإنسان والمجتمع، وغياب التوعية الثقافية المعمارية و العمرانية.
- التقصير في الحفاظ على التراث المعماري والعمراني نتيجة عدم الفهم الواضح بكيفية القيام بهذه العملية بشكلها الصحيح و يعود ذلك للأسباب التالية:
 - عدم وجود منهجية عمل واضحة ضمن هذا المجال.
 - عدم وجود تشريعات وقوانين تحاكي ظروف المجتمع مما يؤدي إلى توظيف المبنى واستثماره بشكل غير صحيح.
 - عدم تخصيص ميزانية كافية لعملية الحفاظ ضمن مؤسسات الدولة، وعدم وجود مساعدات تقدم لأصحاب العقارات الأثرية ليقوموا بترميمها واستثمارها بشكل صحيح مثل القروض الاستثمارية أو القروض على مدى الطويل.
 - عدم استخدام المهارات والتقنيات العلمية الحديثة في عملية التوثيق المعماري والأثري.
 - عدم القيام بعملية الترميم بشكل علمي صحيح، بالإضافة إلى اندثار بعض

- الحرف والمهارات والتقنيات المؤهلة للترميم الفني العالي الجودة.
 - غياب الصيانة الوقائية المنتظمة والصيانة الإصلاحية.
 - استخدام المباني والمواقع الأثرية وتأهيلها ضمن وظائف غير مناسبة لها.
- والفقرة التالية توضح كيفية القيام بعملية الحفاظ بشكل صحيح.

1.1.3. كيفية الحفاظ على التراث المعماري و العمراني:

للقيام بعملية الحفاظ بشكل صحيح لابد من :
 أولاً: تحديد المعايير التي تؤهل أي مبنى أو موقع تاريخي ليكون معلماً تاريخياً أو أثرياً، و ثانياً: تنفيذ عملية الحفاظ بخطوات عملية مدروسة متتالية .وسوف يتم التعريف بكل من هذه المعايير والخطوات كما يلي:

• معايير اختيار المباني والمواقع الأثرية المؤهلة لعملية الحفاظ:

إن عملية اختيار الآثار والمباني التي ترشح لعملية الحفاظ تخضع لطبيعة وقوانين ومتطلبات هذا المجتمع مما يولد اختلاف في معايير هذه العملية واختلاف في درجة أهميتها من مجتمع لآخر ولكن بشكل عام يجب أن تتميز بالمؤشرات التالية [3]:

- قبول المجتمع: أي أن تحظى بقبول وتفاعل إيجابي من المجتمع بما يتيح لها الاستمرار.
- ظاهرة ثقافية واجتماعية: أن تكون معبرة عن ظواهر مادية ومعنوية أو فكرية في حقبة زمنية معينة.

- الصمود والاستمرارية: أي أن حالتها تسمح باستمرارية تواجدها وإمكانية التعامل معها.
- و تتحدد قيمة المباني و المواقع الأثرية بما يلي[3]:

○ القيمة التاريخية:

مبنى أو موقع ارتبط بأحداث مهمة تعطيه أهمية خاصة كجزء من ذاكرة المدينة، ويمكن قياس القيمة التاريخية للمباني والمواقع باستخدام مؤشرين أساسيين هما:

1. المؤشر الزمني: الذي يعبر عنه تاريخ إنشاء المبنى أو الموقع، وكلما كان التاريخ قديماً ازداد هذا المؤشر تأثيراً وأصبح المبنى أو الموقع ذات قيمة أكبر.
2. المؤشر المعنوي: الذي يتأثر بعدة اعتبارات أهمها:

- مدى تعبير المبنى أو الموقع عن عصره وتاريخه.
- أهمية الفترة التاريخية التي ينتمي المبنى أو الموقع إليها.
- مقياس الندرة لنوعية البناء أو الموقع .

- عدم وجود إضافات أو تغييرات مخلة بالكيان المعماري للمبنى.

○ القيمة المعمارية الفنية:

مبنى أو موقع ذو طراز معماري فريد و متميز يعبر عن أسلوب تصميم مميز وإبداع فني فريد، تم إنشاؤه وفق فلسفة ومفاهيم ومقاييس معمارية أو مدرسة معمارية، أو يعكس سمات حقبة تاريخية معينة، أو يتسم بالندرة والتفرد بما يحمله من تفاصيل معمارية و زخارف، أو أنه نتاج عمارة تلقائية تعبر عن بيئة محلية[3].

○ القيمة العمرانية:

مبنى أو موقع يكتسب أهميته من تواجده في منطقة تراثية ذات طابع خاص تشكل ذاكرة المدينة، ولا يمكن فصل المبنى أو الموقع عن محيطه العمراني. وليس بالضرورة أن يكون المبنى في حد ذاته متفرداً وإنما تعود أهميته لاعتبارات علاقته المتكاملة مع المباني المحيطة به وموقعه العمراني[3].

○ القيمة الرمزية:

مبنى أو موقع ارتبط بحدث أو بشخصية كان لها تأثيرها الواضح في مسيرة المجتمع من حيث المولد أو النشأة أو الإقامة المستمرة، أو أن يتميز المبنى بكونه نتاج تصميم معماري لأحد رواد العمارة[3].

○ القيمة الوظيفية والاجتماعية:

هي القيمة الوظيفية التي تميز العمل المعماري، ويمكن قياسها بمدى أهمية الوظيفة التي يؤديها المبنى أو الموقع للمجتمع، وتقل هذه القيمة في المباني غير المستخدمة[3].

● خطوات عملية الحفاظ:

هنالك خطوات محددة للحفاظ على أي مبنى أو موقع مرشح لعملية للحفاظ يجب القيام بها بشكل علمي ومدروس، و يمكن تلخيصها كما يلي:

- التوثيق: نقوم في هذه المرحلة برصد النماذج التراثية ووصفها وتسجيلها صورياً ورقمياً من خلال إجراء مسح شامل ميداني، إلى جانب الاستناد إلى الأدبيات والمصادر والمعلومات والوثائق التي تزودنا بمعلومات كاملة عن الحالة الأصلية للمبنى أو الموقع[2].

- الدراسة والتحليل : نقوم على دراسة علمية تحليلية لعناصر المبنى أو الموقع، ويساهم في هذا المجال فريق من المتخصصين في جميع المجالات العمارة والتصميم والمساحة

الداخلية والهندسة الإنشائية والقانون والاقتصاد.....الخ، وذلك لتحقيق المصادقية في عملية الترميم وإعادة التأهيل[2].

- **الصيانة والترميم :** تتراوح بنود هذه العملية حسب حاجة النموذج للصيانة والترميم فقد تكون بسيطة تتضمن عدة بنود أو تكون بحدودها القصوى لنتمكن من إعادة استخدام المبنى بشكل سليم، وهذا يؤكد على أهمية قيام المتخصصين بهذا العمل بعد دراسة عميقة تقوم على القيام بالفحص البصري والتجارب العلمية ودراسة المخططات الناتجة عن عملية التوثيق لوضع خطة كاملة لمعالجة العيوب والأضرار[2].

- **اختيار الوظيفة الملائمة للنموذج التراثي :** تكمن الصعوبة في هذه المرحلة بضمان الاختيار المناسب للاستعمال الجديد، لأن هنالك العديد من المباني والمواقع تعرضت للضرر بسبب سوء اختيار الوظيفة المناسبة، وإن اختيار الوظيفة المناسبة يقوم على دراسة المحيط واحتياجاته ودراسة الموقع وحجمه وفراغاته ووظيفته الأصلية للوصول إلى الاستخدام الحديث الأمثل[2].

بعد استعراض هذه الخطوات سوف يتم تفصيل خطوة التوثيق المعماري والأثري كما يلي:

1.2. التوثيق المعماري والأثري:

1.2.1. تعريف التوثيق المعماري والأثري:

تعد عملية التوثيق والتسجيل من أهم الإجراءات التي تضمن الحفاظ والحماية للمباني و المواقع التراثية، فلا بد للحفاظ على المبنى أو الموقع من معرفة تاريخه و بياناته بشكل مفصل، لأن عملية التوثيق هي عبارة عن بطاقة تعريف للمبنى أو الموقع بقيمته وحالته الأصلية والحالية ، ولا بد أن تكون عملية الحفاظ مبنية على دراسة وفهم شاملين لظروف المبنى، مما ينتج عنه تحديد خطة وأسلوب التعامل معه دون الإضرار بقيمته، ويتم التوثيق خلال مراحل عملية الحفاظ المختلفة أي قبل وأثناء وبعد الانتهاء من العمل الترميمي وذلك لتحديد مقدار ونوع التدخل الذي تم خلال أعمال الحفاظ والترميم[9].

إن عملية التوثيق الأثري هو عملية معقدة وتتضمن عدة مراحل من جمع المعلومات التاريخية و التصميمية والإنشائية وفهمها وتفسيرها وصولاً إلى النتيجة النهائية، كما يعتبر التوثيق الخطوة الأولى والأهم التي تسبق القيام بعملية الحفاظ والصيانة والترميم. و بالنتيجة تعرف عملية توثيق

التراث الأثري بأنها:

تسجيل للوضع الحالي للمعلم الأثري ومحيطه من خلال تقارير، رسومات، صور، مخططات معمارية وإنشائية رقمية، وخلال هذه العملية يجب أن يكون لدينا تصور عن الحالة الأصلية للمبنى من خلال صور و مخططات قديمة من المكتبات المعمارية والإنشائية المتوفرة أو حتى من المكتبات الشخصية ،وذلك حتى نصل للتتبع التاريخي الصحيح لهذا المعلم[9].

1.2.2. أهمية التوثيق المعماري والأثري:

تتلخص أهمية عملية التوثيق المعماري والأثري من خلال ما يلي[2]:

- نقل التراث الثقافي من جيل إلى آخر من خلال التسجيل الصوري والرقمي الدقيق للمبنى أو الموقع التاريخي .
- الحصول على معلومات وبيانات صحيحة عن حالة المبنى من جميع النواحي الإنشائية والمعمارية والفيزيائية لاستعمالها ضمن الخطط المستقبلية .
- رصد المشاكل التي يعاني منها الموقع التاريخي من خلال توثيق كافة التغيرات الإنشائية والمعمارية والأمراض والتشوهات للمبنى بدقة عالية.
- نشر المعرفة التاريخية للمبنى التي تعتبر جزءاً مهماً من عملية التوثيق المعماري و التي تؤمن التتبع التاريخي الصحيح ومراحل البناء وتواريخ الإضافات أو أعمال الهدم التي طرأت على المبنى.
- إعادة الحياة للمبنى من خلال استعماله بأسلوب معاصر وذلك لأن عملية التوثيق تتيح فرصة ترميم المبنى والتخلص من المظاهر السلبية التي طرأت عليه .

ويجب أن تحقق عملية التوثيق ما يلي:

- إظهار و تحديد القيمة التاريخية والأثرية للمبنى من خلال دراسة نظرية.
- الحصول على المخططات الإنشائية والمعمارية الداخلية والخارجية بقياسات صحيحة لكافة أقسام المبنى التاريخي.
- تحديد أماكن التشوه والإضافات والهدم وتقييم الأضرار التي لحقت بالمبنى التاريخي وتحليلها.
- جعل المبنى متوفر بشكل رقمي وبدقة عالية.

1.2.3. طرق التوثيق المعماري والأثري

سوف نهتم هنا بالتوثيق من الناحية الهندسية أي إنشاء المخططات لمعلم أثري. هنالك أربعة طرق للحصول على الوثيقة المطلوبة و هي القياسات اليدوية و المسح الطبوغرافي و المساحة التصويرية و المسح الليزري. إن اختيار أحد هذه الطرق يتبع إلى عدد من العوامل وهي [2]:

- الأهمية التاريخية والعلمية للمبنى أو للموقع
- مساحة المبنى أو الموقع
- الدقة المطلوبة
- الميزانية المتاحة
- الوقت المخصص لعملية التوثيق
- عدد كوادرات العمل المتاحة و مؤهلاتها العلمية

ويمكن تلخيص هذه الطرق الأربعة كما يلي:

- **القياسات اليدوية** : تستعمل القياسات اليدوية لجسم لا تتعدى أبعاده بضعة أمتار لأنه من غير العملي والمضيق للوقت استعمال هذه الطريقة لأجسام أكبر ، والنتيجة التي يمكن التوصل إليها هي مخططات ثنائية البعد غير مفصلة ذات دقة محدودة [11].
- **المسح الطبوغرافي** : يستعمل المسح الطبوغرافي في عمليات التوثيق الأولية دون الدخول في التفاصيل المعمارية والإنشائية مثل (تحديد حدود المبنى الخارجية والداخلية وتحديد أبعاد الفتحات...الخ) ، والنتيجة التي يمكن التوصل إليها هي مخططات ثنائية البعد غير تفصيلية ذات دقة مقبولة [11].
- **المساحة التصويرية** : وتستعمل ضمن هذه التقنية الصور للحصول على قياسات للمباني والمواقع الأثرية بشكل كامل و بجميع تفاصيلها بشكل سريع ودقيق ، والنتيجة التي يمكن التوصل إليها هي مخططات ثنائية البعد تفصيلية ونماذج ثلاثية الأبعاد ذات دقة عالية [11] .
- **المسح الليزري** : ويعد من أسرع الطرق وأكثرها تطوراً للحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد بدقة كبيرة وسرعة عالية من خلال تشكيل غيمة نقطية تحيط بالجسم المطلوب توثيقه ، والنتيجة هي مخططات ثنائية البعد تفصيلية ونماذج ثلاثية الأبعاد ذات دقة عالية [11].

2. الفصل الثاني: النمذجة الثلاثية الأبعاد للمعالم والمواقع الأثرية:

لقد تم منذ زمن بعيد استخدام المخططات ثنائية البعد في عملية التوثيق و لكن ظهور التقنيات الحديثة سمح بإمكانية عمل مخططات ثلاثية الأبعاد للمباني أو المواقع و ظهرت أهمية ذلك في توثيق الأجزاء المعقدة من المباني و بشكل خاص في الزخارف . و إذا علمنا أن العناصر الهندسية البسيطة مثل الكرة و الأسطوانة لا تنطبق تماماً على الأجزاء مثل القبة و العمود و حتى الواجحة، التي تبدو للوهلة الأولى مستوية، قد لا تكون بالفعل مستوية. لهذا أصبح إنتاج مخططات ثلاثية الأبعاد ضمن اطار النمذجة الثلاثية الأبعاد مطلباً توثيقياً لا يمكن الاستغناء عنه في أغلب عمليات التوثيق. سوف نتناول في هذا الفصل تعريف عملية النمذجة الثلاثية الأبعاد و مجالات استخدامها و التعرض لطرق عملية النمذجة الثلاثية الأبعاد ولأنواع النماذج المستخدمة في عملية التوثيق المعماري والأثري.

2.1. تعريف النمذجة الثلاثية الأبعاد ومجالات استخدامها:

تعني النمذجة الثلاثية الأبعاد ضمن بيئة الحاسب عملية تطوير التمثيل الرياضي لأي سطح ثلاثي الأبعاد للجسم بواسطة برمجيات متخصصة والناتج يدعى النموذج الثلاثي الأبعاد. و يمكن أن تولد هذه النماذج بشكل يدوي أو نصف يدوي أو آلي تبعاً لنوع الأجهزة والبرمجيات المستخدمة بالإضافة إلى خصائص الجسم المراد نمذجته. كما أن هذه النماذج الثلاثية الأبعاد تتشكل عن طريق جمع عدد من النقاط أو الأشكال ضمن الحيز الثلاثي الأبعاد و تكون مرتبطة مع بعضها بواسطة عدد من العلاقات الهندسية والطوبولوجية [10].

مجالات الاستخدام: تستعمل هذه النماذج الثلاثية الأبعاد في مجالات عديدة منها: مجال الجرافيك والألعاب وصناعة الأفلام وفي المجالات الطبية و ضمن المجال الهندسي أيضاً مثل تصميم الآلات والمكنات الصناعية، وضمن مجال العلوم الجغرافية و الجيولوجية.

أما في المجال المعماري فتستخدم هذه العملية لإعادة تمثيل المباني وموقعها من خلال برمجيات مخصصة لتوليد نماذج معمارية حقيقية ذات دقة عالية تستخدم في أغراض متعددة مثل الزيارات الافتراضية على مواقع الشبكة العالمية، وكذلك في الأعمال التوثيقية والترميمية حيث توفر النمذجة الثلاثية الأبعاد إمكانية الحصول على شكل المبنى أو الجسم المعماري بجميع تفاصيله المعمارية و الإنشائية بشكل رقمي و ذو دقة عالية .

ولقد أصبح مجال إنشاء وإدارة النماذج الثلاثية الأبعاد للمواقع والمباني الأثرية حاجة ضرورية ومتزايدة من أجل ترميمها وصيانتها وتوثيقها وفق دراسة عملية دقيقة. و على الرغم من وجود

عدد من التقنيات التي يمكن أن تلعب دوراً كبيراً في مجال التوثيق والنمذجة الثلاثية الأبعاد، إلا أن هنالك حاجة كبيرة إلى التركيز على التقنيات والبرمجيات التي تتعلق بمفهوم: (As-built Building Information Modeling) حيث أن هذا المفهوم يعرف بشكل واسع الأدوات والمفاهيم الضرورية لتشكيل النماذج الثلاثية الأبعاد التي تقوم بشكل أساسي على مجموعة من المعلومات المعمارية والإنشائية لجميع العناصر المشكلة للجسم أو المبنى، وبشكل مختصر يعرف على أنه [11]: التمثيل الرقمي لخصائص المبنى الفيزيائية والوظيفية لتشكيل النموذج الأكثر دقة وفاعلية للمبنى بحالة بناءه الحالية. ولفهم نظريات وطرق النمذجة للأجسام والعناصر المعمارية لا بد أولاً من معرفة أنواع النماذج المستخدمة في هذه العملية.

2.2. تصنيف النماذج الثلاثية الأبعاد المستخدمة في عملية النمذجة :

يمكن تصنيف النماذج الثلاثية الأبعاد ضمن ثلاث تصنيفات رئيسية و هي:

2.2.1. نماذج وسائطية أو غير وسائطية:(parametric or non-parametric Models) :

يقوم استخدام النماذج الوسائطية على تعديل وسائط الجسم أي خصائصه الهندسية وبارمتراتة (الطول - العرض - الارتفاع... الخ) وذلك في حالة النمذجة انطلاقاً من إدراج الأشكال الهندسية البدائية (primitive shape) مثل مكعب - أسطوانة... الخ، حيث يمكن قياس هذه الوسائط أو معرفتها من خلال البيانات المدخلة إلى البرمجية مثل الصور. أما النماذج غير الوسائطية فيمكن فهمها من خلال أسلوب نمذجة السطوح التي تحيط بالجسم و هو أسلوب مغاير تماماً لا يعتمد على تعريف الوسائط الهندسية للجسم.

ولتوضيح ذلك نأخذ مثال حالة نمذجة عمود اسطواني الشكل، ففي النمذجة الوسائطية يتم اختيار نموذج اسطوانة ثم يتم تحديد وسائطها بقياسات على الصور مثل ارتفاع الأسطوانة ونصف القطر المشكل للقاعدة ، أما في النمذجة غير الوسائطية فيتم توليد شبكة من المثلثات تحيط بالعمود و تظهر سطحه و شكله دون الحاجة إلى معرفة وسائط الجسم و صفاته الهندسية [10].

2.2.2. النماذج العامة أو التجزئية للجسم (global or local Models):

في بعض الحالات يتم إنشاء نموذج للجسم انطلاقاً من عدة خطوات أو مراحل عوضاً عن إنشاء نموذج كامل للجسم بمرحلة واحدة ومثال على ذلك: عند نمذجة عمود إما أن نقوم، عبر مراحل محددة، بنمذجة كل جزء من أجزاء العمود على حدى(القاعدة- جسم العمود - التاج) حيث نقوم

بنمذجة كل جزء وسائطياً ثم يتم ربط الأجزاء لتشكيل جسم واحد يمثل العمود، و إما أن تتم نمذجته عبر مرحلة واحدة و بشكل كامل عن طرق توليد غيمة نقطية تمثل السطح الخارجي للعمود. ،ولذلك تعتبر النمذجة التي تعتمد على الأشكال الهندسية البدائية كقاعدة أولية ثم يتم ربطها لتشكيل النموذج النهائي هي نمذجة تجزيئية[10]. أما النمذجة التي تعتمد على شبكات التثليث أو الغيوم النقطية فتعتبر نمذجة عامة حيث يمكن من خلالها تمثيل أي شكل هندسي و خاصةً تلك الأجسام أو الكتل التي لا تملك شكلاً هندسياً نظامياً. وبشكل عام يعتبر تمثيل الأجسام المعقدة مثل الزخارف والتفاصيل الهندسية من خلال نمذجة عامة وغير وسائطي أما الأجسام غير المعقدة فتتم نمذجتها بشكل تجزيئي وتعتبر وسائطية [11].

2.2.3. النماذج غير الضمنية (الصريحة) أو الضمنية (explicit or implicit Models) :

التمثيل غير الضمني يعطي ترميزاً مباشراً للجسم (شبكة مثلثات تحيط بالجسم) أما التمثيل الضمني فيستعمل ترميز غير مباشر للجسم. فلتحديد إذا ما كان سطحاً ما يمثل كرة أو مكعباً نقوم مثلاً بحساب المنحني التكراري للنواظم عند نقاط على السطح ثم بحسب شكل هذا المنحني نستدل على الشكل ففي حالة الكرة تمر النواظم من نقطة واحدة هي مركز الكرة حيث يظهر ذلك من خلال إبرة وحيدة في المنحني التكراري أما في حالة المكعب فتظهر إبر متعددة حسب عدد سطوح المكعب المعتبرة[10].

و تنقسم النمذجة غير الضمنية إلى قسمين:

• النمذجة بناءً على تمثيل الحدود : (Boundary Representation B-rep) :

تتم نمذجة الأجسام عن طريق عدد من السطوح المرتبطة مع بعضها لتعطي الحدود الخارجية للجسم و يتم ذلك عن طريق نقاط تتصل فيما بينها بقطع إما مستقيمة أو منحنية تتناسب مع طبيعة السطح[10]. ولذلك فإن برمجيات النمذجة في هذه الحالة يجب أن تحوي على عدد من التقنيات التي تسمح بالتحكم بهذه المنحنيات مثل: Bezier curves ، B-splines والتي تسمح بتأمين عدد من نقاط التحكم التي تجعلنا نتحكم بهذه المنحنيات بشكل دقيق عن طريق تغيير إحداثيات ومواقع هذه النقاط المشكلة لهذه المنحنيات للوصول إلى الشكل المطلوب ،وأحياناً لا تكفي هذه الطريقة للوصول إلى النموذج المطلوب لذلك تتم الاستعانة ببعض التقنيات المساعدة مثل: تقسيم السطوح subdivision surface أو غيرها من التقنيات. وتعتبر هذه الطريقة عملية وسريعة وخاصة عند استعمال البرمجيات التي تسمح بتوليد شبكة (mesh) لنمذجة الأجسام[11].

• النمذجة بناءً على الهندسة الحجمية : (Constructive Solid Geometry CSG):

تتم نمذجة الأجسام بواسطة عناصر الهندسية البدائية مثل مكعب - أسطوانة... الخ ويتم ربط وتضمين هذه الأشكال مع بعضها بواسطة مجموعة من العمليات مثل الجمع والطرح. وترتبط العناصر والأجسام المنمذجة في هذه الطريقة ليس فقط بواسطة الأبعاد الهندسية (البعد- الطول- الزوايا... الخ) بل وأيضا بعلاقات طوبولوجية (التي تتعلق بالعلاقات بين الأشكال مثل الاحتواء و التقاطع). وتعتبر هذه الطريقة أحياناً غير عملية بسبب محدودية العناصر البدائية الموجودة ضمن مكتبات برمجيات النمذجة [10].

2.3. طرق نمذجة الأجسام والعناصر المعمارية:

وتنقسم إلى ثلاث طرق رئيسية حسب [11] وهي:

الطرق الإجرائية و طرق النمذجة اعتماداً على مجموعة من الغيوم النقطية وطرق النمذجة بناءً على معلومات النموذج الأساس.

2.3.1. الطرق الإجرائية (procedural methods) :

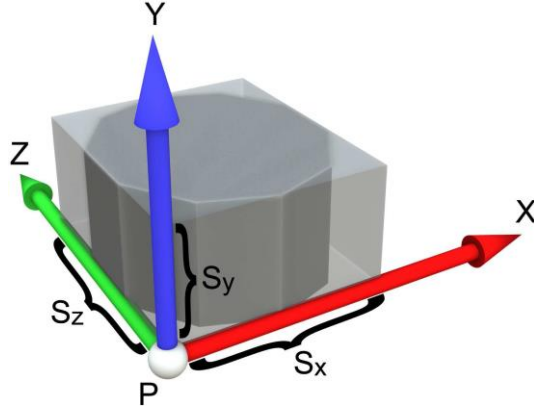
والتي تقوم على استخدام قواعد النمذجة المعتمدة على أشكال CGA (grammar-based CGA) حيث تعمل هذه القواعد على ترتيب الأشكال والعناصر المؤلفة للجسم المعماري وتصنيفها إلى أشكال تتكون من رموز وخواص هندسية [12]، بالنسبة للرموز فتكون إما طرفية (terminal symbol) أو غير طرفية (non terminal symbol) و تتميز الرموز غير الطرفية بأنها قابلة للتكرار في الجسم بينما الرموز الطرفية فهي غير متكررة أي تحدد موقع العنصر بالنسبة للجسم بشكل عام فيكون إما على أطراف الجسم أو ضمنه، أما الخواص الهندسية فهي:

- الموقع ضمن الحيز الثلاثي الأبعاد (position)

- الإحداثيات المحددة بالمحاور المتعامدة (x.y.z)

- المقياس (scale)

إن هذه الخواص تحدد صندوق إحاطة (bounding box) بالجسم الموجه ضمن الحيز الثلاثي الأبعاد ويسمى بالمجال (scope) كما هو موضح بالشكل (1-2).



الشكل (1-2): المجال أو scope [12]

وتتم عملية نمذجة العناصر المعمارية ضمن هذه الطريقة وفق عدد من العمليات والقوانين يمكن تلخيصها كما يلي [12]:

- **مرحلة الإنتاج (Production process):** ضمن هذه المرحلة تتم إضافة وترتيب مجموعة من الأشكال الأساسية المؤلفة للجسم الأصلي ضمن بيئة الحاسب.
- **عمليات الأشكال (Shape operations):** وفيها تستخدم عدد من القوانين العامة لتعديل أشكال المرحلة الأولى، والتي تتحدد بإجراء انتقال وتدوير وتعديل في المقياس على المجال (scope) وتتضمن:

- قوانين الانقسام الأساسي (Basic split rule): والذي يقوم بإجراء عملية انقسام على محور وحيد للمجال أو (scope)، مثال على ذلك تقسيم الواجهة الرئيسية إلى عدة أقسام مكونة لها مثل الجزء السفلي والأوسط ثم العلوي والكورنيش النهائي.
- قوانين المقياس (Scaling of rules): والتي تقوم على تغيير مقياس الأشكال والعناصر المؤلفة للشكل الأصلي مع مراعاة أنه ليس لجميع الأشكال والعناصر المعمارية التي تؤلف النموذج أو الجسم المقياس نفسه.
- الانقسام المتكرر (Repeat split): والذي يسمح بإحداث تغييرات كبيرة في قوانين المقياس والانقسام، مثال على ذلك: نحن نريد إكساء عنصر محدد مثل الأرضية لذلك نقوم بإجراء عمليات انقسام متكررة و محددة العدد والمقياس.
- الانقسام إلى المكونات (Component split): تسمح بإجراء انقسام للحصول على عناصر ذات أبعاد أقل، ويقصد بأبعاد أقل انتقال الجسم من حالة الحجم إلى سطح ومنه إلى مستقيم أو نقطة ضمن الحيز الثلاثي الأبعاد.

قوانين إعادة الإنشاء (Reconstruction Rules) : ضمن هذه القوانين تستخدم مجموعة من الخصائص الهندسية والوسائط التي يمكن التحكم بها. وكمثال على الوسائط الهندسية نحن نستعمل مسقط الجسم وإن وسائط التحكم الأخرى هي عبارة عن قيم ذات مقياس محدد يمكن إدخالها عبر لغة البرمجة ويمكن تلخيص القوانين بشكل عام كمل يلي:

- القانون الأول: يقوم على أخذ مسقط الجسم ورفع أي القيام بعملية(extrude) لتحديد حيز الجسم.
- القانون الثاني يقوم على توليد أشكال وعناصر الجسم المعماري بشكل كامل.
- أما القانون الثالث يقوم بالتحكم بطول وعرض وعمق وزوايا هذه الأشكال والعناصر لتلائم الجسم المطلوب نمذجته.

إن البرمجيات التي تسمح بالنمذجة بناءً على الطرق الإجرائية تتميز بقدرتها على إنتاج نمذجة حجمية كتلية لأي جسم، بالإضافة إلى التفاصيل المعمارية. وتعتمد في ذلك على عدة أنظمة منها:

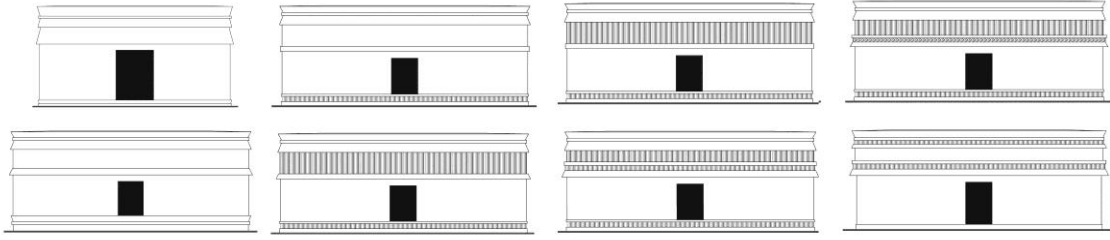
- أشكال(L-system) وهو نظام إعادة تمثيل وكتابة يستخدم لتمثيل عملية تطوير وتركيب الأشكال المتنوعة.
- (stack-oriented programming language) وهذه اللغة تقوم على حساب النتائج الوسطية لمجموعة من قيم الوسائط المدخلة للحصول على القيم النهائية.
- لغة توليد النماذج (Generative Modeling Language) والتي هي عبارة عن لغة برمجة لتبسيط وصف الأشكال الثلاثية الأبعاد المعقدة، وهذه اللغة تقوم على مجموعة من البيانات(datasets) التي تمثل عن طريق مجموعة من المفردات والقواعد و العمليات الرياضية تسمح بتوليد النموذج المطلوب الحصول عليه.

ولشرح هذه الطرق الإجرائية بشكل أفضل سوف نورد مثال على ذلك نسرده من خلاله آلية نمذجة الواجهات المعمارية لعمارة البيوك (Puuc) [12]:

تتميز عمارة البيوك و التي هي جزء من عمارة المايا بأنها عمارة تعتمد على البناء الحجري بشكل عام، كما أن واجهات المباني تتصف بأنها هندسية تكرارية مبنية من الحجارة الجصية يربط بينها ملاط كثيف حصوي وهذا ما يساعد على تحديد الأشكال التي يمكن بعد تعديلها أن نحصل بها على الشكل النهائي المطلوب.

ضمن منطقة (Xkipché) تم العثور على ثمانى تجمعات من المباني. استطاع الأثريون تصنيف

واجهاتها إلى 18 واجهة رئيسية وجانبية، الشكل (2-2) يوضح بعض منها، وتتألف الواجهات من الأجزاء المبينة بالشكل (3-2) والموضحة أيضا بالمقطع العرضي.

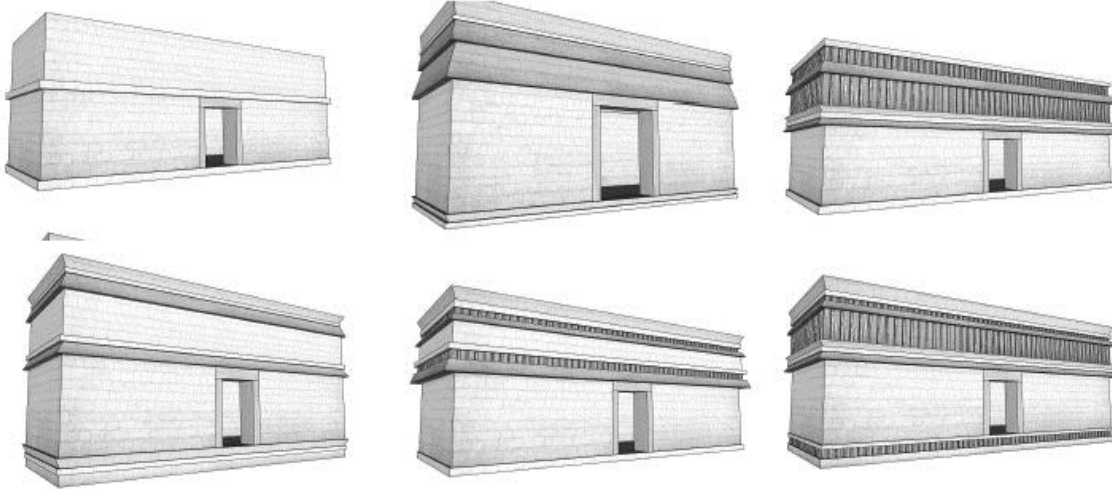


الشكل (2-2): بعض نماذج الواجهات المكتشفة ضمن الموقع [12]



الشكل (3-2): أجزاء العامة للواجهات الرئيسية والجانبية (واجهة -مقطع) [12]

و بتطبيق العمليات السابقة التي تم ذكرها سابقا يمكن الحصول على النماذج النهائية المبينة لاحقا بسهولة وذلك عن طريق تعديل الوسائط الهندسية للأقسام الرئيسية التي تتألف منها جميع هذه الواجهات كما هو مبين بالشكل (4-2).



الشكل (4-2): بعض النماذج للواجهات الرئيسية والجانبية التي تمت نمذجتها [12]

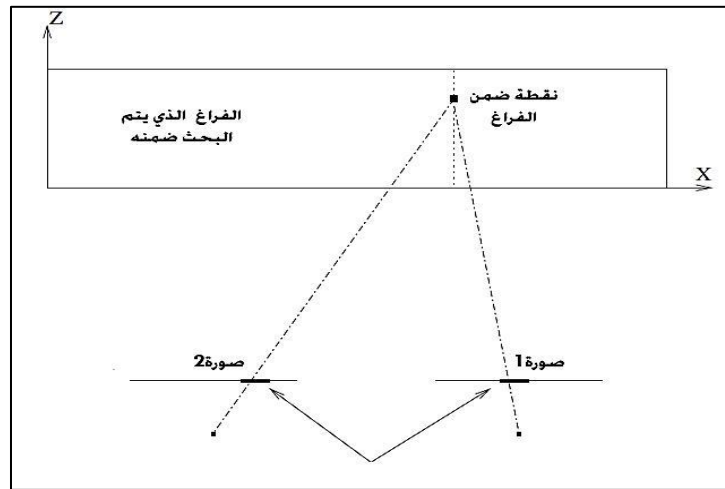
2.3.2. طريقة النمذجة بناءً على المعلومات المستخرجة من الغيوم النقطية (data-driven starting) (from a point cloud):

يتم الحصول على الغيوم النقطية إما من الصور و إما من المسح الليزري و هي عبارة عن مجموعة ضخمة من نقاط واجهة البناء أو سطوح البناء ممثلة بإحداثياتها الفراغية. و تتم عملية النمذجة هنا بتحويل هذه الغيوم النقطية إلى شبكة تثليث يتم من خلالها وصل النقاط بقطع مستقيمة لتشكل مثلثات تمثل سطح الجسم المراد نمذجته. و لهذا يطلق على الطريقة Data Driven أي أنه يتم التوصل إلى شكل الجسم انطلاقاً من المعطيات الأولية البسيطة و هي في هذه الحالة غيوم النقاط للوصول إلى شكل الجسم النهائي. سوف نميز عملية النمذجة للنقاط الآتية من الصور عن تلك الآتية من المسح الليزري نظراً لاختلاف طريقة إنتاج النقاط و بالتالي اختلاف الإجراءات قبل و أثناء عملية النمذجة [13].

• في حالة توليد شبكة التثليث من الصور:

يتم أولاً تحديد العنصر المراد تشكيل شبكة له ثم يتم النقاط مجموعة من الصور التي تغطي كامل الجسم أو العنصر بواسطة كاميرا معايرة (محددة الوسائط الهندسية) ملحق (1) ثم تتم عملية حساب إحداثيات النقاط الثلاثية الأبعاد باستخدام إحدى التقنيتين التاليتين [13]:

○ تقنية حيز الصورة: لحساب إحداثيات نقطة فراغية في الجسم يتوجب تحديد مسقط هذه النقطة في احدى الصور ثم تحديد مساقطها في الصور الأخرى. و باعتبار أن جمل التوجيه للصور معلومة مسبقاً فيمكن حساب إحداثيات النقطة في الفراغ حسب مبدأ حساب الإحداثيات الثلاثية الأبعاد الموضح ضمن الملحق (3). و يتم تطبيق ذلك على كامل نقاط الصورة كما هو موضح بالشكل (2-5).



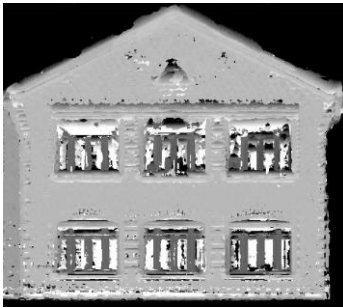
الشكل (2-5) عملية حساب احداثيات النقاط الثلاثية الأبعاد باستخدام تقنية حيز الصورة [13]

○ أو تقنيات حيز الجسم و هنا يتم تقطيع الفراغ المحيط بالجسم إلى مكعبات صغيرة منتظمة ويمثل كل مكعب بنقطة مركزه. و يقوم العمل على تحديد فيما إذا كانت نقطة ما من هذه النقاط تنتمي إلى سطح الجسم أم لا. للقيام بذلك نقوم إسقاط النقطة في الصور باعتبار جمل التوجيه لها معلومة ثم ندرس مدى تشابه مساقط النقطة في الصور باستخدام نظريات الارتباط (correlation-based method) والتي تقوم على حساب عامل الارتباط الخطي الذي يحدد مدى المطابقة بين القيم اللونية للمناطق المحيطة بالمساقط. فإذا كان عامل الارتباط كبيراً نقول أن احتمال أن تنتمي النقطة في الفراغ إلى سطح الجسم كبير. و بهذا يتم حذف عدد كبير من النقاط في الفراغ التي لا تنتمي إلى الجسم [13].

ثم نقوم بعملية أمثلة عامة (global optimization) لضبط سطح الغيمة النقطية المشكلة من الصور والمبينة بالشكل (2-6) بشكل نهائي. حيث يتم اختيار مجموعة النقاط التي تمثل سطح الجسم أفضل ما يمكن و ذلك من خلال تحقيق عدة شروط على سبيل المثال (مجموع عوامل الارتباط لنقاط السطح اكبر ما يمكن و شرط نعومة السطح (التغيرات في السطح صغيرة و غير مفاجئة) كما هو موضح بالشكل (2-7)

• ثم نقوم بعملية فلتر للنتائج وذلك لتخفيف من أثر الضوضاء الناتجة عن مجموعة من النقاط المتناثرة والتي ليس لها علاقة بالمبنى مثل نقاط من المباني المجاورة أو السماء كما هو موضح ضمن الشكل (2-8).

ثم تتم عملية التلايخ للشبكة للحصول على شبكة نهائية للنموذج عالية الدقة ويتم بالنهاية إكساء هذه الشبكة للحصول على النموذج المطلوب الموضح بالشكل (2-9).



الشكل (2-6): الشبكة الأولية [13]



الشكل (2-7): الواجهة بعد

عملية الأمثلة [13]



الشكل (2-8): الواجهة بعد

القيام بعملية الفلتر [13]



الشكل (2-9): النموذج النهائي لواجهة المبنى بعد الانتهاء من عملية الإكساء [13]

• في حالة المسح الليزري :

للحصول على شبكة تتلث نهائية نقوم بمجموعة من الخطوات تختلف باختلاف نوع المسح الليزري سواء أكان المسح أرضياً أم جويّاً ولكن الخطوات العامة هي على الشكل التالي: نقوم باختيار نوع الجهاز المناسب للشكل أو الجسم الذي نريد نمذجته. يجب أن تغطي عملية المسح كامل الجسم و يكون ذلك إما من خلال تثبيت الجهاز ضمن نقاط رصد مختلفة و محددة بدقة و إما بتثبيت الجهاز ونقل الجسم ضمن حركة تؤمن له تغطية كاملة. إن معالجة نتائج المسح الأولية (مجموعة الغيوم النقطية) تقوم على دمج هذه الغيوم النقطية ضمن مرجعية واحدة ثم القيام بعملية تتلثها للحصول على الشبكة النهائية العالية الدقة. للحصول على إكساء لوني صحيح للغيوم النقطية أو لشبكة التتليث تتم الاستعانة بكاميرا معايرة ونقوم بحساب مصفوفة التحويل بين جملة إحداثيات الماسح وجملة إحداثيات الكاميرا و نقوم بحساب جملة إحداثيات كل صورة. ثم نقوم بتلوين كل نقطة أو مثلث بحسب مساقطها في الصور [7]. والشكل (2-10) يوضح شكل النموذج النهائي الذي يمكن الحصول عليه عند استخدام الماسح الليزري، و سوف يتم استعراض هذه الخطوات بالتفصيل في الباب الثاني.



الشكل (2-10): شكل النموذج النهائي الذي يمكن الحصول عليه عند استخدام الماسح الليزري [13]

2.3.3. طريقة النمذجة بناءً على مجموعة من نظريات النموذج الأساس (model-based methods):

يتم تطبيق هذه الطريقة [14] ضمن مجال توثيق المباني والمعالم الأثرية للحصول على نموذج ذو تفاصيل دقيقة من خلال استعمال الصور القريبة المدى، حيث يتم الحصول على إحداثيات النقاط الثلاثية الأبعاد من خلال مجموعة من النظريات والعمليات التي تعتمد على تعديل النموذج الأولي وهي: عملية المطابقة المشتركة بين الصور ويتم من خلال هذه النقطة تشكيل النموذج الثلاثي الأبعاد الأولي (غيمة نقطية). ضمن هذه الطريقة تستعمل القوالب والنماذج الأولية التي يمكن التحكم بزواياها ودوراناتها ومقياسها، بالإضافة إلى التحكم بانتقالاتها ضمن بيئة النمذجة وذلك لتتلاءم بشكل جيد مع المعلومات الهندسية للصور المدخلة للبرمجية وتسمى هذه القوالب ب-axis-aligned templates، حيث يتم إضافة قوالب أو نماذج أولية ثلاثية الأبعاد معدة مسبقاً لتغطية سطح النموذج بشكل آلي بحيث تتلاءم خواصها الهندسية (وسائطها) مع المعلومات التي تم الحصول عليها من الصور ولذلك تعتبر هذه الطريقة آلية لا تحتاج إلى تدخل المستخدم بشكل كبير، ولكنها تعتمد على إدخال معلومات هندسية ومعمارية معروفة مسبقاً عن العناصر المشكلة للجسم أو المبنى أو الموقع المعماري والأثري وذلك لإعداد القوالب و النماذج الأولية.

كخطوة أولى لاستخدام هذه الطريقة يجب تحديد موقع وعدد هذه النماذج ضمن النموذج العام، ثم يتم دمج هذه القوالب مع الصور المأخوذة لهذا المبنى أو الموقع ويتحدد عدد القوالب المستعملة حسب حجم المبنى أو الموقع وحجم عملية الملازمة التي يمكن أن تقوم بها ضمن إمكانيات الجهاز والبرمجية.

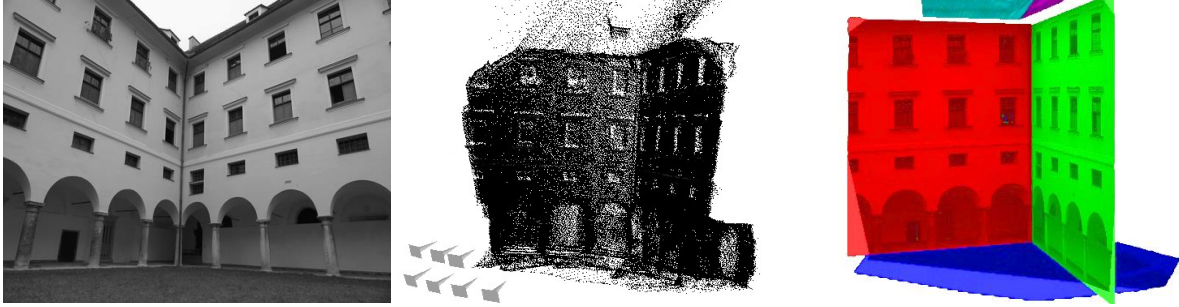
ثم يتم النقاط الصور بواسطة كاميرا تمت معايرتها وتحديد خواصها الهندسية الداخلية والخارجية، وبشكل عام إن عملية إعادة بناء المبنى تتم على ثلاث خطوات رئيسية يمكن توضيحها من خلال تجربة توثيق دير مينورتي في إسبانيا وهي [14]:

- إنشاء النموذج الأولي (غيمة نقطية) والذي يتألف من سطوح رئيسة للمبنى (السطح - الواجهات - الأرضية) ويتم إنشاء هذا النموذج بواسطة خوارزميات محددة تقوم على اتجاهات تقاطع الخطوط المشتركة بين السطوح أو من خلال تحديد اتجاهات نقاط الفرار حيث أن الخطوط ضمن مستوي واحد تتقاطع ضمن نقطة واحدة هي نقطة الفرار وبالتالي نستطيع من خلالها تحديد اتجاه السطح، ونستطيع ضمن هذه الخطوة إيجاد الخطوط الرئيسية المشكلة للواجهة وعناصرها كما هو موضح ضمن الشكل (2-11).

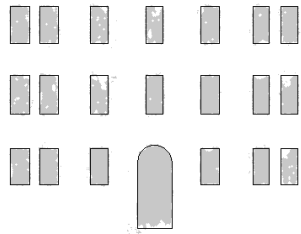
- الهدف من الخطوة الثانية هو الحصول على نموذج أكثر تفصيلاً للسطوح الأولية التي تم إنشاؤها ضمن الخطوة الأولى، وخاصة إيجاد تفصيل معماري للأجسام التي لا تقع على

مستوي السطوح الأولية مثل الفتحات والبروزات وذلك من خلال القيام بعملية تقطيع (segmentation) لهذه الفتحات والبروزات تمكننا من تحديد إطار شكلها العام أو محيطها وعمقها والقيام بعملية ربط آلية مع السطح الأولي كما هو موضح ضمن الشكل (2-12) .

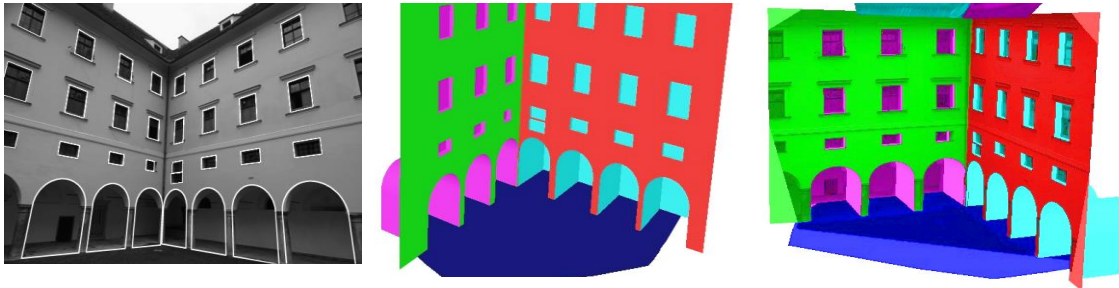
- ضمن الخطوة الثالثة تتم معالجة بارامترات النماذج المستخرجة في المرحلة السابقة لتتلاءم مع البارامترات المستخرجة من الصور، حيث يعاد إسقاط الخطوط الأساسية للمعالم التي تمت معالجتها مرة أخرى على الصور ويتم تعديلها باستخدام خوارزمية محددة تعدل موقع كل قطعة من الخطوط الرئيسية للنماذج حسب أقرب قيمة محسوبة من قبل الخوارزمية لتولد نموذج نهائي بشكل دقيق أقرب ما يمكن كما هو موضح بالشكل (2-13).



الشكل (2-11) يوضح مراحل الخطوة الأولى من النقاط الصور ثم تشكيل الغيمة النقطية وتحديد السطوح الأولية [14]



الشكل (2-12) يوضح تحديد الخطوط الأساسية للواجهة واجراء عملية التقطيع للفتحات والبروزات [14]



الشكل (2-13) يوضح النموذج النهائي للدير [14]

نتائج الباب الأول:

● نظراً لأهمية التراث الحضاري والثقافي للمجتمع والإنسان لابد من حماية هذا التراث من عوامل التدهور التي يمكن حصرها بغياب الوعي والتوعية الثقافية تجاه هذا التراث، بالإضافة إلى عدم القيام بخطوات عملية الحفاظ بشكل علمي ومدروس.

● قبل البدء بعملية الحفاظ على أي مبنى أو موقع تاريخي، لابد من دراسة أهميته من جميع النواحي التاريخية والوظيفية والاجتماعية... الخ، لمعرفة إذا ما كان هذا المبنى مؤهلاً لعملية الحفاظ.

● تتألف عملية الحفاظ من مجموعة من الخطوات وهي: التوثيق - الدراسة والتحليل - الترميم - إعادة التوظيف والتأهيل.

● تعد خطوة التوثيق المعماري والأثري أهم خطوات عملية الحفاظ لأنها تعد الأساس العلمي الصحيح لجميع الخطوات اللاحقة.

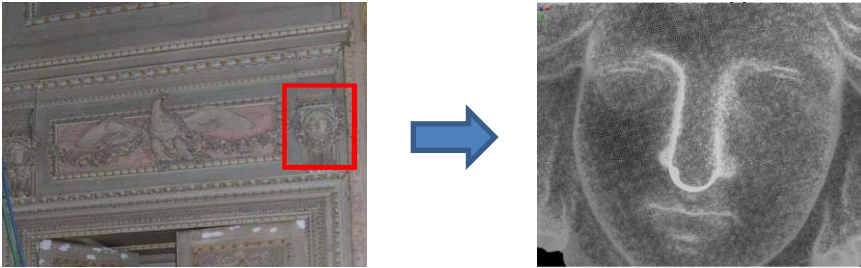
● يعتبر استخدام طرق التوثيق التقليدية مضيعة للوقت والجهد، لذلك يفضل استخدام كل من تقنيات المساحة التصويرية والماسح الليزري للحصول على نتائج ثنائية وثلاثية دقيقة ذات سوية علمية مرتفعة.

● يعتبر إدخال مفهوم النمذجة الثلاثية الأبعاد للمعالم الأثرية ضمن عملية التوثيق أمراً ضرورياً للقيام بهذه العملية بشكل علمي وصحيح ودقيق، وذلك لأننا نستطيع توليد نماذج ثلاثية الأبعاد لجميع الأجسام والعناصر المعمارية باستخدام هذا المفهوم، وبالتالي نستطيع أن نلغي استخدام الطرق التقليدية في عملية التوثيق المعماري والأثري ونستبدلها بطرق عملية متطورة وحديثة لا تحتاج إلى أخذ قياسات تفصيلية بشكل كامل لأي جسم أو مبنى أو موقع.

● ويكون شكل النموذج الناتج عن استخدام مفهوم النمذجة الثلاثية الأبعاد حسب تقنية العمل:

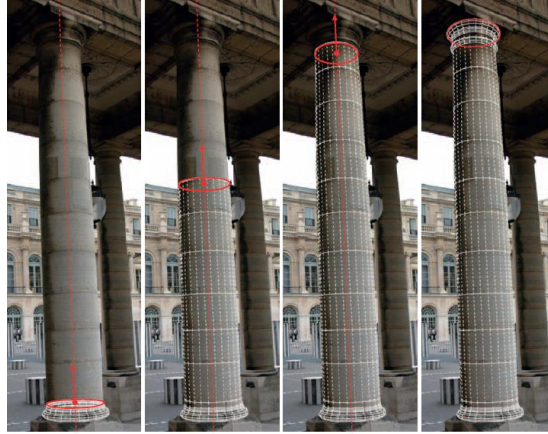
- إما شبكة (mesh) تحيط بالجسم المطلوب نمذجته وفق البيانات أو المعلومات التي

تم إدخالها (صور - معلومات ماسح ليزري) كما هو موضح بالشكل (2-16)



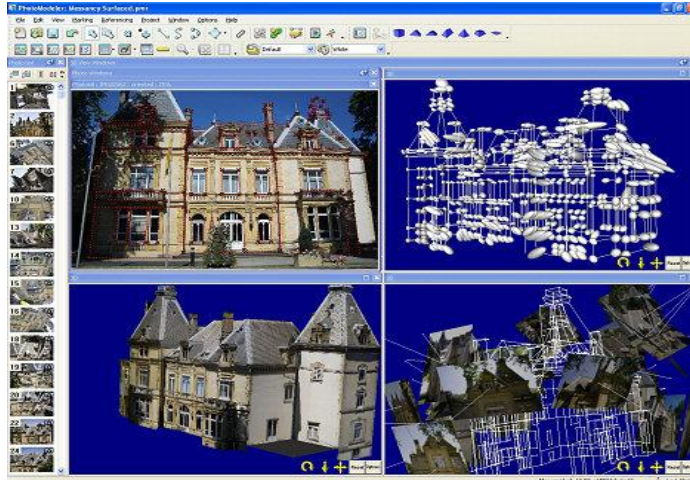
الشكل (2-16): الحصول على نموذج للجسم من خلال توليد غيمة نقطية [10]

- أو عن طريق استخدام الأشكال الهندسية البدائية (primitive shape) التي يتم التحكم بخواصها الهندسية (برمتراتها) مثل الطول و العرض ..الخ لتمثيل الشكل المطلوب نمذجته وفق البيانات أو المعلومات التي تم إدخالها (صور) كما هو مبين بالشكل (15-2)



الشكل (15-2): نمذجة عمود باستخدام الأشكال البدائية نلاحظ التحكم بارتفاع من خلال بيانات الصورة [14]

- أو عن طريق إضافة سطوح مرتبطة مع بعضها بمجموعة من العلاقات تحيط بالشكل الموجود ضمن البيانات أو المعلومات التي تم إدخالها (صور) كما في الشكل (16-2).



الشكل (16-2): نمذجة مبنى أثري باستخدام مبدأ تمثيل الحدود [14]

• يتم استخدام ثلاث طرق رئيسية للحصول على النموذج الثلاثي الأبعاد يمكن تلخيصها كما هو موضح بالجدول (1-2):

الجدول (1-2): طرق الحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد (إعداد الباحثة)

الطريقة	المبدأ العام	تدخل المستخدم	الحاجة إلى الخبرة المعمارية	صعوبة المعالجة البرمجية
النمذجة باستخدام الطرق الإجرائية	تعديل الوسائط الهندسية للأشكال البدائية أو أولية ضمن البرمجية بناءً على معلومات الشكل الأصلي (الصور) للحصول على الشكل المطلوب.	يدوية	تحتاج إلى خبرة معمارية	المعالجة البرمجية تعتبر مرنة وسهلة وتشابه العمل ببرامج التصميم بمعونة الحاسب.
النمذجة بناءً على المعلومات المستخرجة من الغيوم النقطية	تقوم هذه الطريقة على توليد ومعالجة شبكة (mesh) ذات إكساء للمبنى أو الموقع من خلال استخدام تقنيات المساحة التصويرية أو المسح الليزري	نصف آلية	لا تحتاج إلى خبرة معمارية	يتطلب الأمر معالجة برمجية ولكن يمكن للمعماري القيام بها في حال استخدام تقنيات المساحة التصويرية
النمذجة بناءً على مجموعة من نظريات النموذج الأساس	يتم تشكيل النموذج الأولي (غيمة نقطية) من خلال استعمال الصور ويتم الحصول على النموذج النهائي من خلال إدخال القوالب الأولية التي يمكن التحكم بها لتتلاءم مع المعلومات الهندسية للصور المدخلة	آلية	تحتاج إلى خبرة معمارية لإعداد القوالب والنماذج الأولية فقط	تعتبر المعالجة البرمجية صعبة لغير المختصين

- وكنتيجة تعتبر الطرق الإجرائية من افضل الطرق للمهندس المعماري لمايلي:
 - تتطلب هذه الطريقة دراية كبيرة بالأشكال والعناصر المعمارية التي تولف النموذج المطلوب ، وكذلك الدراية الكافية للتحكم بهذه الأشكال والعناصر لتتلاءم البيانات المدخلة للبرمجية(الصور).
 - تعتبر هذه الطريقة مجدية بشكل كبير عند نمذجة الأجسام المعمارية المتشابهة والتي يعود سبب تشابهها إلى أنها تملك نفس الأجزاء المكونة أ والمقياس أو إلى أنها بنيت مثلاً ضمن الفترة الزمنية أو العصر، الأمر الذي يسهل بشكل كبير إنشاء مكتبة نمذجة معمارية لجميع الأشكال والعناصر المعمارية تختصر الوقت اللازم لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد لأي جسم أو مبنى أو موقع .
 - سهولة استخدام برمجيات المساحة التصويرية التي تخدم هذه الطريقة والتي تشابه برامج التصميم بمعونة الحاسب.

الباب الثاني: طرق التوثيق المعماري والأثري باستخدام النمذجة الثلاثية الأبعاد و اعتبارات استخدامها (دراسة مقارنة)

بدأت عملية التوثيق المعماري تأخذ منهجاً وشكلاً جديداً، حيث لم يقتصر الأمر فقط على توثيق المبنى أو الموقع الأثري بشكل ثنائي الأبعاد بل أصبح من متطلبات إدارة المباني والمواقع الأثرية القيام بمرحلة التوثيق المعماري بشكل ثلاثي الأبعاد من خلال القيام بعملية نمذجة ثلاثية الأبعاد. إن هذه العملية تعطي تصوراً واضحاً عن التكوين الهندسي للمعلم بصورة علمية وهندسية دقيقة بكلفة بسيطة و وقت مختصر و تتيح استخدام هذه النتائج أو النماذج ضمن مجالات متنوعة ومختلفة ترفع من سوية العمل التوثيقي وأهميته، وفيما يلي استعراض لأهم طرق التوثيق المعماري والأثري حسب التقنية والأدوات المستخدمة [9]:

• الطريقة التقليدية اليدوية:

يتم التوثيق وقياس المسافات والزوايا وذلك بأدوات بسيطة مثل المتر العادي أو الليزري- الشواكيل، ولا يتطلب العمل بهذه الطريقة إلا تدريباً بسيطاً و هي طريقة تعتبر غير فعالة و تحتاج إلى وقت طويل، وتستخدم فقط في الحالات التي لا تتوفر فيها الأجهزة والبرمجيات الضرورية.

• طرق المسح الطبوغرافي التقليدي:

هذه الطريقة تتطلب أجهزة اختصاصية تستند على طرق هندسية تعتمد على الحساب الثلاثي الأبعاد لإحداثيات النقاط، إن الأداة المستعملة هي أجهزة المساحة مثل قانس المسافات و محطات القياس المتكاملة التي تستعمل عاكساً أو بدون عاكس للنقاط الصعب الوصول إليها . هذه التقنية فعالة في حال أردنا تحديد المعالم الأساسية للجسم مثل(الحدود العلوية للواجهة - الزوايا الأربعة للمبنى.... الخ) ، ولكن في حال أردنا توثيقاً دقيقاً لكافة عناصر وتفاصيل المبنى أو الموقع الأثري تعتبر هذه الطريقة غير فعالة، كما أصبحت تقنيات المسح الطبوغرافي تعتبر تقنيات مساعدة لعمليات التوثيق بواسطة المساحة التصويرية أو المسح الليزري.

• تقنية المساحة التصويرية:

تطبق هذه التقنية النظريات والمبادئ الأساسية للمساحة التصويرية القريبة المدى (close-range Photogrammetry)، التي تعتبر من أهم الطرق المتطورة بالمقارنة مع التقنيات الأخرى في مجال السرعة في إعطاء قياسات للأجسام الموثقة بكلفة منخفضة، والأمر الأكثر أهمية هو القدرة على إعطاء نتائج ذات دقة عالية، وهذه التقنية تحتاج إلى دعم من طرق المسح التقليدي أو

الطبوغرافي وذلك لأخذ قياسات وإحداثيات للنقط على الجسم لتحديد التموضع والمقياس الصحيح لهذا الجسم.

• المسح الليزري :

أصبح من أكثر الطرق انتشاراً مؤخراً بسبب التوفر التجاري للمواسح الليزرية ، التي تعمل آلياً و بسرعة كبيرة تصل إلى (1000 نقطة / ثانية) والنتيجة هي غيوم ذات ملايين النقاط تشكل وتحدد سطح أي جسم بدقة عالية. إنّ الإشكالية الرئيسية لهذه الطريقة هي الكلفة المرتفعة لسعر المساحات الليزرية وصعوبة التعامل مع الجهاز والبرمجيات المخصصة له، ولكن تعتبر سوية النتائج و المعطيات التي يمكن التوصل إليها ذات مستوى علمي وتكنولوجي مرتفع لا يمكن التوصل إليها بالطرق الأخرى.

وبناءً على ما سبق سوف يتم ضمن هذا الباب ذكر تفصيلي عن كل من تقنية المساحة التصويرية وتقنية المسح الليزري من حيث تعريفها ومجالات استخدامها والخطوات العامة التي تتم عملية التوثيق المعماري والأثري بها وذلك للتوصل إلى مقارنة صحيحة بين هاتين التقنيتين تقوم على أساس استعراض الاعتبارات التالية:

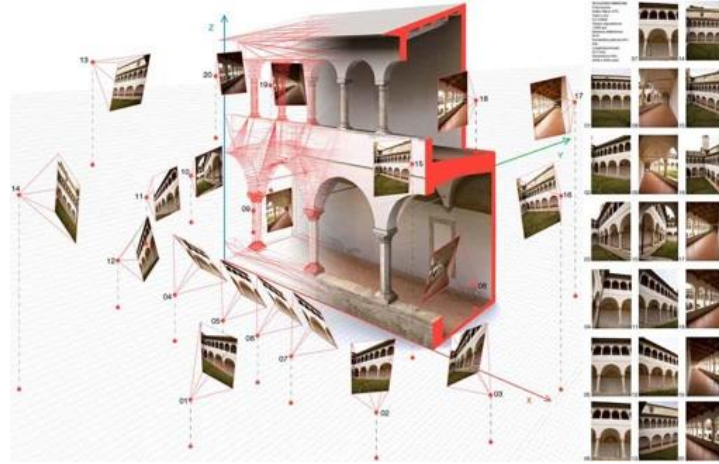
- الأجهزة المستخدمة
- الدقة
- الكلفة
- السرعة
- مؤهلات كادر العمل
- سهولة العمل ضمن الموقع

3. الفصل الثالث: طرق التوثيق المعماري والأثري باستخدام النمذجة الثلاثية الأبعاد

3.1. التوثيق المعماري والأثري باستخدام المساحة التصويرية:

تم تغيير المنهجية والنظرة العامة لعملية التوثيق والنمذجة الثلاثية الأبعاد للمباني والمعالم الأثرية من خلال علم المساحة التصويرية (الفوتوغراممترية)، حيث أضحى مصطلح الفوتوغراممترية المعماري [15] مستخدماً بشكل واسع في هذا المجال لشرح التقنيات المستخدمة لقياس الأجسام ذات الأبعاد المختلفة ودراسة وضعية آلات التصوير ذات قرب متفاوت من الجسم حسب درجة التفاصيل المطلوبة وحسب موقعها من الجسم والطرق البرمجية المستخدمة لإنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد للأجسام المصورة، بالإضافة إلى أن وجود الكاميرات الرقمية الحديثة وبرمجيات القياس من الصور و تقنيات الحاسب جعل من علم المساحة التصويرية الأرضية القريبة المدى أو الفوتوغراممترية تقنية مفيدة وعملية، لذلك تم استخدام هذه البرمجيات والتقنيات بشكل كبير في مجال التوثيق المعماري والأثري من خلال:

- التوثيق الثنائي البعد (إنتاج الصور المقومة أو الصور المصححة)
- التوثيق الثلاثي البعد بالاعتماد إما على صورة وحيدة و إما على مزدوج من الصور و إما على صور متعددة كما هو موضح بالشكل (3-1) أو حتى من خلال توليد غيوم نقطية ثلاثية الأبعاد يمكن إنشاؤها من عدة صور [16].



الشكل (3-1): تشكيل نموذج ثلاثي أبعاد من خلال مجموعة من الصور [16]

3.1.1. تعريف المساحة التصويرية وأنواعها:

هي علم القياس من الصور وهي ترجمة لكلمة أغريقية تعني القياس من الرسم بواسطة الضوء تتألف من photo معناها الضوء و gramma يعني الرسم و metron يعني القياس. ووفقاً

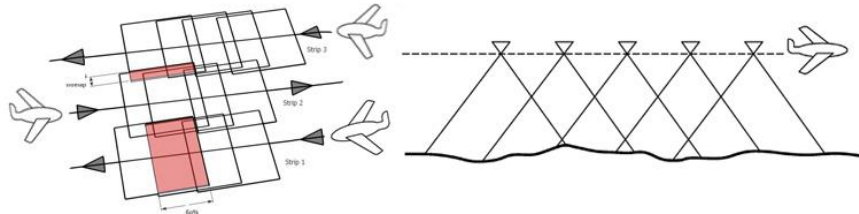
للجمعية الأمريكية للفوتوغراممري والاستشعار عن بعد (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) الفوتوغراممري أو المساحة التصويرية هو: فن وعلم وتقنية الحصول على معلومات دقيقة حول الأجسام الطبيعية و البيئة الموجودة ضمنها، من خلال عمليات تسجيل و قياس و تفسير صور فوتوغرافية و أنماط الطاقة الكهرومغناطيسية المسجلة لظواهر أخرى، و بتعبير أدق هو العلم الذي يهدف بشكل رئيسي إلى تحديد الصفات الهندسية والراديو مترية للجسم كالحجم والشكل و الموقع و الأبعاد و وضع مخططات له اعتماداً على صور مأخوذة لهذا الجسم[4].

وتنقسم المساحة التصويرية بشكل أساسي إلى قسمين:

- المساحة التصويرية الجوية أو الفضائية :

تتم عملية التوثيق والنمذجة من خلال صور تؤخذ من آلة تصوير خاصة مثبتة بأسفل أو داخل طائرة خاصة بالمساحة الجوية. ويكون محور عدسة التصوير بشكل عام شاقولياً (Vertical)، حيث يتم التقاط مجموعة من الصور المتوازية والمتداخلة طولياً بنسبة 60% باتجاه مسار الطائرة المحدد وبنسبة تداخل عرضي يتراوح بين 15% وحتى 60% كما هو موضح بالشكل (2-3) ثم تتم عملية التوثيق و النمذجة باستخدام برمجيات محددة .

إن المهمة الأساسية للمساحة التصويرية الجوية هي : وضع الخرائط والمخططات ودراسة المشاريع اعتماداً على هذه الخرائط والمخططات المأخوذة من الصور الجوية لهذه المشاريع لذلك نستفيد من هذه التقنية بشكل كبير في توثيق المواقع العامة للمواقع الأثرية[7]. الشكل (2-3) يبين الحصول على مخطط موقع عام ارتفاعي لقلعة سالس- فرنسا من خلال عدة صورة جوية.



الشكل (2-3):التداخل الطولي والعرضي بين الصور الملتقطة من الطائرة[16]



الشكل (3-3): الحصول على مسقط لقلعة سالس - فرنسا من خلال صور ملتقطة من طائرة هوليكوبتر [11]

• المساحة التصويرية الأرضية :

وفيها تؤخذ الصور من آلة التصوير مثبتة بشكل يدوي أو بواسطة حامل يرتكز على الأرض أو بطرق أخرى موضحة بالشكل (3-4) حيث يكون محور عدسة التصوير بشكل عام أفقياً (horizontal)، كما يمكن أن يكون شاقولياً (Vertical) أو مائلاً (Oblique). بواسطة بعض التقنيات البسيطة والفهم الأولي للمبادئ الرئيسية للمساحة التصويرية القريبة المدى (close range Photogrammetry) يمكن ربط هذه الصور مع بعضها بواسطة خطوات وتقنيات وبرمجيات معروفة وذات كلفة بسيطة لنولد من خلالها نماذج لأجسام ثلاثية الأبعاد بوقت قصير وكلفة قليلة. تكون هذه النماذج قابلة للقياس (ذات أبعاد ونسب صحيحة وواقعية) دون الحاجة إلى إجراء هذه القياسات بشكل يدوي [7].



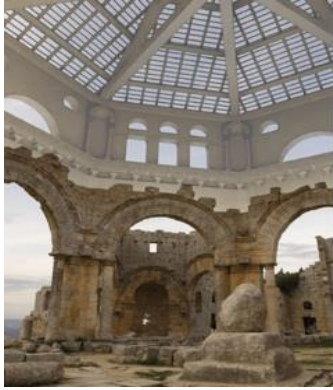
الشكل (3-4): بعض تقنيات تثبيت الكاميرا أثناء التقاط الصور

3.1.2. مجالات استخدام المساحة التصويرية:

تتعدد مجالات استخدام المساحة التصويرية ومنها [17] :

- مجال الجغرافيك مثل الخدع السينمائية و تصميم الألعاب الثلاثية الأبعاد و نمذجة الأشخاص.....الخ،.
- في مجال تحريات الحوادث مثل إعادة تمثيل حوادث السيارات أو الطائرات....الخ،
- استخدام هذه النماذج الثلاثية الأبعاد الحقيقية في مجالات الرؤية بواسطة الحاسوب والزيارات الافتراضية للمدن و المواقع الرقمية مثل (google earth)

- نمذجة التماثيل والمنحوتات واللوحات الفنية ، كما هو موضح بالشكل (3-5).
- توثيق المعالم الأثرية ،بالإضافة إلى إعادة بناء واستكمال المعالم التي تعرضت للهدم بشكل كامل أو لبعض من أجزائها بأبعادها ونسبها الأصلية باستعمال الصور المتوفرة، كما هو موضح بالشكل (3-6).



الشكل (3-6):استكمال قبة كنيسة سمعان - حلب

[17]



الشكل (3-5):نموذج ثلاثي الأبعاد لتمثال

حجري [17]

3.1.3. مبادئ الحساب في المساحة التصويرية:

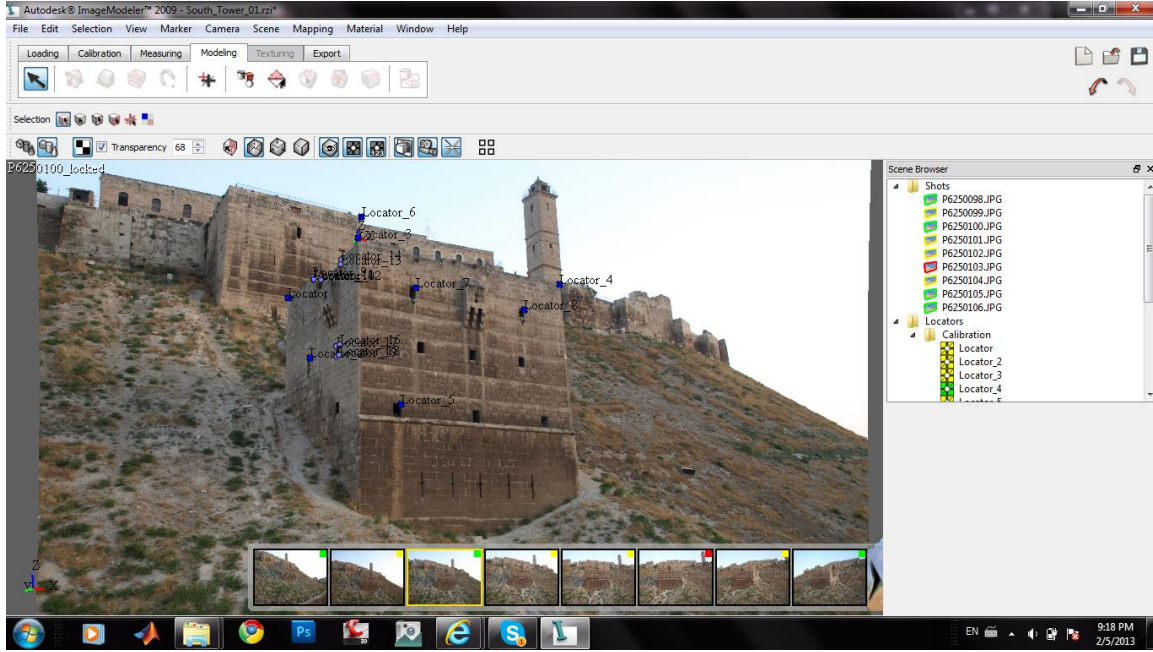
تعتبر هندسة الإسقاط هي نواة علم المساحة التصويرية، و للانتقال من صور رقمية إلى نموذج ثلاثي الأبعاد يجب الإلمام بعملية الإسقاط المنظوري والتحويل الهيموغرافي ملحق (2) و مبادئ حساب الإحداثيات الثلاثية الأبعاد ملحق (3) التي تعتمد بشكل أساسي على تحديد الوسائط الداخلية والخارجية للكاميرا. و تعرف الوسائط الداخلية والخارجية كما يلي [18].

• الوسائط الداخلية

و هي المواصفات الهندسية أو الداخلية للكاميرا وتكون ثابتة و محسوبة مسبقاً في الكاميرات المترية. أما في الكاميرات الغير مترية فيتم حسابها عن طريق برمجيات محددة و معروفة وسوف يتم التعرض للفرق بين الكاميرا المترية وغير المترية في الباب الثالث.

بغياب القيم الدقيقة للوسائط الداخلية للكاميرا يتعذر الحصول على قياسات صحيحة على الجسم النمذج بسبب تأثيرات تشوه العدسة إضافة إلى تشوه الشكل المنظوري. و يتم تحديد الوسائط الداخلية للكاميرا بعملية تدعى معايرة الكاميرا. و تتم المعايرة من خلال برمجيات تسمح بتحديد القيم الدقيقة لهذه الوسائط. من بين البرامج التي تقوم بعملية المعايرة نذكر برنامج ماتلاب (matlab) و هو يحتوي على Tool Box خاص بمعايرة الكاميرا. و يفرض البرنامج شروط

محددة لالتقاط الصور تتضمن تغطية الصور للوح المعايرة من جميع الزوايا والأطراف ضمن نسبة zoom ثابتة، ثم يتم إدخال هذه الصور ضمن البرمجية وإجراء خطوات محددة للحصول على القيم النهائية لوسائط الكاميرا.



الشكل (3-7): نتائج المعايرة لصور برج قلعة حلب الجنوبي (إعداد الباحثة)

كما يمكن الاستعاضة عن هذه البرمجية عندما تتوفر في برمجيات النمذجة عملية المعايرة مثل برنامج (photo modeler) الذي يعتمد في عملية معايرة الكاميرا على مجموعة من الصور الملتقطة للوح المعايرة و ذلك كخطوة أولى قبل البدء بعملية النمذجة. كذلك نجد برنامج (image modeler) والذي يعتمد على صور المشروع و لا حاجة لأخذ صور خاصة بلوح المعايرة. و تتم عملية المعايرة من خلال الالتقاط اليدوي لنقاط مميزة من الصور و مشتركة ضمن عدة صور. و يقوم البرنامج بأجراء المعايرة بشكل آلي أو يدوي بعد أخذ مجموعة كافية من النقاط. مع الأخذ بعين الاعتبار أننا بحاجة على الأقل إلى صورتين للبدء بعملية المعايرة و النقاط ثماني نقاط مشتركة في الصورتين و بحيث تكون إحداثياتها الفراغية لا تقع في مستو واحد .

إن إيجاد الوسائط الداخلية للكاميرا أو ما يعرف بمعايرة الكاميرا يعتبر أمراً مهماً في مجال الرؤية الثلاثية الأبعاد بواسطة الحاسوب لأن هذه الوسائط ضرورية لتمييز الخصائص البصرية والرقمية والهندسية لآلة التصوير بغية، من جهة أولى، حذف التشوه الهندسي الذي تسببه العدسات، و من جهة أخرى، حذف التشوه المنظوري [18].

• الوسائط الخارجية :

و هي الوسائط التي تحدد مكان وتوجيه الكاميرا بالنسبة لجملة إحداثيات معروفة ومحددة سواءً أكانت محلية أو مربوطة بالشبكة العامة. يتم تقدير هذه الوسائط من خلال إيجاد التحويل الذي يشمل الانتقال والدوران بين إحداثيات الكاميرا وجملة إحداثيات المشروع. و تدعى عملية حساب هذه الوسائط بالتوجيه الخارجي للكاميرا. ويتم تحديد عناصر التوجيه الخارجي للكاميرا (قيم مصفوفة التحويل) من خلال البرمجية التي تم اختيارها للقيام بعملية النمذجة. فأثناء عملية الانتقال الآلي أو اليدوي للنقاط المشتركة ضمن الصور يقوم البرنامج بحساب مصفوفات التحويل لكل الصور دفعة واحدة. و عند إضافة صورة جديدة إلى مجموعة الصور المعايير سابقاً يتطلب البرنامج بضع نقاط ثم يطلق عملية الحساب معيدا الحساب لكل الصور.

في برامج المساحة التصويرية الجوية يمكن أن يتألف التوجيه الخارجي من مرحلتين : التوجيه النسبي و التوجيه المطلق. أما في برامج المساحة التصويرية الأرضية نجد أن البرامج لا تتضمن هاتين المرحلتين و يمكن أن تكون معايرة الكاميرا تتضمن التوجيه الخارجي.

و يطلق اسم التوجيه النسبي على عملية ربط عناصر التوجيه الخارجي لصورتين مأخوذتين من آلة تصوير واحدة ضمن جملة إحداثيات واحدة و محلية خاصة بالصورتين. أما التوجيه المطلق فيقوم على ربط جمل إحداثيات جميع الصور مع إحداثيات المشروع أو الإحداثيات العالمية.

عند الانتهاء من معايرة الكاميرا يجب الانتباه إلى قيمة الرواسب وتعرف بأنها المسافة مقدرة بالبكسل بين النقاط ثنائية البعد المتوضعة في الصورة ، والنقاط ثلاثية البعد المستنتجة من قبل البرنامج ، فمثلا إن كانت القيمة المتبقية بكسل واحد هذا يعني أن النقطة الفراغية على مسافة بكسل واحد من النقطة المطابقة لها والتي كانت قد حددت على الصورة من قبل ، وإن قيمة الخطأ تتعلق بدقة تعيين مواقع نقاط المعايرة على الصور ، فكلما كنا أكثر حذراً في تعيين مواقع النقاط كانت المعايرة أفضل [18] .

3.1.4. التوثيق المعماري والأثري باستخدام المساحة التصويرية:

يمكن تصنيف طرق التوثيق في محورين أساسيين:

- التوثيق ثنائي البعد : والذي يقوم على إنتاج صور مقومة أو مصححة حيث يمكن استخلاص المعلومات والقياسات الثنائية البعد منها بدلاً من القياس على أرض الواقع لإعادة الرسم والتوثيق، وبالتالي يمكن بهذه الطريقة اختصار الوقت و الكلفة اللازمة للعمل. و يستخدم هذا التوثيق في حالة الواجهات المستوية حيث تكون البروزات سطحية.

- التوثيق الثلاثي البعد : الذي يؤمن قياسات ثنائية وثلاثية البعد و يؤدي إلى إنتاج نموذج ثلاثي الأبعاد و يستخدم في مجالات عديدة تتعدى مجال التوثيق المعماري والأثري. وسوف نعرض في الفقرات اللاحقة شرحاً مفصلاً عن كلا نوعي التوثيق.

3.1.4.1. التوثيق الثنائي البعد :

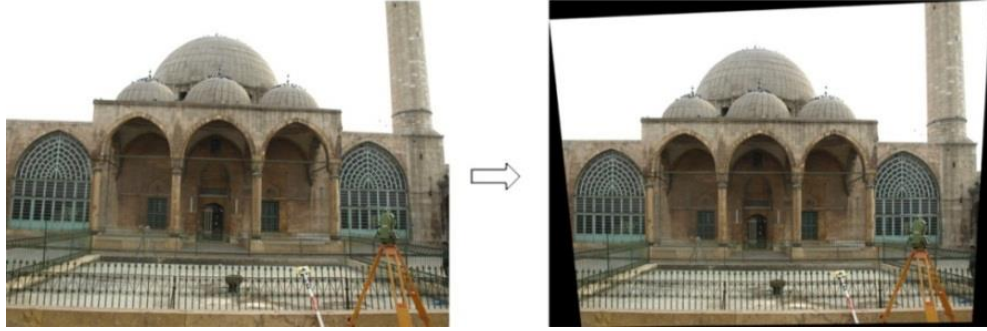
تعتمد عملية التوثيق الثنائي البعد بشكل أساسي على حذف التشوه الموجود ضمن الصور بنوعيه : التشوه الناتج عن عدسة الكاميرا و التشوه المنظوري الناتج عن عملية الإسقاط المركزي للصورة بزاوية مائلة على الواجهة. و بحذف هذه التشوهات نستطيع الحصول على صورة ذات نسب صحيحة مطابقة للواقع نستطيع أن نستخلص منها أبعاداً صحيحة لعناصر الصورة عن طريق رسمها بمساعدة برمجيات الرسم بمعونة الحاسب. تعتمد هذه العملية بشكل أساسي على حساب إحداثيات مجموعة من النقاط المحددة ضمن الصور بواسطة محطة رصد متكاملة تضمن دقة هذه الإحداثيات ثم تتم معالجتها ضمن البرمجيات مثل (photo modeler) أو (matlab) وذلك بعد ربط هذه الإحداثيات بالصور.

• التوثيق الثنائي البعد باستخدام الصور المصححة (rectified image):

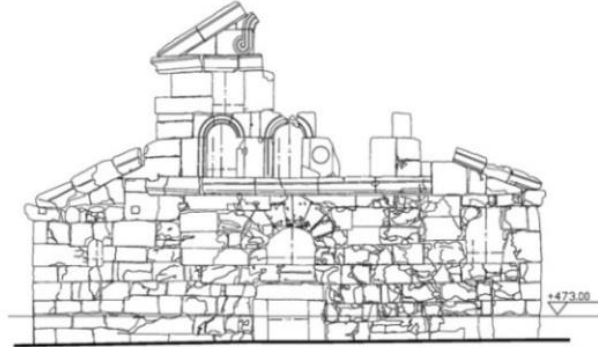
يعتمد استخدام الصور المصححة [18] على إعادة تشكيل أحد مستويات الجسم ذو الرؤية المنظورية (perspective view) ليصبح ضمن رؤية عمودية (orthographic view) ويجب معرفة إحداثيات ثلاث نقط مساحية على الأقل لتقويم المستوي المطلوب. وبشكل عام، يمكن أن يبقى في الصور المصححة لواجهة بعض التشوه الناتج عن العدسة في حال عدم حذفه، أما تغيرات أو تشوهات الشكل المنظوري فتتم معالجتها بالكامل. كما هو موضح بالشكل (3-8).

تعتبر هذه الطريقة الأسهل والأكثر انتشاراً في عمليات التوثيق حيث يكفي لتقويم صورة واجهة ما أن نحدد بدقة إحداثيات ثلاث نقاط من مستوي الواجهة إما عن طريق محطة رصد و إما بقياسات يدوية. ثم نقوم بإزالة التشوهات المنظورية مباشرة (مكان توضع الكاميرا - تشوهات الإسقاط) دون الحاجة لمعرفة وسائط الكاميرا الداخلية أو مواصفات الكاميرا في حال إهمال تشوهات العدسة. لذلك لا ينصح باستعمال كاميرات ذات تشوه عدسة كبير كتلك التي تملك عدسات ذات زاوية رؤية عريضة (wide angle) أو عدسات من نوع (fisheye lenses). نستفيد من الصور المصححة عند توثيق السطوح الثنائية البعد التي لا تحوي على تغيرات كبيرة في البعد العمودي على السطح. حيث يمكن استخراج القياسات الثنائية البعد والنسب من هذه

الصور بشكل صحيح [10]. كمثال على التوثيق الثنائي البعد نعرض في الشكل (3-9) تصحيح صورة تحوي على تشوهات لواجهة كنيسة في قلعة سمعان. حيث يظهر الجدار بشكل مستوي. نشاهد على اليسار الصورة قبل عملية التصحيح و على اليمين المخطط الثنائي البعد المرسوم اعتمادا على الصورة المصححة.



الشكل (3-8):صورة مصححة لواجهة الجنوبية لجامع العثمانية -المديرية العامة للآثار والمتاحف، المدينة القديمة ، حلب



الشكل (3-9):واجهة لكنيسة شمال شرق الواقعة ضمن مجمع قلعة سمعان مشروع تطوير قلعة سمعان -المديرية العامة للآثار والمتاحف المدينة القديمة،حلب

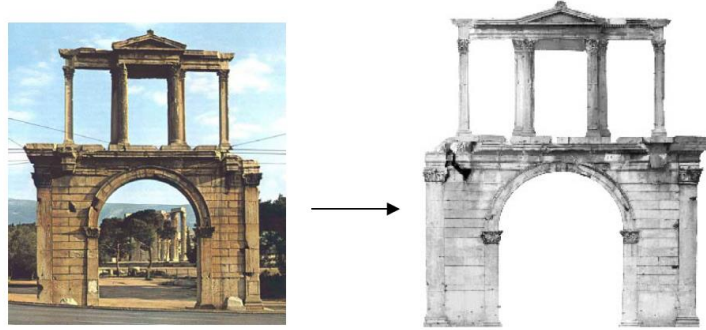
في بعض الحالات حيث تتألف الواجهة من مستويات متعددة و متقاربة أو تحوي بروزات غير عميقة فيمكن تصحيح كل مستوي على حده وجمع هذه المستويات مع بعضها من خلال الاستعانة ببرامج التصميم بمعونة الحاسب كما هو موضح بالشكل (3-10).



الشكل (3-10):صورة مصححة لمنزل المصطفى السامي في اسطانبول تم التقاط مجموعة من الصور وتصحيحها وجمع هذه الصور باعتماد على برامج التصميم بمعونة الحاسب للحصول على النتيجة النهائية [18]

• التوثيق الثنائي البعد باستخدام الصور المقومة (Orthophoto):

هو إسقاط للجسم الثلاثي الأبعاد الحقيقي المتعدد المستويات على مستوي وذلك باستعمال نظرية الإسقاط المتوازي، بحيث تكون جميع أشعة الإسقاط موازية لبعضها البعض وعمودية على المستوي بحيث تبقى الخطوط المتوازية متوازية و الحجم لا يتغير بتغير بعد المسافة عن مستوي الإسقاط. وبالتالي الصورة المقومة (photo Ortho) هي صورة حُذفت منها التشوهات المنظورية الأمر الذي يجعل لها نفس الخصائص الهندسية ثنائية البعد للجسم المصور بالإضافة إلى أنها تحوي على نفس المقياس والنسب، الأمر الذي يجعل إمكانية القياس من الصورة ممكناً [19]. تستخدم الصور المقومة للحصول على تفاصيل ثنائية البعد للسطوح بالإضافة للصور المستخدمة للإكساء ضمن برامج النمذجة الثنائية والثلاثية الأبعاد حيث تقوم هذه البرمجيات بربط صور إكساء (texture images) مع سطوح النموذج مما يزيد في واقعية النماذج المستخدمة. هذه الطريقة تؤمن الإسقاط الصحيح لكل مستوي من مستويات الجسم على مستوي واحد صحيح على خلاف الصور المصححة التي تؤمن إسقاط صحيح لمستوي واحد فقط كما هو موضح بالشكل (3-11).

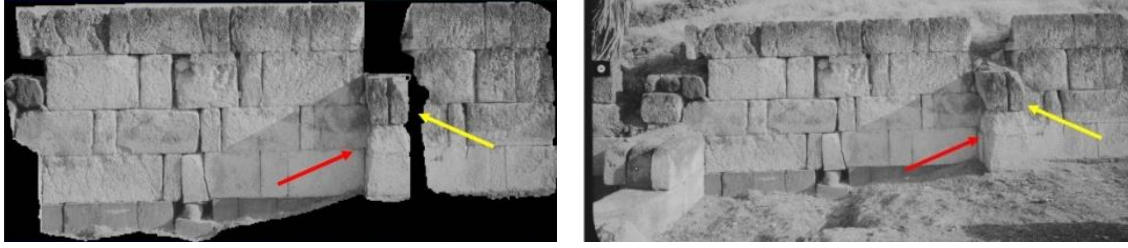


الشكل (3-11): صورة مقومة لبوابة ادريانوس Gate of Adrianos في أثينا [19]

إن استخدام الصورة المقومة يشبه الحصول على نموذج مكسي ثلاثي الأبعاد بوضعية الرؤية العامودية (orthographic view) مما يؤمن معرفة القياسات الثنائية البعد لجميع مستويات الجسم والنسب الصحيحة للجسم المصور ولكن تتطلب هذه العملية معرفة نموذج رقمي للواجهة DSM لإرجاع النموذج إلى الحجم الحقيقي. ويتألف النموذج الرقمي من شبكة منتظمة من النقاط ثلاثية الأبعاد. وتجر الإشارة إلى أن إنتاج صورة مقومة لا يتم إلا بعد تحديد الوسائط الداخلية والخارجية للكاميرا.

نلاحظ من خلال الصور المقومة اختفاء أجزاء من صورة يعزى هذا الاختفاء إلى أن هذا الجزء من الصورة يقع على مستوي متعامد مع مستوي الإسقاط كما هو موضح بالشكل (3-12). كما

نلاحظ ظهور رقع سوداء على الصورة المقومة نتيجة عدم تغطية الصورة لكافة أجزاء المستويات.



الشكل (3-12): صورة مقومة لبقايا جدار خارجي نلاحظ وجود بقع سوداء نتيجة الإسقاط العمودي لجميع المستويات [19]

3.1.4.2. التوثيق الثلاثي البعد:

إن المحور الثاني الذي تقوم عليه عملية التوثيق المعماري والأثري باستخدام المساحة التصويرية هو التوثيق الثلاثي البعد و سوف يتم تقسيمه تبعاً إلى عدد الصور المستخدمة (صورة وحيدة- صورتين - صور متعددة) وسوف يتم استعراض المبادئ العامة لكل حالة.

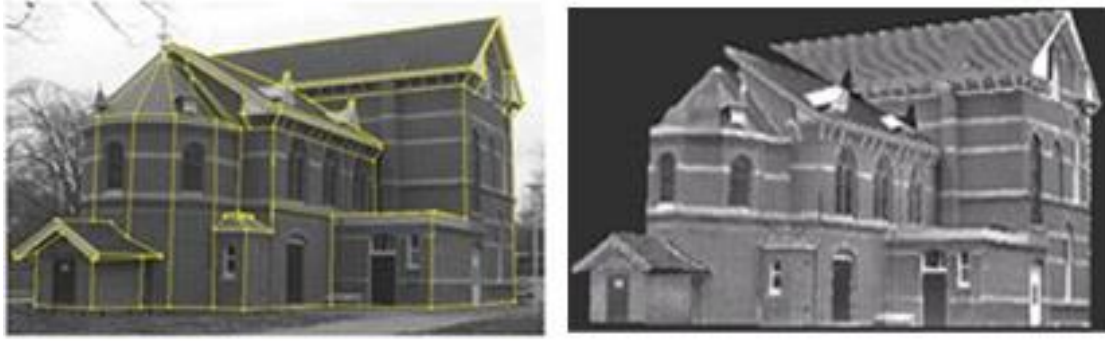
• التوثيق الثلاثي البعد باستخدام صورة وحيدة (single photo):

تعتبر هذه التقنية مفيدة جداً وخاصة في حالات المعالم التاريخية التي تعرضت بكاملها أو أجزاء كبيرة منها للتهدم وبحاجة إلى إعادة بناء أو استكمال ولا يوجد صور حديثة لها لمنتقطة من عدة زوايا. حيث أن الفكرة الرئيسية للحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد من صورة وحيدة تقوم على:

• توجيه حواف الجسم وسطوحه بالتوازي والتعامد.

• ربط هذه السطوح والحواف من خلال نقاط التحكم [20].

من خصائص الإسقاط المنظوري أن الحواف المستقيمة تبقى مستقيمة ضمن مستوي الإسقاط (الصورة) لكن هذا الإسقاط لا يحافظ على التوازي بين الحواف المستقيمة المتوازية وذلك لأن منحى الحواف المتوازية على الواقع تتقاطع على الصورة بنقطة تدعى نقطة الفرار. من خلال الشكل (3-13) نلاحظ أن جميع الخطوط التي من المفترض أن تكون متوازية تتقاطع في نقطة فرار واحدة. لذلك توجيه سطح الواجهة يمكن أن يستنتج من اتجاهات حوافها (حافتين على الأقل)، كما أن معلومات التعامد تساعد في تحديد التوجيه في حالة عدم وجود حواف متوازية كافية [20].



الشكل (2-13): الحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد من صورة وحيدة [20]

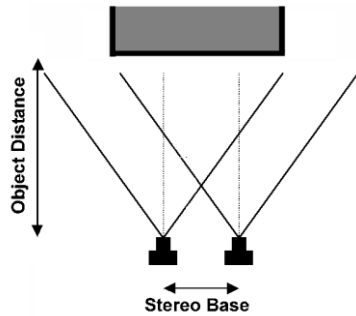
ومن ثم يتم ربط كل أربعة خطوط لتشكل مستويات مرتبطة مع بعضها عن طريق المعالجة الرياضية للقيود الهندسية (التوازي، التعامد، تلاقي الخطوط المتوازية المنحى بنقطة فرار مشتركة) بالإضافة إلى العلاقات الطوبولوجية بين السطوح (الاحتواء، التجاور...) يمكن تمثيل السطوح وحساب إحداثيات الذرى المشكلة لكل سطح.

• التوثيق الثلاثي البعد باستخدام صورتين:

ويتم حسب الطريقتين التاليتين: التوثيق بواسطة الرؤية التجسيمية- التوثيق بواسطة زوج من الصور

التوثيق بواسطة الرؤية التجسيمية (Stereographic processing):

يتشكل النموذج الثلاثي الأبعاد من زوجين من الصور ملتقطتين للجسم إما باستخدام كاميرا ذات عدستين تقوم بالتقاط الصورتين بشكل متزامن كما في الشكل (3-14) أو عن طريق كاميرتين تلتقطان صورتين متراكبتين للجسم مع مراعاة شروط هندسية معينة [18].



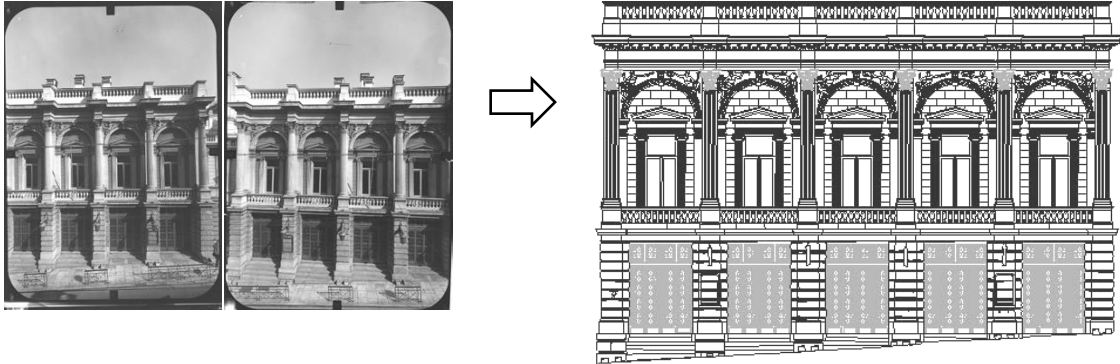
الشكل (3-14): الكاميرا المستخدمة في التقاط زوج من الصور انياً [18]

المبدأ الأساسي فيها يشابه الرؤية بواسطة العين البشرية حيث أن صورتين متقاطعتين ملتقطتين للجسم من الموقع نفسه وبنسب تداخل محددة يمكن أن يخلق رؤية تجسيمية ثلاثية الأبعاد لهذا الجسم.

و يقوم المبدأ الهندسي لهذه العملية على تحديد الإحداثيات الثلاثية الأبعاد لنقطة ما من خلال تقاطع شعاعين في الفراغ. و فيما يلي الشروط الهندسية الواجب مراعاتها لتمثيل الأجسام ذات شكل ثلاثي الأبعاد بالاعتماد على تقنيات التصوير الستيرييو [20]:

- معظم أجزاء الجسم يجب أن تكون ظاهرة في الصور وتتقاطع الصور بنسبة تداخل عرضي 60%.
- اتجاهات محاور الكاميرات يجب أن تكون متوازية لكي نحصل على مشاهد تجسيمية جيدة.
- تستعمل عموماً الكاميرات الهندسية المعاييرة محددة الوسائط الهندسية الداخلية والخارجية ذات تشوه عدسة صغير.
- لضمان نتائج جيدة يفضل أن تكون نسبة المسافة بين مواقع الكاميرات إلى بعد الكاميرا عن الجسم بين 1:5 و 1:15.
- كما أن نتائج الاستخدام تتلخص ب:
- إيجاد مخططات ثنائية البعد للواجهات الأثرية المعمارية. كما هو موضح بالشكل (2-15)

- نماذج ثلاثية الأبعاد للمباني والمواقع الأثرية.

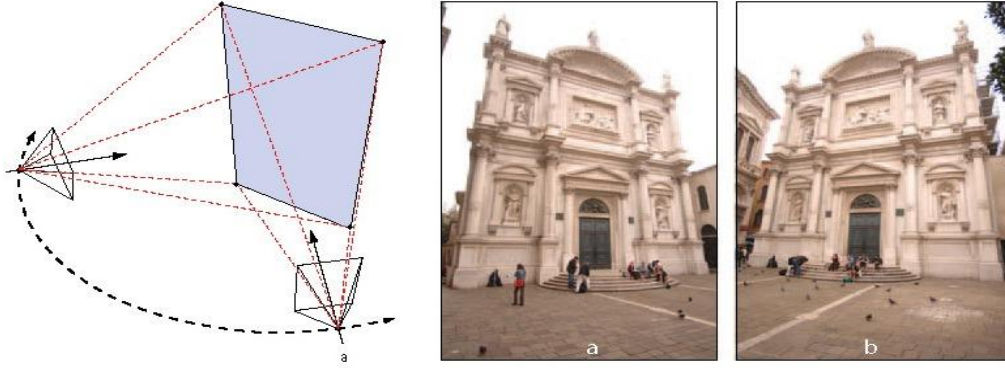


الشكل (2-15): صورتين ملتقطتين أنياً للحصول على نموذج ثنائي البعد لواجهة المسرح الوطني في أثينا [18]

التوثيق باستخدام زوج من الصور:

المبدأ الأساسي [18] فيها يقوم على أن كل نقطة ثلاثية الأبعاد تتحدد من تقاطع شعاعين فراغيين ،ولذلك فإن الأشعة الصادرة من موقعين مختلفين للتصوير متداخلين بنسبة محددة (تقريباً 60%) تتقاطع مع بعضها في نقطة ثلاثية الأبعاد من الجسم ،وهكذا يتم حساب الإحداثيات الثلاثية الأبعاد لجميع نقاط الجسم ويتشكل لدينا نموذج ثلاثي الأبعاد كما هو موضح ضمن الشكل (2-2)

16، وذلك حسب مبدأ الحساب الثلاثي الأبعاد المفصل ضمن الملحق (3) .

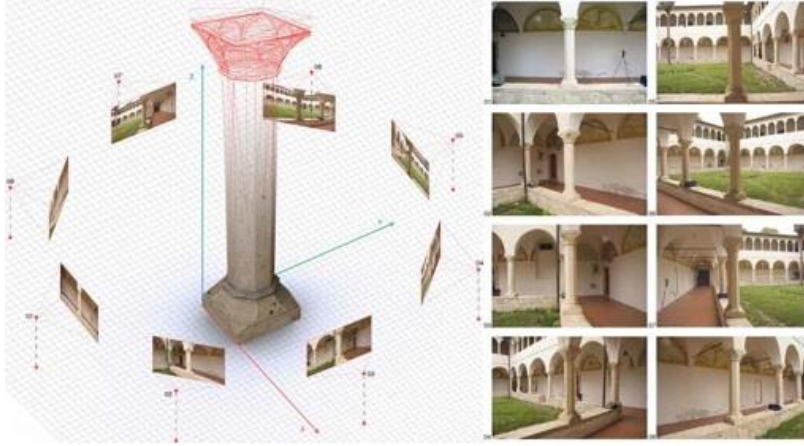


الشكل (2-16): التقاط زوج من الصور لتشكيل نموذج ثلاثي الأبعاد [18]

• التوثيق الثلاثي البعد باستخدام صور متعددة:

لن يكفي في الكثير من الأحيان استعمال زوج ستيريو وحيد من الصور لإعادة بناء مبنى أو موقع معقد يحوي على العديد من التفاصيل. لذا فإن عدداً أكبر من الصور يجب أن يستعمل لتغطية كامل المبنى أو الموقع.

يقوم المبدأ الأساسي [21] لعملية التوثيق الثلاثي البعد على حساب إحداثيات نقطة في الفراغ اعتماداً على مساقطها في الصور و ذلك بتمرير أشعة من المساقط و من مراكز الإسقاط بحيث تتقاطع في النقطة المراد حساب إحداثياتها. وهذا الأمر متعلق بشكل كبير بمواقع آلات التصوير، وهذا يعني أنه ليس من الضروري البحث عن أزواج صور متوازية، متقاربة، عمودية، أفقية، مائلة بل هو مزيج ملائم من الكاميرات والعدسات يتم عن طريق إيجاد حل متوافق لجميع عناصر توجيه الصور (معرفة الوسائط الخارجية) بعد معايرة الكاميرا (معرفة الوسائط الداخلية) كما هو موضح بالشكل (3-17). ثم يتم استخدام برمجيات خاصة للنمذجة تعتمد أما على تمثيل الحدود (Boundary Representation–B-rep) أو بناءً على الهندسة الحجمية (Constructive Solid Geometry CSG) أو على توليد غيوم نقطية كما سوف يتم تفصيله ضمن الفقرة التالية.



الشكل(3-17):انشاء نموذج حتمي للعمود من خلال مجموعة من الصور[21]

وفي كل من الحالتين السابقتين (استخدام صور متعددة أو صورتين) يتم انتقاء عدد من النقاط المشتركة بين التي يجب معرفة إحداثياتها حسب شكل الجسم وعدد المستويات فيه ومقدار التفاصيل الموجودة. حيث يتم تحديدها إما بطريقة آلية أو نصف آلية أو يدوية و ذلك حسب نوع البرمجية المستخدمة[21]:

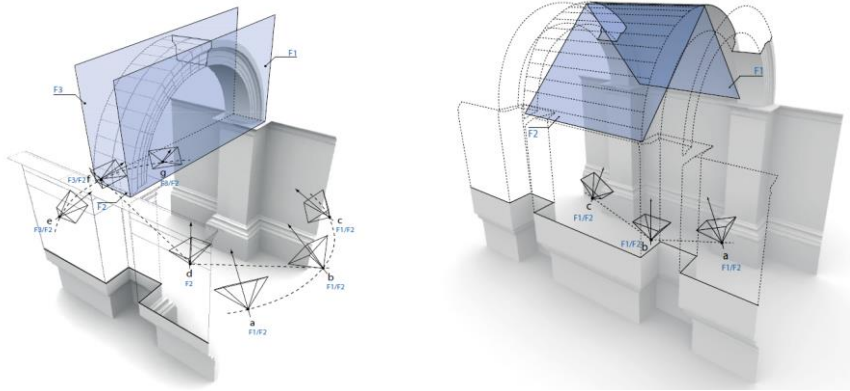
- الطريقة الآلية: يتم اختيار النقاط المميزة تلقائياً ضمن البرنامج دون تدخل المستخدم.
- الطريقة نصف الآلية: يتم اختيار النقطة على الصورة الأولى من قبل المستخدم ويقوم البرامج بتحديد النقطة المقابلة لها في الصور الأخرى ثم يقوم بحساب إحداثياتها في الفراغ.
- الطريقة اليدوية : يقوم المستخدم بتعيين مساقط النقطة في الصور ثم يقوم البرنامج بحساب الإحداثيات في الفراغ.

وبالتالي يمكن أن ينتج لدينا غيمة من النقاط في حال كان الجسم معقد الشكل (تمثال- زخرفة حجرية) أو عدة نقط فقط في حال شكل بسيط (واجهة ذات مستو واحد لا تحوي على مستويات متعددة أو بروزات....الخ). كما أن نتائج الاستخدام تتلخص في إيجاد مخططات ثنائية البعد للواجهات الأثرية المعمارية و نماذج ثلاثية الأبعاد للمباني والمواقع الأثرية.

إن معايير النقاط الصور في حال استخدام صور متعددة أو فقط زوجين من الصور هي[21]:

- يجب أن تكون معظم أجزاء هذه الأجسام ظاهرة في الصور وتتقاطع هذه الصور بنسبة تداخل عرضي 60% و ليس بالضرورة أن تكون محاور الكاميرات متوازية.

- في حالة الصور المتعددة يفضل أن نحصل على الأقل على ثلاث صور ملتقطة من ثلاث زوايا مختلفة لكل جزء أو مستوي من جسم كما في الشكل (3-18). وعدد الصور بشكل عام غير محدد ولكن يتبع لدقة التفاصيل المطلوبة وإمكانية الجهاز والبرمجية المستخدمة.



الشكل (3-18): مواقع آلات التصوير بالنسبة للشكل المعماري [14]

- في حالة الصور المتعددة أو زوج من الصور ليس هنالك نسبة محددة بين موقع الكاميرا وبعد الكاميرا عن الجسم. ويختلف البعد عن الجسم حسب طبيعة الموقع ودقة التفاصيل الموجودة ضمن الجسم.

- يجب الحصول على زوايا جيدة بين الصور: نحاول أن نجعل الزاوية بين محوري التصوير قريبة من 90 درجة.

- يجب تأمين فاصل مناسب بين الأفق والشاقول: من أجل الحفاظ على زوايا قريبة من القائمة بين الصور و يجب تأمين الفصل الجيد بين محطات جهاز التصوير أفقياً و شاقولياً. أي يجب ألا نجعل المحطات كلها في مستو واحد.

- يفضل ان تتشارك الصور بنسبة (zoom) واحدة، ولكن تفرض طبيعة الموقع أحياناً ودرجة التفاصيل الموجودة فيها أن يكون هنالك تغير بدرجة ال (zoom) لذلك يجب مراعاة هذا الأمر عند معايرة الصور حسب نوع البرمجية فإما أن تتم معايرة الصور بشكل منفصل أو أن يتم التأكد من تفعيل خيار أن الصور لا تتشارك بنسبة (zoom) واحدة ضمن برمجية العمل.

- يجب التقاط العديد من الصور واستخدام المناسب منها

• وبعد الحصول على الصور الأساسية يمكن القيام بما يأتي:

- الاقتراب من العنصر للحصول على تفاصيل أكبر.

- الابتعاد كثيراً من أجل تطويق العنصر أو محيطه.
- التقاط صور بين المحطات المخطط لها سابقاً و التقاط صور أعلى و أسفل المحطات المخطط لها.
- يجب مراعاة التصوير ضمن فترة محددة من النهار منعا لحصول تناوب لوني بين الواجهات أو وجود ظلال تصعب معالجتها في مراحل لاحقة و يفضل أن تتم عملية التصوير عند وجود غيوم أو عند الصباح الباكر قبل الشروق.

3.1.5. خطوات العمل التوثيقي باستخدام المساحة التصويرية :

وبشكل عام للحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد باستخدام المساحة التصويرية لدينا عدد من الخطوات الرئيسية الموضحة ضمن الشكل (3-19) وتتضمن:



الشكل (3-19): مراحل العمل باستخدام تقنيات المساحة التصويرية

ولتوضيح فكرة العمل بشكل عام سوف يتم استعراض هذه الخطوات وفق تجربة توثيق نافورة دير سانت جابن [22]:

• المرحلة التحضيرية:

في مرحلة التحضير للعمل يتم اختيار الكاميرا المناسبة للعمل من حيث الدقة والنوعية، ويتم أيضاً في هذه المرحلة التحقق من معايرة الكاميرا بشكل صحيح. ،ويتم ضمن هذه المرحلة أيضاً التعرف إلى الموقع أو المبنى أو الجسم المراد نمذجته لوضع تصور عن كيفية التقاط الصور وتحديد نوعية البرمجية المستخدمة [22].

• العمل ضمن الموقع:

يتم ضمن هذه المرحلة أخذ عدد من القياسات اليدوية أو باستخدام محطة رصد متكاملة وذلك للتأكد من الدقة التي سوف يتم التوصل إليها، بالإضافة إلى لزوم هذه القياسات من أجل وضع القيود الهندسية اللازمة (قيد الزاوية والمسافة) للحصول على القياسات الصحيحة أثناء القيام بعملية النمذجة، كما يتم ضمن هذه المرحلة التقاط الصور وفق معايير التي تم ذكرها سابقاً.

ضمن التجربة العملية لتوثيق نافورة دير سانت جابن تم التقاط الصور بشكل يغطي جميع الأجزاء الداخلية والخارجية من الأفواس والقبب والأعمدة المزينة... الخ، وتم اعتماد 14 صورة لتغطية الشكل الخارجي و 8 صور للشكل الداخلي والذي ساعد على التقاط الصور بشكل جيد هو وجود

هذا المعلم ضمن فضاء مفتوح [22] والشكل (3-20) يوضح عدد مجموعة الصور الملتقطة.



الشكل (3-20) بعض الصور الملتقطة لنافورة دير سانت جابن [22]

• العمل المكتبي :

بعد زيارة الموقع يتم تحديد البرمجية التي سوف يتم استخدامها حسب طبيعة الموقع ودرجة التفاصيل الموجودة فيه، وفي أغلب الأحيان عندما يكون الموقع بمساحة كبيرة يتم تقسيم المشروع إلى عدة أجزاء يتم من خلاله نمذجة كل جزء على حدى. ثم يتم جمع هذه النماذج في النهاية ومعالجتها. تم اعتماد برمجية (image modeler) لتوثيق هذا المعلم بالاعتماد على مبدأ الهندسة الحجمية [22]. و ينقسم العمل المكتبي إلى قسمين النمذجة و الاكساء :

1. النمذجة: تشترك جميع برامج النمذجة بخطوات عامة يمكن تفصيلها كما يلي [23]:

○ التأكد من معايرة الكاميرا بشكل صحيح ،وفي حال كانت عملية معايرة الكاميرا تتم من خلال برمجيات النمذجة فيجب التأكد منها من خلال مراجعة رواسب أخطاء نقاط المعايرة حيث يتم إعطاء تقرير يبين قيم هذه الرواسب بالبكسلات ويحدد البرنامج النقطة ذات الراسب الأكبر وذات الراسب الأصغر مع الخطأ المتوسط التربيع الأكبر والأصغر على القياس لكل نقط(يجب أن يكون الراسب أقل من 2بيكسل). ويتم انتقاء النقاط المستخدمة في عملية المعايرة بحيث تكون مميزة و ظاهرة في أكثر من صورة ونحتاج إلى 8 نقاط للقيام بعملية المعايرة بين 3 صور ونحتاج إلى أربعة نقط إضافية عند زيادة أي صورة جديدة.

○ ثم نقوم بتحديد اتجاه المحاور الثلاثية الأبعاد (المحاور الإحداثية) إذا لم يتم ربط

المشروع بنقاط مراقبة. وفي حالة التجربة العملية تم تحديد النقاط المشتركة بين الصور بسهولة بسبب طبيعة البناء الحجرية ، كما تم تحديد اتجاه المحور z بشكل مطابق لأحد الأعمدة ليضمن الحصول على زاوية قائمة أما المحورين x و y تم تحديد اتجاهاتهما بشكل يلائم الشكل المثلث للنافورة، والشكل (3-21) يوضح نقاط المعايرة واتجاه المحاور. ثم تم إضافة قيود الهندسية مثل:

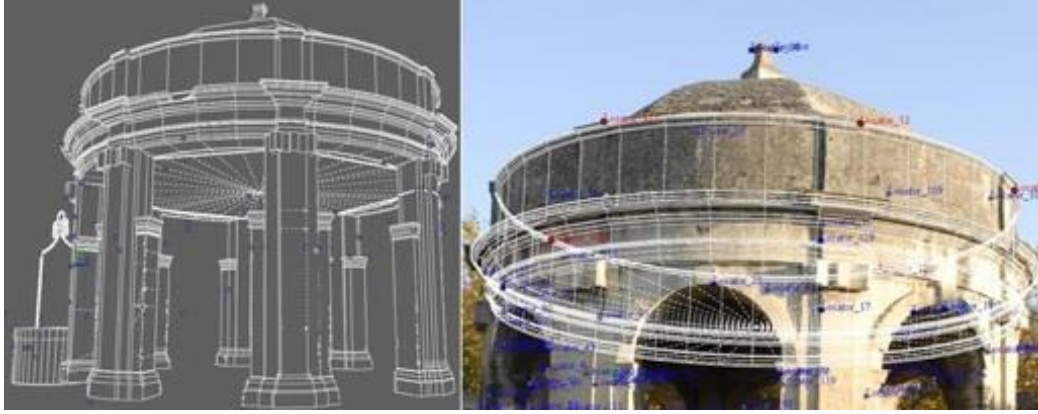
- قيد المسافة والذي يمكن تحديده من خلال القياسات المأخوذة من الموقع.
- وقيد الزوايا الذي يمكن تحديده من قياسات ضمن الموقع أيضاً.
- كما يمكننا إضافة الإحداثيات الفراغية الناتجة عن الأرصاد الحقلية في حال تم رصدها.



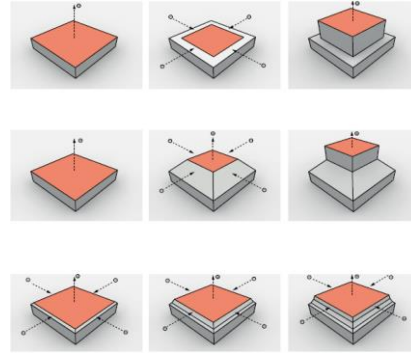
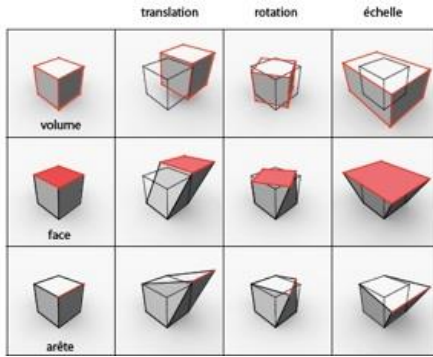
الشكل (3-21):نقاط المعايرة واتجاه المحاور x,y,z [22]

- التأكد من ظهور خطوط من خلال نقاط المعايرة تبين مواقع التصوير (تحديد الوسائط الخارجية للكاميرا) خطوط القطب (epipolar lines) للتأكيد على مواقع النقاط المشتركة.
- إضافة نقاط جديدة للمساعدة في عملية النمذجة ويختلف عددها حسب شكل الجسم ومقدار التفاصيل الموجودة فيه.
- البدء بعملية التشكيل الثلاثي الأبعاد للعناصر المشكلة للجسم حسب نوع البرمجية المستخدمة، والشكل (3-22) يوضح عملية الحصول على النموذج الثلاثي الأبعاد للنافورة. حيث تم استخدام العمليات المتاحة ضمن البرمجية مثل إضافة وجوه جديدة أو

تقسيم وجوه و إجراء عمليات رفع (extrude)، بالإضافة إلى عمليات التدوير والتحرك وتغيير المقياس... الخ والشكل (3-23) يوضح بعض العمليات المتاحة ضمن البرمجية والتي تمكننا من إنشاء النموذج حسب مبدأ الهندسة الحجمية.

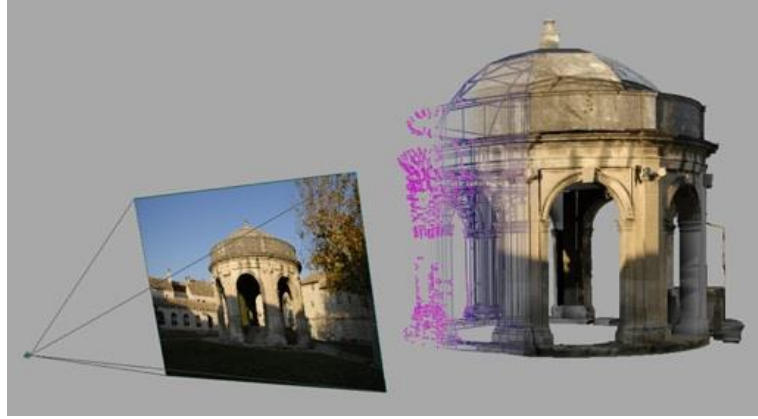


الشكل(3-22) النموذج الثلاثي الأبعاد النهائي(22)



الشكل(3-23): العمليات المتاحة ضمن البرمجية والتي تمكننا من إنشاء النموذج [21]

- الحصول على إكساء مناسب عالي الدقة من خلال الصور الملتقطة للجسم وتتم هذه العملية بشكل يدوي أو آلي حسب خيارات البرمجية المستخدمة، وضمن هذه التجربة تتم عملية الإكساء بشكل آلي يؤمن ربط الصور مع النموذج بعد تحديد الوجه الذي نريد إكساءه، واختيار الصور اللازمة، والشكل (3-24) يوضح اكساء النموذج النهائي، والفقرة التالية توضح مفهوم عملية الإكساء التي تتم من خلال برمجيات النمذجة.
- التأكد من مطابقة القياسات الناتجة مع الواقع: حيث يتم التأكد من دقة العمل وضمن هذا العمل التوثيقي لنافورة دير سانت جابن تم التوصل لدقة 1 ملم لكل 1 متر [22].

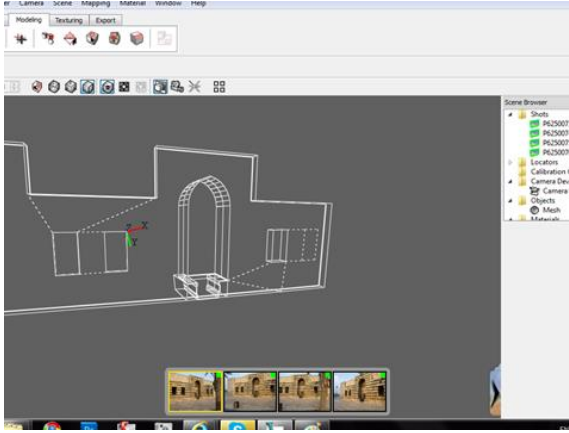


الشكل (3-24): يوضح اكساء النموذج النهائي [22]

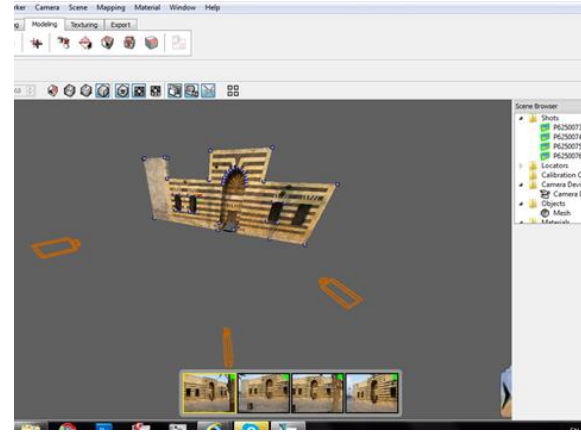
وكمثال آخر تم إنشاء نموذج كتلي للواجهات الخارجية لحمام يلبغا ضمن مدينة حلب باعتماد الخطوات السابقة وكانت حدود الدقة الناتجة هي 1,2 اسم والشكل التالي (3-25) يوضح الصور الملتقطة والنموذج الناتج.



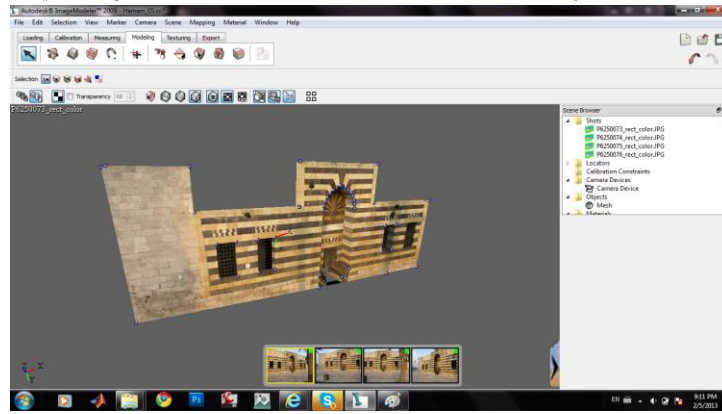
الصور الملتقطة للواجهات الخارجية



النموذج الكتلي الناتج



معايرة الكاميرا وظهور مواقع التصوير



النموذج الثلاثي الأبعاد المكسي الناتج

الشكل (3-25) خطوات تشكيل النموذج الثلاثي الأبعاد للواجهات الخارجية لحمام يلبغا - حلب (عداد الباحثة) أما بالنسبة لإمكانية الحصول على غيمة نقطية تحاكي الغيمة النقطية التي يمكن الحصول عليها من الماسح الليزري، فقد تم تصميم برمجية تحوي عدداً ضخماً من النماذج الأولية المحددة الوسائط والتي تتلاءم مع جميع أنواع آلات التصوير لتوليد غيوم نقطية يمكن استخدامها في عديد من المجالات مثل المجالات المعمارية والأثرية والجيولوجية... الخ، باعتماد في البداية على الخطوات الاعتيادية [24] بدءاً من إيجاد نقاط الربط المشتركة بين الصور ثم حساب التوجيه النسبي و المطلق من خلال هذه النقاط ثم القيام بعملية ربط بين هذه الصور بواسطة برمجية المختارة مثل برمجية (MicMac) كما هو موضح بالشكل (3-26) أو برمجية (photo modeler scanner) [24].



الشكل (3-26): موقع مواقع التصوير بالنسبة لموقع (piazzanavona) والغيمة النقطية الناتجة عن معالجة الصور باستعمال برمجية (MicMac) [24]

ولإنشاء غيمة نقطية تحيط بالجسم المراد توثيقه حسب برمجية (photo modeler) يجب اتباع الخطوات التالية [24]:

- للحصول على أفضل النتائج لتشكيل نموذج ثلاثي الأبعاد دقيق لا بد من التقاط أزواج من الصور متداخلة ومتوازية (نسبة التداخل تزيد عن 30%) دون تغيير في ارتفاع الكاميرا أو زاوية التصوير.
- يتم إدخال الصور إلى البرمجية وتحديد النقاط المشتركة بين الصور والقيام بعملية المعايرة لتحقيق أفضل النتائج بحيث تكون رواسب المعايرة أقل من 2 بيكسل.
- القيام بعملية تحسين للنموذج ذلك من خلال حذف تشوه العدسة ضمن الصور ويتم ذلك عن طريق أخذ نتائج معاير الكاميرا (وسائط الكاميرا الداخلية) وإعادة تصحيح أو تعديل كل بيكسل ضمن الصورة لإزالة تشوه العدسة.
- اختيار منطقة محددة من الصورة لتشكيل غيمة نقطية وذلك إما من خيار (DsmTrim) أو من خلال تحديد كامل حدود الصور أو من خلال تحديد المنطقة من خيارات (Surface Tool)
- يتم تفعيل خيار تشكيل الغيمة النقطية حيث يقوم بالبرنامج بالالتقاط كل زوج من الصور والقيام بعملية معالجة لنسب التداخل بين أزواج الصور.
- تتم عملية إنشاء غيمة نقطية بشكل آلي من قبل البرنامج باستخدام خوارزمية (N.NPATCH) والتي تقوم بعمل مطابقة لونية بين أزواج الصور لتشكيل الغيمة المطلوبة ضمن المجال المحدد من قبل المستخدم.

2. الإكساء:

بشكل عام يتم إكساء النموذج النهائي بواسطة عملية تسمى (texture mapping) ، وذلك لإعطاء رؤية واقعية للنموذج الثلاثي الأبعاد من خلال ملائمة الصور الملونة أو الصور بتدرجات اللون الفضي على وجوه النموذج الثلاثي الأبعاد [23].

وبمعرفة الوسائط الداخلية والخارجية وإحداثيات الصور لكل جزء مثلثي من سطح النموذج ، تتم ملائمة كل جزء مثلثي من الصورة على نفس الجزء المثلثي المقابل من النموذج الثلاثي الأبعاد ، بعد أن يتم تحديد عدد الصور التي تحوي الجزء المثلثي نفسها من النموذج بدقة ، لتتم عملية الملائمة بشكل آلي وصحيح.

وتتم عملية الملائمة وفق ثلاث خطوات :

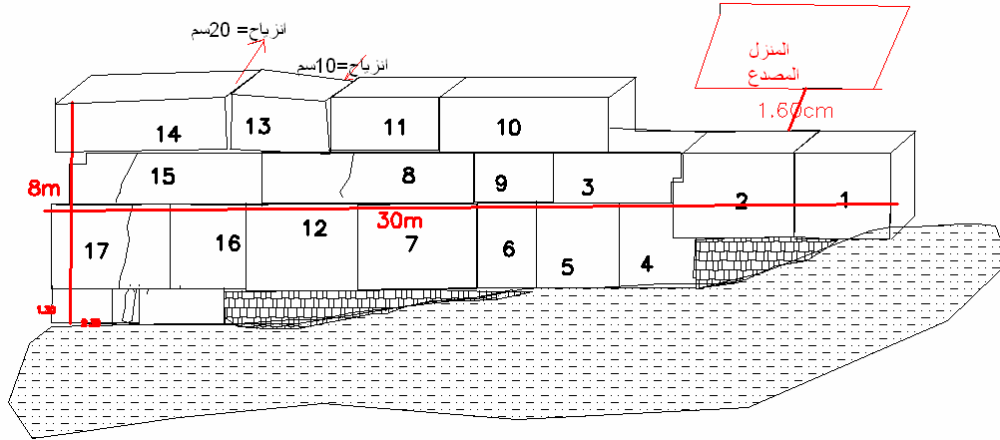
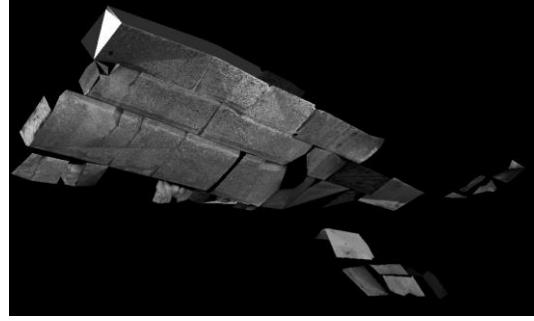
1. معالجة لتدرجات اللون الموجودة ضمن الصور وذلك لتحاكي ألوان البيئة الأصلية وذلك من خلال عملية فلترية لقنوات اللون المشكلة لكل صورة بشكل منفصل.
2. اختيار الصور ذات التكوين الهندسي الأمثل : حيث يتم اختيار الصور التي يظهر فيها الجزء الذي نرغب بإكسائه بمساحة أكبر لأنه يحوي معلومات إكساء أكبر وأدق وتتم هذه العملية بشكل آلي ضمن البرنامج المستخدم حتى يحصل إطباق نهائي للصور على كافة أجزاء النموذج الثلاثي الأبعاد المشكل.
3. يتم حساب قيم متوسطة الموزونة لقنوات اللون لجميع الصور التي تحوي أجزاء من الوجه نفسه الذي نقوم بعملية إكسائه ، وذلك لتقليص الاختلافات اللونية بين المثلثات المتجاورة و المشكلة لسطح النموذج و المأخوذة من صور مختلفة.

• المعالجة والتصدير:

بعد الحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد وبمقياس صحيح و بإكساء دقيق يتم خلال هذه المرحلة معالجة المشاكل المتعلقة بعملية الإكساء أي الأخطاء الموجودة ضمن الصور مثل وجود أشخاص - أشجار - عناصر الموقع، كما يتم إضافة بيئة مناسبة للنموذج ليتم إخراجها بشكل مناسب ضمن برامج الرفع الثلاثي الأبعاد مثل MAYA أو 3DMAX لوضع هذا النموذج ضمن:

- مواقع الزيارات الافتراضية على شبكة الإنترنت مثلاً.
- أو تصدير هذا النموذج إلى برامج التصميم بمساعدة الحاسب للحصول على نسخة رقمية .حيث يمكن استخراج مخططات معمارية أو إنشائية ثنائية البعد لجميع عناصر النموذج كما تم ضمن تجربة توثيق جدار أثري ضمن قلعة الحصن - صافيتا [5] الشكل (3-27) حيث

تمت عملية النمذجة الثلاثية الأبعاد لكامل الجدار 30*8,5م و الحصول على الصور باستخدام كاميرا رقمية نوع Kodak 8MP. و زرع نقاط ضبط وفق شبكة 2*2سم على طول الجدار وتمت عملية المعايرة والنمذجة بواسطة برمجية (photo modeler) والشكل التالي يوضح النموذج الثلاثي الأبعاد النهائي والمخطط الثنائي البعد الرقمي الذي يحوي كافة المعلومات الإنشائية التي تفيدها في عملية الترميم (الإنزياحات- التشققات -التهدمات....الخ) الذي تم الحصول عليه بعد التصدير إلى برنامج (autocad) .

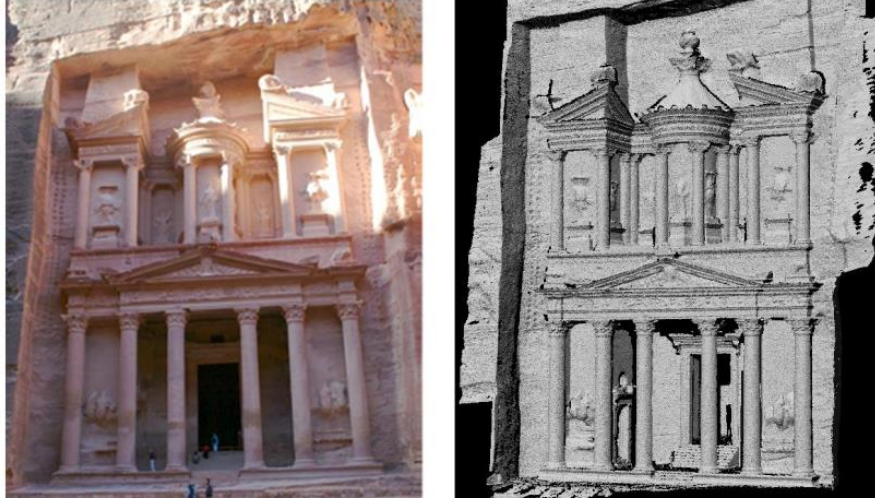


الشكل(3-27):صورة النموذج الأصلي والنموذج الثلاثي الأبعاد والمخطط الثنائي البعد التفصيلي الناتج عن

الحصول على صور اورثوفوتو مصدرة إلى برنامج (autocad) [5]

3.2. التوثيق المعماري باستخدام المسح الليزري:

لعبت تقنيات المسح الليزري دوراً أساسياً في عملية التوثيق المعماري والأثري ، حيث تعتبر من أهم التقنيات التي تستعمل في الحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد سواء من الأرض أو الجو، بسبب تمكنها من القياس السريع لعدد ضخم من النقاط الثلاثية الأبعاد الواقعة على سطوح العناصر المراد توثيقها أو نمذجتها على اختلاف حجم هذه العناصر ودرجة التفاصيل الموجودة فيها وموقعها (سواء كانت تمثال أو منحوتة أثرية أو موقعاً أثرياً كاملاً) ، وقد تم تطوير أجهزة المسح الليزري من أجل الحصول على المعلومات والبيانات الثلاثية الأبعاد المطلوبة ذات الدقات المتفاوتة التي تبدأ من رتبة المليمترات وبشكل سريع، كما هو موضح بالشكل (3-28)، بالإضافة إلى تطوير البرمجيات اللازمة لمعالجة هذه البيانات والمعلومات على اختلاف حجمها وتنوعها. ولهذا سوف نستعرض لمحة عامة عن الماسح الليزري من حيث أنواعه ومبدأ عمله واستخداماته في مجال توثيق التراث المعماري والأثري.



الشكل(3-28): غيمة نقطية تمثل واجهة في البتراء - الأردن ناتجة عن مسح الماسح

الليزري من 5 نقاط مختلفة[21]

3.2.1. تعريف الماسح الليزري:

يعتبر الماسح الليزري من أهم الأجهزة المستخدمة للحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد سواء من الأرض أو الجو، حيث يسمح بالحصول على القياسات الثلاثية الأبعاد مباشرة و بشكل سريع وذلك لمختلف الأجسام ضمن مختلف المواقع والبيئات وبدقات متفاوتة. ويعرف الماسح الضوئي[25]: بأنه الجهاز الذي يجمع نقاط ذات إحداثيات ثلاثية الأبعاد لأي منطقة محددة من سطح الجسم بشكل آلي وبنمط منظم وبمعدل عال من رتبة (مئات وآلاف النقاط كل

ثانية) وبنائج كاملة في وقت قصير، وهذه العملية يمكن أن تؤخذ من خلال تثبيت الجهاز على جسم متحرك مثل طائرة في حالة الرصد الجوي أو رصيف صناعي متحرك بالنسبة للرصد الأرضي أو تثبيت الماسح ضمن عدد من نقاط الرصد التي تؤمن تغطية الكاملة للجسم الممسوح كما هو موضح بالشكل (3-29).



الشكل (3-29): طرق تثبيت الماسح الليزري أثناء العمل في الموقع الأثري [25]

كما يعتبر المسح الليزري جهاز رصد آلي يعمل بدون عاكس يستخدم الأشعة الليزرية للحصول على القياسات الثلاثية الأبعاد ضمن حركة زاوية دقيقة ليشكل الجسم الممسوح كغيمة نقطية ثلاثية الأبعاد [26] وبشكل عام تعطي الغيمة النقطية عدداً كبيراً من النقاط نسبة إلى عدد اللازم لإتمام العملية بدلاً من نقاط متباعدة بشكل كبير كما في تقنيات المسح الطبوغرافي.

يتألف الماسح الليزري من الأجزاء التالية :

- قسم خاص بإصدار الأشعة الليزرية واستقبال الأشعة المنعكسة عن الجسم
- مرآة سريعة الدوران
- محركات الدوران الأفقي والشاقولي
- ثلاثية الأرجل للتمركز في نقطة محددة

وقد تم تصنيف أنواع الماسحات الليزرية حسب حجم العنصر المعماري أو الأثري المراد توثيقه والدقة المطلوبة ونطاق التشغيل المتاح كما في الجدول (4-1).

الجدول (3-1): نوع الماسح الليزري ونظام مسحه تبعاً للدقة ونطاق التشغيل [25]- [10] (إعداد الباحثة)

نطاق التشغيل	الدقة	مبدأ العمل	نظام المسح	الماسح الليزري
0,1 إلى 1م	50 ميكرون	تقوم الماسحات الليزرية التي تعتمد على مبدأ التثليث بإصدار أشعة الليزر التي تشكل بقعة أو نقطة على الجسم الممسوح، وتقوم الكاميرا الملحقة بالماسح بتحديد مكان البقعة	منصة الدوران rotation stage: تقوم بمسح الأجسام الصغيرة (التمثيل الصغيرة - قطع الموزاييك) التي تم أخذها من الموقع من خلال وضعها على	الماسحات الليزرية القائمة على التثليث (triangulation scanners)

		اعتمادا على البعد بين مصدر الأشعة والجسم. تسمى هذه الطريقة بالتثليث لأن نقطة أو بقعة الليزر ومصدر شعاع الليزر والكاميرا تشكل مثلث معرف الزوايا الذي نحصل من خلاله على القياسات المطلوبة	منصة الدوران وتثبيت الماسح لإنتاج بيانات تعطي نسخة طبق الأصل عن الجسم	
أقل من 0.5م	50 ميكرون		الذراع المتحركة arm mount : نقوم بمسح الأجسام التي لا يمكن نقلها من الموقع (التمثيل الثابتة - عناصر تزيينه ضمن الموقع) في هذه الحالة يتحرك الماسح ضمن مسار محدد والجسم يبقى ثابتا.	
0,1 إلى 25م	أجزاء من ملم		المرآة أو العاكس mirror/prism مسح سطوح صغيرة أو أجسام صغيرة ضمن موقعها	
من 2م إلى 100م	3-6ملم وصولا إلى اسم	هذا النظام يقوم على حساب الوقت الازم لرحلة نبض الليزر ونستفيد من هذا الوقت في حساب البعد بين الجسم والماسح وهذا النظام مناسب لتقنيات الترميم المعماري حيث يقوم بتوليد الألف النقط خلال دقيقة عن طريق انحراف أشعة الليزر عن الجسم الممسوح باستخدام مرآة أو عاكس	مناسب لمسح الواجهات الداخلية والخارجية ونستطيع من خلاله مسح 360 درجة أفقياً و180 عمودياً	الماسحات الليزرية القائمة على تحديد المسافة (terrestrial time of flight laserscanners)
من 2م إلى 100م عمودياً.	5ملم	يقوم على اختلاف زمن الإشارة بين نبض الليزر الصادر والوارد عن الجسم. ويكون عدد النقاط الملتقطة من رتبة المليون مما يقودنا إلى صعوبة في معالجة البيانات الناتجة بالنسبة للحاسب	مناسب لمسح الواجهات الداخلية والخارجية ونستطيع من خلاله مسح 360 درجة أفقياً و180 درجة شاقولياً	الماسحات الليزرية القائمة على مقارنة الطور: (comparison terrestrial phase laser scanners)
10م إلى 3500م	0.15م	ومبدأ العمل مشابه للمبدأين السابقين إلا أننا نضيف حساساً كملحق للماسح الليزري وذلك لحساب موقع وإحداثيات الطائرة أثناء عملية جمع المعلومات بالإضافة إلى استعمال تقنيات GPS	وتستخدم لاعطاء تشكيل أو نموذج لسطح الأرض. ونستفيد من هذا النوع من الماسحات في المسح الجوي للمواقع الأثرية وتكون النتيجة غيمة نقطية ثلاثية الأبعاد تماثل طبوغرافية الأرض نستطيع من خلالها الحصول على مخططات ثنائية البعد للموقع العام ذات أبعاد ومقياس صحيح	الماسح الليزري الجوي: (Airborne laser scanning)

3.2.2. المجالات الملائمة لاستخدام المساح الليزري:

• في المجال المعماري [6]:

الحاجة إلى نسخة رقمية عالية الدقة (من رتبة المليمترات) للجسم الممسوح باختلاف حجمه ودرجة تفاصيله لاستعمالها في:

- مجال التوثيق المعماري والأثري وأعمال الترميم الدقيق، كما هو موضح بالشكل (3-30).

- الحصول على مسح شامل للمواقع العامة للمباني أو المواقع الأثرية لتوظيفه في الدراسة التخطيطية، كما هو موضح بالشكل (3-31).

- الحصول على تحليل مكاني لا يمكن الحصول عليه من دون وجود كثافة عالية من الإحداثيات الثلاثية الأبعاد المرصودة مثال عن ذلك: الحصول على دراسة إنشائية لواجهة معمارية من خلال نموذج ثلاثي الأبعاد.

- تحويل النسخة الرقمية إلى نماذج رقمية ثلاثية الأبعاد تستخدم في مجال الجرافيك والزيارات الافتراضية ضمن مواقع الشبكة العالمية.

- استخدام نتائج المسح كمدخل من أجل نظم المعلومات الجغرافية التجارية من أجل معالجة لاحقة.

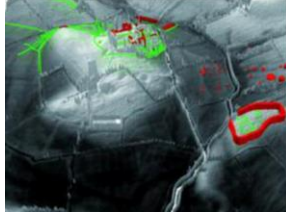
• في المجال الأثري [27]:

وتتلخص في الإمكانيات التالية:

• معرفة خواص الجسم المدروس مثل معدل الكثافة - طبقات المكون منها. مما يفيد بشكل كبير في الدراسات الأثرية، كما هو موضح بالشكل (3-32).

• مراقبة التغيرات الإنشائية والتصميمية التي تطرأ على الجسم بمرور الوقت بفعل عوامل مثل الجو والرطوبة... الخ، كما هو موضح بالشكل (3-33).

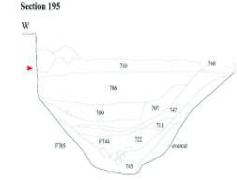
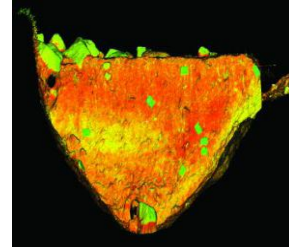
• العمل ضمن مقاييس مختلفة على اكتشاف ميزات أثرية هامة غير ملحوظة سابقاً بحيث تكون هذه التقنية أداة تفيد بإعطاء ملاحظات على المنحوتات الفنية الصغيرة (مقاييس صغيرة) وكذلك تسمح بمعرفة تضاريس سطح الأرض لمنطقة مغطاة بالأشجار (مقاييس كبيرة)، كما هو موضح بالشكل (3-34).



الشكل (3-31): استخدام الماسح الليزري في مسح المواقع الأثرية جوا مقاطعة لينكوشير في إنجلترا [27]



الشكل (3-30): استخدام الماسح الليزري في إيجاد تمثال شبيه لتمثال الإمبراطور كالجوليا [27]



الشكل (3-34): استخدام الماسح الليزري في مسح المواقع الأثرية جوا (مسح لتضاريس غابة دين في ويلشيري، إنجلترا) [27]

الشكل (3-33): استخدام الماسح الليزري في مسح المواقع التي تتغير بفعل عوامل الجو (تقييم تهديد الكساد الساحلي في دير ويتبي، إنجلترا) [27]

الشكل (3-32): من خلال الماسح تم الحصول على الشكل السابق مع معلومات حول معدل كثافة المواد للحفرية المكتشفة [27]

3.2.3. خطوات التوثيق المعماري باستخدام الماسح الليزري:

يتضمن التوثيق المعماري باستخدام الماسح الليزري عدد من الخطوات المحددة، وتختلف مبادئ العمل ضمن هذه الخطوات من مشروع توثيقي إلى آخر حسب نوع الماسح الليزري المستخدم وموقع العمل وإشكالياته بالإضافة إلى البرمجيات المستخدمة في معالجة النتائج

3.2.4. خطوات العمل باستخدام الماسح الليزري:

يبين الشكل (3-35) خطوات العمل بشكل عام وسوف يتم استعراض هذه الخطوات بالتفصيل حسب آلية العمل ضمن مشروع توثيق خان الشونة في مدينة حلب [7].



الشكل (3-35): مراحل العمل باستخدام تقنيات المسح الليزري

• المرحلة التحضيرية

في مرحلة التحضير للعمل يتم التعرف على جهاز الماسح الليزري المراد استخدامه في عملية المسح من حيث النوع وكيفية العمل، ويتم أيضاً في هذه المرحلة التحقق من وسائط الكاميرا الخاصة بإلغاء تشوه العدسات، وإجراء الحساب لمصفوفة تحويل إحداثيات قاعدة الكاميرا والتحقق من صحة هذه المصفوفة، وذلك لنقل الألوان من الصور إلى المشاهد بصورة صحيحة وسليمة، كما يتم ضمن هذه المرحلة التعرف على الموقع ومساحته والارتفاع العام ، بالإضافة إلى وضع تصور أولي عن مكان نقاط الرصد والنقاط القاعدية.

ضمن مشروع توثيق خان الشونة تم استخدام الأجهزة التالية [7]:

• الماسح الليزري نوع RIEGL LMS- Z 420i

• الكاميرا ذات النوع NIKON D100

• محطة رصد Topcon GTS 6011

• العمل ضمن الموقع:

في جميع الحالات التي تتطلب عملية مسح يجب تأمين تغطية كاملة للجسم من ناحية البنية والموقع وأحياناً يتطلب الأمر وجود أكثر من ماسح ضمن الموقع ، أو أن يتم المسح عن طريق نقل الجهاز إلى عدد من نقاط الرصد ، و هذا الأمر يتطلب ربط إحداثيات ومواقع هذه المواسح أو النقاط بجملة من الإحداثيات عالمية أو محلية عن طريق تشكيل شبكة تثليث أرضية بالطرائق الحقلية العادية ،وتعتبر هذه العملية ضرورية لحساب إحداثيات النقاط القاعدية، حيث أنه بالاعتماد على نقاط الربط القاعدية سيتم ربط النماذج المشكلة من الماسح الليزري مع بعضها البعض. و تتعلق دقة ربط تلك النماذج بدقة النقاط القاعدية، والتي بدورها تعتمد على نقاط شبكة المثلاثات، وبالتالي فإنه من المهم تحديد نقاط شبكة المثلاثات بدقة عالية، وإن الدقة المطلوبة في نقاط شبكة

التثليث لأعمال التوثيق هي (1 cm) من الناحية المستوية و (1 cm) من الناحية الارتفاعية، هذا ويتم العمل أثناء ربط النماذج على جملة إحداثيات محلية، وذلك للأسباب التالية[7]:

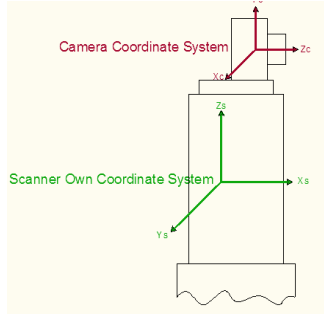
- اختزال إحداثيات النقاط الممسوحة مما يوفر الوقت وحجم التخزين وخصوصاً أن عدد النقاط يصل إلى مئات الآلاف في المسح الجزئي الواحد.
- يمكن الاستفادة من شبكة التثليث في حساب إحداثيات النقاط القاعدية التي سوف تفيد في توجيه النماذج الممسوحة.
- يتم ضمن هذه المرحلة عمل مسح شامل للموقع بواسطة المساح الليزري الذي تم اختياره ، وذلك وفق الدراسة التحضيرية لمكان نقاط الرصد والنقاط القاعدية وبعد إنشاء شبكة الربط.

• الأعمال المكتبية:

تتلخص بالخطوات التالية[7]:

حساب مصفوفة التحويل بين الكاميرا والمساح

تستخدم مصفوفة التحويل لنقل الألوان من الصور إلى المشاهد بشكل صحيح ودقيق. لهذا يتم حساب عوامل التحويل بين جملة إحداثيات الكاميرا المثبتة على الحامل الموجود فوق المساح (Camera Coordinate System) وجملة إحداثيات المساح الليزري (Scanner Own Coordinate System)، هذا و تدعى هذه العملية بمعايرة مصفوفة تحويل إحداثيات حامل الكاميرا (Mounting calibration) الشكل (36-3) [7].



الشكل (36-3)

إحداثيات الكاميرا بالنسبة للمساح[7]

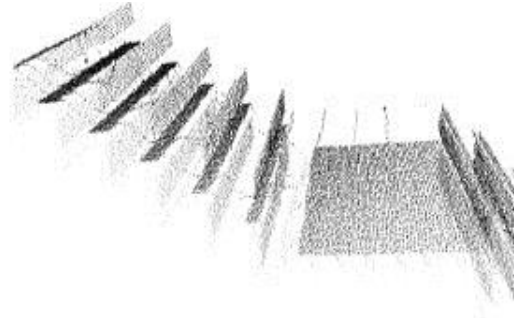
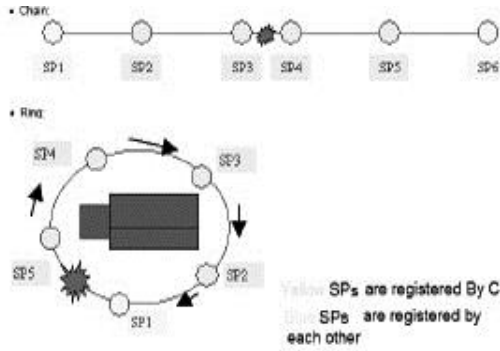
ربط النتائج Registration

عند القياس باستخدام المساح الليزري نحتاج عادةً إلى أخذ أكثر من غيمة نقطية حفاظاً على تجانس توزع النقاط على كامل النموذج، وهنا تبرز ضرورة ربط الغيوم معاً، أي توجيه هذه الغيوم بالنسبة لبعضها البعض، و بإمكاننا إتباع إحدى الطريقتين التاليتين لتوجيهها:

- ربط الغيوم اعتماداً على مجموعة من النقاط القاعدية الظاهرة على النماذج الممسوحة والمقاسة باستخدام المحطة المتكاملة ، بحيث يتم توجيه النماذج جميعها بالنسبة للجملة المحلية، وكنتيجة سيتم تحديد التوجيه بين هذه النماذج مع بعضها البعض.

- ربط الغيوم الممسوحة بالاعتماد على المناطق المشتركة فيما بينها، في هذه الطريقة نقوم باختيار عدد من النقاط الواضحة بكلا النموذجين الممسوحين ومن ثم حساب التحويل بين جمل الإحداثيات بين هذه النماذج .

عند ربط أكثر من نموذجين فإن الخطأ في ربط النماذج السابقة سينتقل إلى ربط جميع النماذج اللاحقة ، كما في الشكل(3-37) وذلك عند استخدام الطريقة الثانية، مما قد يؤدي إلى أخطاء كبيرة وواضحة في عملية الربط وخصوصاً عند الربط بشكل حلقة كما في الشكل(3-38)، لذلك في المشاريع التي تحتوي على عدد كبير من النماذج من المفضل استخدام طريقة النقاط القاعدية في الربط ، لأن أي خطأ في عملية الربط لا يؤثر بشكل مباشر في عملية الربط[7].



الشكل(3-38):انتشار الأخطاء مع الانتقال في الربط[7]

الشكل(3-37):أثر الخطأ في عملية الربط على المسافات البعيدة[7]

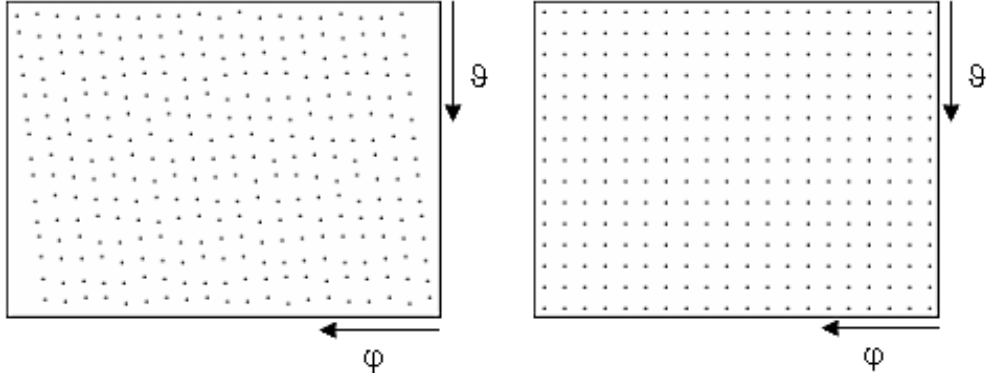
معالجة النتائج:

يصبح بالإمكان بعد الانتهاء من عملية الربط إجراء عملية المعالجة اللاحقة للنتائج ، بحيث يمكن بعد إجراء هذه المعالجة تصدير هذه المعطيات إلى برامج أخرى لاستثمارها، تتضمن هذه المعالجة الخطوات التالية [7] :

- إعادة تشكيل الغيوم النقطية الناتجة
 - تلوين الغيوم النقطية والإظهار النهائي للنقاط
 - دمج الغيوم النقطية الناتجة
 - تثليث الغيوم النقطية.
- وفيما يلي تفصيل لكل منها :

إعادة تشكيل الغيوم النقطية الناتجة Resample:

ضمن هذه المرحلة نقوم بإعادة تشكيل الغيوم للحصول على شبكة منتظمة من النقاط في النموذج الممسوح، حيث أن نتيجة المسح تكون على شكل خطوط حلزونية كما هو في الشكل (3-39)، وذلك بسبب دوران الماسح الليزري أثناء عملية القياس، تتم الاستفادة من عملية إعادة تشكيل النماذج بشكل أساسي عند المسح المتتالي، حيث تقاس نفس النقطة أكثر من مرة، مما يؤدي إلى التخفيف من الضجيج الناتج عن المسح، مما ينعكس إيجاباً على دقة النقاط، كما أنه بهذه الطريقة يمكن إلغاء القياسات التي من الممكن ظهورها نتيجة لحركة الأجسام أمام الماسح أثناء القياس، حيث يتم أثناء المعالجة حذف الأجسام القريبة واعتبار النقاط الأبعد هي النقاط التي تعبر عن الجسم المقاس، كما أنه ممن الممكن الاستفادة من إعادة تشكيل النماذج عند المسح الوحيد بالتخفيف من الضجيج عند عمل شبكة بأبعاد تقسيم أكبر من الدقة المطلوبة [7].



الشكل (3-39): إعادة تشكيل النماذج [7]

تلوين الغيوم النقطية والإظهار النهائي للنقاط.

ويتم ذلك عن طريق استخدام برمجيات متخصصة في تلوين نواتج المسح الليزري ويتم ضمن هذه المرحلة استخدام مصفوفة تحويل بين الكاميرا والماسح ويمكن أن تظهر أخطاء في عملية التلوين ناتجة عن أخطاء في المصفوفة أو اختلاف زوايا النظر (إضاءة داخلية تؤدي إلى انعكاس الضوء على بعض المناطق من الجسم مما يؤدي إلى إعطاء ألوان مغايرة للواقع) كما هو موضح في الشكل (3-40) [7].



الشكل(3-40): النموذج بعد تلوين النقاط. [7]

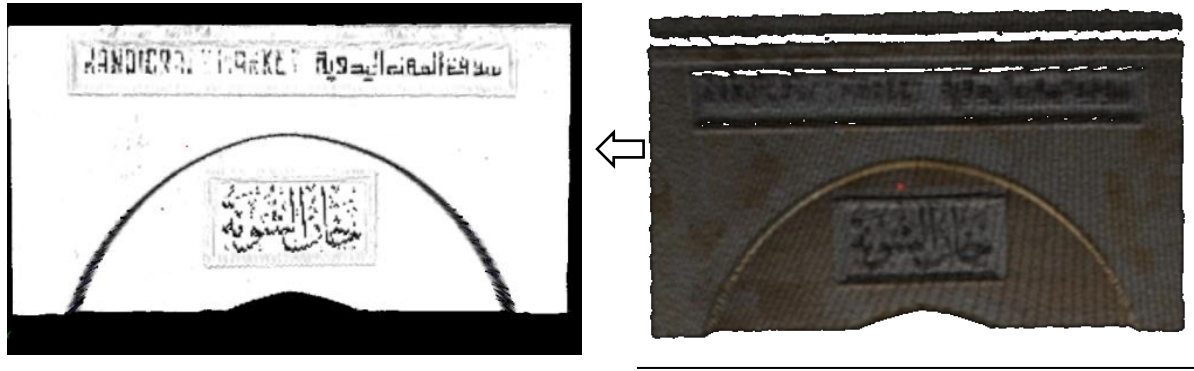
دمج الغيوم النقطية الناتجة وتثليثها:

بعد حساب مصفوفات التوجيه ، يمكن دمج النماذج معاً في نموذج واحد والشكل (3-41) يوضح النموذج النهائي ،ولتشكيل نموذج رقمي يتم تثليث الغيمة النقطية الناتجة عن الدمج عن طريق عمل شبكة مثلثات من الغيمة النقطية الناتجة (شبكة تثليث غير المنتظمة TIN) باستخدام البرمجية المناسبة والتي تقوم على عمل شبكة مثلثات بين النقاط، أما الشكل (3-42) يوضح الغيمة النقطية قبل وبعد تحويلها إلى شبكة مثلثات [7] .

وأيضاً نحتاج إلى عدد من العمليات بعد توليد شبكة وذلك لملء الفراغات الناتجة عن معلومات ناقصة. ونستطيع الحصول من خلال هذا الناتج على مخططات ثنائية البعد ومقاطع وبروفيلات وهذا الأمر يتطلب خبرة ومهارة عالية لأنها ليست عملية آلية بل تتطلب تدخل الدارس للحصول على المخططات اللازمة.



الشكل(3-41):النموذج النهائي لخان الشونة[7]

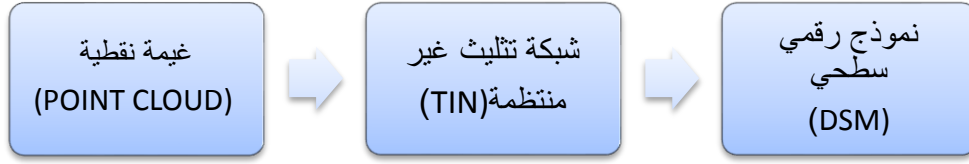


الشكل(3-42): من غيمة نقطية إلى شبكة تثلث [7]

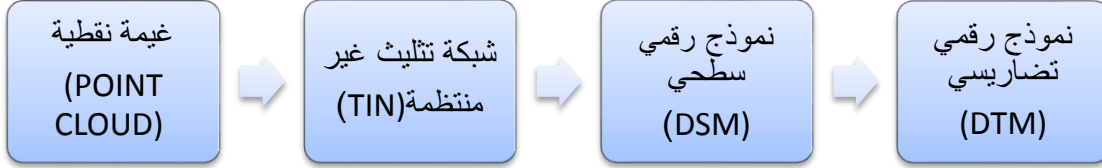
أما في حالة المسح الجوي وسواءً كان المسح متحركاً أو ثابتاً يجب أن تتم معايرة الكاميرا بشكل صحيح وذلك لضمان دقة النقاط التي تم مسحها، والخطوة الأولى تتضمن تصنيف نقاط الغيمة الناتجة عن عملية المسح باستعمال الخوارزميات النصف آلية، ويتم تصنيف النقاط بناءً على طبيعة مواد البناء وشدة انعكاس الشعاع الليزري وطبيعة ارتداده، بعد ذلك يتم تحويل شبكة المثلثات الغير منتظمة الناتجة عن الغيمة النقطية (TIN) إلى شبكة مربعات (Interpolated Grid) للحصول على نموذج رقمي سطحي (DSM) بحيث يمثل كل عنصر ضمن الشبكة بارتفاع في تضاريس الأرض كما هو مبين في الشكل (3-43) ويعتبر استعمال تقنية (GIS) مع هذه الشبكة أمراً أساسياً [29] ثم بعد ذلك يتم تحويل النموذج إلى نموذج رقمي لتضاريس الأرض (DTM) والشكل(3-44) و (3-45) يوضحان خطوات الحصول على النموذج النهائي السطحي أو التضاريسي.



الشكل(3-43):من نموذج سطحي رقمي (DSM) إلى نموذج تضاريسي رقمي (DTM) [29]



الشكل (3-44): خطوات الحصول على نموذج رقمي (أعداد الباحثة)



الشكل (3-45): خطوات الحصول على نموذج تضاريسي (اعداد الباحثة)

الإكساء (Texture)

وبعد ذلك يتم تلوين التثلث أو ما يسمى Texture (إكساء بواسطة الصور) يجب أن تكون الصور خالية من تشوه العدسات، ونلاحظ أنه بنتيجة الإكساء تبدو النماذج أفضل من الناحية الجمالية، كما أنها تبدو مشابهة للواقع بشكل أكبر كما هو موضح بالشكل (3-46)، ومن المفترض أن يكون المنتج النهائي للنموذج على هذا الشكل، إلا أن وجود أخطاء في عملية إنشاء المتلثات قد يجعل بعض أجزاء المشهد تبدو باللون الأسود [7].



الشكل (3-46): واجهة خان الشونة بعد عمل اكساء (Texture) (7)

لا بد عند الانتهاء من تنفيذ هذه الخطوات من التأكد من دقة النموذج الذي تم الحصول عليه وذلك من خلال استعمال القياسات المساحية التي تم الحصول عليها ضمن الموقع وفي هذه التجربة تم الحصول على دقة للنموذج النهائي تساوي إلى 2.7 سم

4. الفصل الرابع: اعتبارات استخدام تقنيات المساحة التصويرية والمسح الليزري في العمل التوثيقي:

وسوف يتم استعراض هذه الاعتبارات والمقارنة بينها وفق ما يلي:

• الأجهزة المستخدمة:

وسوف يتم التعرض لأسس اختيار آلات التصوير والمساحات الليزرية من حيث: النوع والكلفة والبرمجيات الضرورية لتفعيل هذه الأجهزة بشكل صحيح.

• الدقة :

وسوف يتم المقارنة بين كل من الدقة التي من الممكن التوصل إليها في حال استخدام أحد التقنيتين و العوامل التي تؤثر على زيادة الدقة في كل من الحالتين.

• الكلفة:

تتم المقارنة بين كلفة كل من الأجهزة والبرمجيات المستخدمة في كل من التقنيتين.

• السرعة:

سوف تتم مقارنة بين التقنيتين على أساس الوقت اللازم لإنجاز العمل التوثيقي (العمل الحقلي والمكتبي) ضمن حدود المساحة الواحدة .

• مؤهلات كادر العمل :

و في هذه الحالة تتم المقارنة على أساس مؤهلات كادر العمل المطلوبة للعمل ضمن هذه التقنيات والتي تمكنه من إنجاز العمل بشكل علمي و صحيح.

• طبيعة الموقع:

وضمن هذا البند يتم التعرض للإشكاليات والصعوبات التي يمكن أن يفرضها موقع العمل عند استخدام إحدى هذه التقنيتين.

لهذا سوف يتضمن هذا الباب فصلين الأول نشرح فيه عناصر او مفردات المقارنة ثم نورد في الفصل الأخير تجربة عملية للتوصل إلى نتائج المقارنة النهائية.

4.1. اعتبارات استخدام تقنيات المساحة التصويرية في العمل التوثيقي :

4.1.1. نوع آلة التصوير أو الكاميرا المستخدمة:

تعتبر آلات التصوير الرقمية الأداة الرئيسية في عملية التوثيق باستخدام المساحة التصويرية حيث تصنف آلات التصوير إلى آلات تصوير مترية و غير مترية، لكل منها مجموعة من السلبيات والإيجابيات يجب مراعاتها عند اختيار آلة التصوير [32].

الكاميرات المترية : هي الكاميرات محددة الوسائط الداخلية (البعد المحرقى- تشوه العدسة -أبعاد الحساس- مركز العدسة) بشكل دقيق من قبل الشركة الصانعة. و كانت الكاميرات المترية القديمة تحوي على شبكة نقاط مراقبة داخل الكاميرا لإرجاع الفيلم أو الصورة المطبوعة إلى وضعها الأصلي أثناء التصوير. و بعد انتشار التصوير الرقمي لم يعد هناك حاجة لشبكة النقاط الداخلية. الكاميرات غير المترية : هي الكاميرات الرقمية التجارية المتوفرة بأشكال متعددة و بتقنيات مختلفة تبعاً للمستخدم من كاميرات تجارية بسيطة مرورا بكاميرات نصف احترافية إلى كاميرات احترافية ملحق (4). وتكون الوسائط الداخلية للكاميرا غير معرفة في هذه الحالة. و للاختيار بين الكاميرا المترية وغير المترية يجب مراعاة الاعتبارات التالية:

- **الكلفة:** يعتبر سعر الكاميرا المترية مرتفعاً نسبياً مقارنة بالكاميرات الغير المترية، وسوف نتعرض للكلفة بالتفصيل في بند الكلفة.
- **البرامج المستخدمة:** تقوم الشركة الصانعة للكاميرات المترية بتزويد المستخدم ببرامج تعمل فقط على الصور الملتقطة من كاميرا نفسها و تسمح بمعالجة خاصة للصور تتعلق بالكاميرا و لا تتوفر في بقية البرامج. أما في حالة الكاميرا غير المترية لا يوجد برنامج محدد يتم استخدامه للعمل على الصور الملتقطة الأمر الذي يضطر المستخدم لانتقاء برمجية عامة تناسب عمله.
- **إمكانية التكبير و التصغير (zoom):** الكاميرا المترية لا تحوي على إمكانية التكبير و التصغير كون البعد البؤري للعدسة ثابت. بينما يتوفر في الكاميرات غير مترية الاحترافية إمكانية التكبير و التصغير وذلك تبعاً لحجم الجسم الملتقط الأمر الذي يفيد في عدم التقيد بالمسافة بين الجسم المنمذج والكاميرا. على سبيل المثال يمكن من نقطة واحدة رصدة لقطتين: الأولى صورة عامة للواجهة والثانية باستعمال عدسة ثانية لالتقاط التفاصيل المعمارية. لكن في هذه الحالة سوف نضطر للمعايرة في كل مرة نغير فيها zoom.
- **طريقة المعايرة :** في حالة الكاميرا المترية تكون الوسائط الداخلية للكاميرا مدخلة مسبقاً وليست بحاجة لمعايرة. أما في حالة الكاميرات الغير مترية لا يمكن اعتماد الصور

الملتقطة في عملية النمذجة ثلاثية الأبعاد إلا بعد معايرة دقيقة للوسائط الداخلية للكاميرا (33) و ذلك بسبب تغير البعد البؤري للعدسة مع كل عملية فتح و إغلاق للكاميرا.

4.1.2. دقة العمل بتقنيات المساحة التصويرية:

تعرف دقة الصورة ملحق(5) بعدد البيكسلات في الملم المربع ضمن الحساس ملحق(4) وكلما زاد عدد البيكسلات كلما زادت دقة الصورة ووضوحها، ولكن زيادة دقة الصورة بشكل مبالغ فيه يؤدي إلى زيادة في حجم الصورة مما يمكن أن يسبب بطئاً وصعوبة في التعامل مع برمجيات النمذجة وهذا التعريف يقودنا إلى مصطلح أدق وهو الدقة التمييزية: وهي عدد البيكسلات اللازمة لتمييز الجسم بشكل واضح ويعبر عنها بوحدة البيكسل الأمر الذي يتحدد بالمسافة اللازمة لتمييز الجسم بشكل مناسب[8]، الشكل(4-1) يوضح دور الدقة التمييزية عند رسم التفاصيل المعمارية. الدقة التي يمكن التوصل لها عند العمل بهذه التقنية تبدأ من ملم وحتى 5 سم[9]، وتعتبر دقة الصورة الناتجة عن الكاميرا الرقمية أحد العلامات المهمة في اختيار الكاميرا أثناء عملية التوثيق حيث تشكل دقة الصورة العامل الأكبر في تحديد دقة النموذج و التفاصيل المراد استخلاصها من الصور ، إضافة إلى جودة إكساء المنتج النهائي من عملية النمذجة. و تجدر الإشارة إلى أن دقة الصورة تتغير حسب بعد وقرب الكاميرا عن الجسم المصور حيث تزداد بازدياد القرب عن الجسم والعكس صحيح. لهذا فعندما تكون المسافة ثابتة (أي عندما لا نستطيع الاقتراب من الجسم) و أن دقة الكاميرا ضعيفة فسوف نحتاج هنا إلى كاميرا أخرى ذات حساس أكبر. كذلك تعني دقة الصورة وضوح الوانها. و هذا الأمر يتعلق بأمور عديدة و منها مساحة البيكسل الواحد ضمن الحساس و جودة العدسات. فمساحة البيكسل تؤثر طردياً على نقاوة الصورة كون نسبة الضجيج تقل مع ازدياد سطح البيكسل. أما جودة العدسات فتؤثر من ناحية إعادة تركيز الأشعة في نقطة واحدة (البيكسل) و عدم تشتتها و بالتالي على نقاوة الصورة[8].



الشكل(4-1) :دقة الصورة في تمييز التفاصيل(زخرفة من مذبح كنيسة سمعان - حلب) - (اعداد الباحثة)

4.1.3. كلفة العمل بتقنيات المساحة التصويرية:

تعود كلفة العمل بشكل أساسي إلى كلفة الكاميرا المستخدمة وكلفة البرمجيات اللازمة لعملية

المعايرة والنمذجة :

- كلفة آلة التصوير أو الكاميرا: وتتحدد بسعر الكاميرا وملحقاتها (البطارية - العدسات - الحامل) الذي يتحدد حسب نوعها سواءً كانت مترية أو غير مترية، مثلاً سعر الكاميرا المترية من نوع rollei ذات دقة 3.2 يبلغ من \$7,000 و حتى \$10,000 مع البرنامج الملحق بها، بينما الكاميرا غير المترية التجارية من نفس الحساس يبلغ سعرها من \$100 إلى \$250 وذلك بتاريخ سنة 2012 [35]. و الاحترافية منها يبلغ سعرها \$500-1000 وبشكل عام يمكن استخدام أي كاميرا متوفرة شريطة أن تتم المعايرة بشكل صحيح وتكون الدقة الكاميرا مناسبة للعمل حسب ما تم ذكره ضمن البند السابق.
- سعر البرمجيات المستخدمة : وتتحدد بسعر البرمجيات اللازمة للمعايرة (إذا كانت الكاميرا غير مترية) بالإضافة إلى سعر البرمجيات اللازمة لإنشاء النموذج الثلاثي الأبعاد وتعتبر كلفة هذه البرمجيات منخفضة بشكل عام حيث يبلغ سعر كل من برنامج image modeler أو photo modeler بحدود من 200 وحتى 375 \$ بتاريخ 2012 (33)، وهذه البرمجيات كفيلة بالقيام بعملية المعايرة والنمذجة معاً.

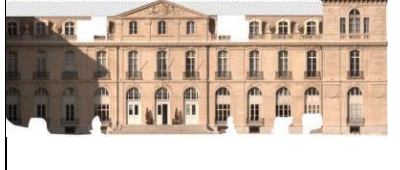



4.1.4. سرعة العمل بتقنيات المساحة التصويرية:

- الزمن اللازم لإنجاز عملية التوثيق باستخدام المساحة التصويرية يتحدد حسب ما يلي [30]:
- **العمل الحقلّي** : ويتبع إلى حجم الجسم أو الموقع الذي نريد توثيقه، وتتضمن مراحل العمل الحقلّي أخذ قياسات يدوية أو بواسطة محطة رصد متكاملة و تصوير كامل الموقع بحيث نغطي كل التفاصيل وبنسب تداخل محددة.
 - **العمل المكتبي** : إن الدقة المختارة لعملية التصوير تلعب دوراً في تحديد حجم الصور، بالإضافة إلى أن زيادة حجم الصور وعددها (حسب حجم الموقع وحسب كمية التفاصيل) يؤدي إلى زيادة في عدد ساعات العمل التي تلزم لمعالجة الصور و لإظهار النموذج بشكل كامل.

يبين الجدول التالي عدد ساعات العمل ضمن المكتب وعدد الصور الملتقطة بالنسبة للمساحة الكاملة للموقع.

جدول (1-4): عدد ساعات العمل الحقلية والمكتبية وعدد الصور بالمنطقة والمساحة العامة للجسم [30][21]
(اعداد الباحثة)

النموذج الثلاثي الأبعاد	صور الجسم	وصف النموذج
		النتيجة: نموذج ثلاثي الأبعاد للواجهات الخارجية وصور مقومة المساحة: 20x15x15 m عدد الصور الملتقطة: 160 صورة عدد ساعات المعالجة: 8 ساعات
		النتيجة: نموذج ثلاثي أبعاد للواجهات الداخلية المساحة: 20x30x15m عدد الصور الملتقطة: 200 صورة عدد ساعات المعالجة: 4 ساعات
		النتيجة: نموذج ثلاثي أبعاد لعنصر معماري المساحة: 30x150 cm عدد الصور الملتقطة: 150 صورة عدد ساعات المعالجة: 3 ساعة
		النتيجة: نموذج ثلاثي أبعاد لعنصر متحفي المساحة: 15x5x20 cm عدد الصور الملتقطة: 50 صورة عدد ساعات المعالجة: 1,5 ساعة

		<p>النتيجة: نموذج ثلاثي أبعاد لواجهة مبنى وصورة مقومة المساحة: 60x18 m عدد الصور الملتقطة: 40 صورة عدد ساعات المعالجة: 2 ساعة</p>
		<p>النتيجة: نموذج ثلاثي أبعاد لحفرية أثرية وصورة مقومة المساحة: 15x2 m عدد الصور الملتقطة: 180 صورة عدد ساعات المعالجة: 4 ساعة</p>

4.1.5. مؤهلات كادر العمل بتقنيات المساحة التصويرية:

ويتم تحديد هذه المؤهلات تبعاً للمؤهلات المطلوبة للتعامل مع أجهزة التصوير ولمعالجة البيانات الناتجة عن استخدام أجهزة التصوير للتوصل إلى النموذج الثلاثي الأبعاد النهائي وفيما يلي تفصيل عن ذلك [18]:

- **الرفع الطبوغرافي:** يتطلب مهندس مساحة أو مختص في المساحة للقيام بإنشاء شبكة تثليث محلية تستند عليها نقاط المراقبة المفترض زرعها في الموقع.
- **آلات التصوير:** يتطلب العمل التوثيقي باستخدام تقنيات المساحة التصويرية معرفة في مجال المساحة التصويرية (معايرة الكاميرا - وضعية النقاط الصور - البعد عن الجسم المصور - عدد الصور اللازمة.....الخ) بينما لا يتطلب التعامل مع آلة التصوير أو الكاميرا المستخدمة سواء كانت مترية أو غير مترية تخصصاً ولكن توفر خبرة احترافية في النقاط الصور يكون أفضل.
- **البرمجيات:** تتطلب عملية التوثيق والنمذجة الثلاثية الأبعاد استخدام برمجيات محددة ، سواءً كانت هذه البرمجيات مستخدمة لعملية المعايرة أو لإنشاء النموذج الثلاثي الأبعاد. مع أن التعامل مع هذه البرمجيات سهل ولا يتطلب تعمق كبير لكن ذلك يوجب معرفة خطوات العمل وفهم أدنى لبعض المصطلحات المتعلقة بالمساحة التصويرية و النمذجة الثلاثية الأبعاد. وإن عملية النمذجة في هذه البرامج تشابه إلى حد كبير التعامل مع برامج الرسم بمعونة الحاسب مثل AUTOCAD- 3D MAX- MAYA.

4.1.6. إشكاليات العمل ضمن الموقع:

تفرض طبيعة الموقع مجموعة من الإشكاليات تختلف من موقع إلى آخر ويمكن أن تؤثر على سير العمل من حيث الوقت اللازم لإنهاء العمل أو من حيث الدقة النهائية. كما تفرض صعوبة في المعالجة النهائية للنموذج مما يؤثر على الأكساء و الإظهار النهائي للموقع. و يمكن أن تتمثل الصعوبات فيما يلي:

- وجود أجسام متحركة (أشخاص) أو ثابتة (أشجار - نباتات متسلقة - مقاعد جلوس) تظهر عند النقاط الصور وتتم معالجتها ضمن برامج متخصصة بذلك.
- عدم وجود مسافة كافية للتصوير (شارع أو وجيبة ضيقة) لا تساعد على إظهار الواجهة أو العنصر المعماري بشكل كامل مما يسبب وجود تشوه كبير في الصور (التشوه المنظوري) يؤثر على الدقة النهائية للصور وصعوبة في معالجتها، بالإضافة إلى زيادة عدد الصور اللازم لتغطية الجسم بشكل كامل مما يسبب زيادة في عدد ساعات العمل.
- إن ارتفاع بعض المباني قد يسبب صعوبة في التصوير الأمر الذي يستدعي التصوير من مبان مجاورة أو استعمال رافعة لإتمام عملية التصوير.
- إن التباين اللوني الذي يظهر نتيجة الإنارة الطبيعية للموقع ويختلف من جهة لأخرى يؤثر على جودة الإكساء النهائي (اختلاف اللون - وجود الظلال). كما أن تغير موقع الظلال أثناء التصوير لا يسمح بأن تكون فترة التصوير طويلة مما يضطرنا للتصوير في ساعة معينة عدة أيام تبعا لحجم المشروع.
- أثناء العمل الحقل لسنا بحاجة إلى تيار كهربائي أو مولدات كما تعتبر معدات العمل خفيفة وسهلة النقل.

4.2. اعتبارات استخدام تقنية المسح الليزري في العمل التوثيقي :

تم تصنيف هذه الاعتبارات وفق التالي:

4.2.1. نوع الماسح الضوئي المستخدم :

يتحدد نوع الماسح الضوئي المستخدم وفق الاعتبارات التالية [28]:

• حجم العنصر أو الجسم:

يتحدد نوع الماسح حسب حجم العنصر المراد مسحه مثلاً: تستخدم الماسحات الضوئية القائمة على التثليث لمسح العناصر و الأجسام الصغيرة، بينما تستخدم الماسحات التي تقوم على تحديد المسافة أو مقارنة الطور لمسح الأجسام الأكبر من ذلك مثل الواجهات الداخلية و الخارجية، كما

تم توضيحه بالجدول رقم (1-4).

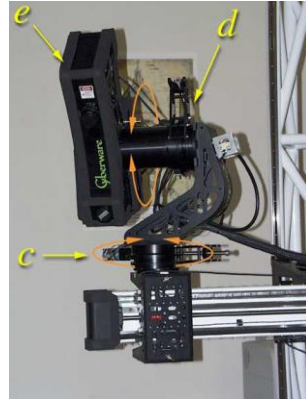
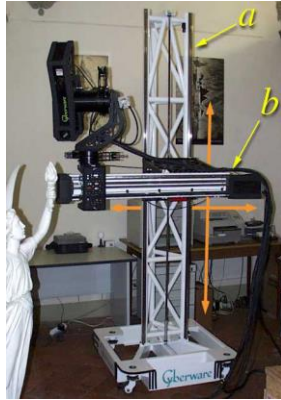
• نطاق التشغيل:

إن نطاق التشغيل أو المدى المجدي المتاح لرصد المبنى أو الموقع الأثري يعتبر عاملاً مهماً أيضاً، حيث أن نطاق تشغيل المساحات التي تعتمد على تحديد المسافة أو مقارنة الطور تصل إلى 100م بينما المساحات الليزرية التي تقوم على التثليث الحد الأعلى لنطاق تشغيلها يساوي إلى 25م، كما تلعب الدقة المطلوبة دوراً في تحديد نوع الجهاز المستخدم كما تم توضيحه بالجدول رقم (2-4).

• حقل الرؤية :

لدينا نوعان من المساحات:

المساحات الثابتة (ذات رؤية جهاز تصوير) ليس لها محاور ذات محركات للدوران، ومساحات ذات محورين (ذات رؤية بانورامية) كما في الشكل (2-5) التي تفيد في إعطاء مجال رؤية أوسع ونستفيد منها في حالة المسح الداخلي ضمن المباني الأثرية أو لمسح الأجسام والمنحوتات الصغيرة [31].



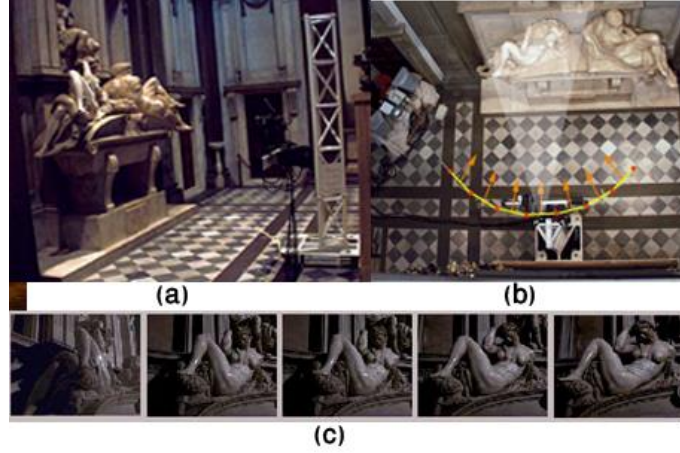
الشكل (2-4): يوضح محور الحركة الشاقولي و b يوضح محور الحركة الأفقي و d محور

الدوران الشاقولي و c محور الدوران الأفقي و e رأس المساح [31]

• الأجهزة الملحقة بالمساح الضوئي :

إلى جانب المعلومات الهندسية التي يمكن الحصول عليها من الجسم الذي تم مسحه بواسطة المساح الليزري، يعتبر إكساء العنصر أمراً مهماً في حال أردنا الحصول على نموذج ثلاثي أبعاد واقعي ملون لأن المساحات الليزرية تعطي مشاهد ثلاثية الأبعاد بتدرجات اللون الرمادي وذلك لأن الحساسات الموجودة في المساح غير قادرة على التقاط الألوان، و لذلك تتم إضافة أجهزة تصوير معلومة الدقة والوسائط الداخلية ذات مسارات مدروسة وشروط إضاءة محددة تمكننا من

الحصول على نتائج مسح وتصوير مشتركة وبألوان واقعية [30] كما في الشكل (3-4).



الشكل (3-4): a يوضح كاميرا التصوير الملحقة بالماسح والشكل (b) يوضح مسار الكاميرا بشكل قوس أما الشكل (c) يوضح عدد من الصور الملتقطة لإكساء النموذج [31]

4.2.2. دقة العمل باستخدام تقنيات المسح الليزري :

نعبر عن الدقة التمييزية بحجم البقعة ضمن منطقة الانعكاس، ولذلك يجب تفحص كيفية تركيز الحزمة في حال وجود مسافات متغيرة (تضييق أو توسيع الزاوية بين النقط) و مقدار التزايد الزاوي (الزاوية بين كل نقطتين متتاليتين بالنسبة لمركز الماسح)، وتعتمد الدقة التمييزية على عنصرين أساسيين حسب [27]:

• طول قاعدة الماسح الليزري (length of the scanner base)

• أبعاد الجسم (object distance).

وقد بينت الدراسات العملية أن الدقة التي يمكن الحصول عليها باستخدام الماسح الليزري تتراوح من أجزاء مليمترات إلى 2-3 سم [9]، ولكن وجود درجات تعقيد في معظم العناصر الهندسية والمعمارية الممسوحة يتوجب العمل ضمن دقات مختلف. ففي بعض الأحيان و ضمن الموقع نفسه نحتاج إلى مسح واجهة حجرية وكذلك نحتاج إلى مسح مجموعة من العناصر التزيينية والزخارف الحجرية مما يسبب عدم تجانس نتائج العمل ويؤثر على دقتها النهائية.

4.2.3. كلفة العمل باستخدام تقنيات المسح الليزري:

تعتبر كلفة جهاز المسح الليزري مرتفعة مقارنة مع كلفة أجهزة التقنيات الأخرى حيث يتراوح سعر جهاز RIEGL-Z420I الموجود في كلية الهندسة المدنية- جامعة حلب 100000 \$ وذلك في عام 2007، لذلك ينصح عند شراء هذا الجهاز التأكد من إمكانية استخدامه بشكل متكرر ولحالات ودراسات مختلفة ، ولكن على الرغم من ارتفاع الكلفة بشكل عام إلا أن هنالك كمية ونوعية

المعلومات لا يمكن استخلاصها إلا من استخدام تقنيات المسح الليزري بالإضافة إلى التطبيقات المختلفة الأخرى التي تستوجب استخدامه مثل (مراقبة تطور الجسم بشكل ثلاثي الأبعاد واستنتاج خصائصه - استخدامه ضمن الدراسات الأثرية).

4.2.4. سرعة العمل باستخدام تقنيات المسح الليزري :

يتحدد الوقت اللازم لإنجاز عملية المسح و المعالجة بعدة عوامل منها [26] :

- مساحة الجسم أو الموقع المطلوب مسحه بالدرجة الأولى.
- عدد محطات الرصد اللازمة لتغطية الموقع أو الجسم بشكل كامل، مع أخذ بعين الاعتبار توفى مناطق مشتركة بين الغيوم النقطية الناتجة.
- كثافة الغيمة النقطية وسرعة القياس: على الرغم من سرعة الماسح الضوئي في الحصول على المعلومات الثلاثية الأبعاد المطلوبة إلا أن عملية المسح قد تستغرق زمناً طويلاً عندما نحتاج إلى كثافة غيمة نقطية كبيرة من أجل رفع الدقة التمييزية للعنصر، حيث أن الحصول على 100 نقطة في الثانية يعتبر معدلاً بطيئاً أما معدل 1000 في الثانية يمكن أن يكون مناسباً من حيث السرعة، و يبين الجدول (5-2) العلاقة بين المساحة العامة للموقع أو الجسم وعدد محطات الرصد وعدد ساعات العمل اللازمة للمعالجة.

الجدول (4-2): العلاقة بين حجم العناصر الممسوحة (مبنى - واجهة - تمثال) والوقت اللازم لإنجاز عملية المسح الحقلية والمعالجة المكتبية [26]

الجسم الممسوح	المساحة	عدد محطات الرصد	الوقت اللازم للمسح الحقلية	الوقت اللازم للمعالجة المكتبية
تمثال برونزي	ارتفاع 80سم	11	يوم	10 أيام
قارب روماني خشبي	3*15م	30	8 أيام	45 يوماً
واجهة الخزانة في بتر-الأردن	ارتفاع 40 م	3	1.5 ساعة	اسبوع
تل المدفن في ويرتيبيرغ	مساحة 10 هكتار	-	5 ساعة	5 أيام

4.2.5. مؤهلات كادر العمل بتقنيات المسح الليزري:

وتتدرج ضمن قسمين أساسيين: التعامل مع جهاز المسح، بالإضافة إلى التعامل مع البرمجيات اللازمة لمعالجة المعلومات الناتجة عن عملية المسح.

•الجهاز:

يتطلب التعامل مع أجهزة المسح الليزري (كيفية العمل - اختيار نوع الماسح الملائم للعمل) تخصص ومؤهلات علمية محددة ضمن الدراسة المساحية والطبوغرافية و التصويرية.

•البرمجيات:

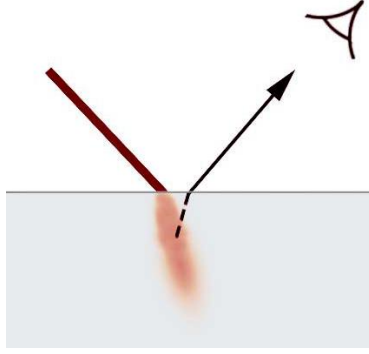
تتطلب كل مرحلة من مراحل المسح الليزري برمجيات محددة ومعروفة لمعالجة المعلومات التي تم جمعها من الماسح الليزري. و يستند اختيار البرامج المستخدمة على عدد من العوامل تتعلق : بكمية المعلومات و نوع الغيمة النقطية المطلوبة وخبرة ومهارة المستخدم وهذه البرامج تقسم إلى: برامج التحكم بالماسح الليزري وبرامج معالجة غيمة النقط وبرامج ملائمة الأوليات الهندسية (مكعب - موشور... إلخ) مع غيمة النقط بالإضافة إلى برامج تلوين الغيوم النقطية وبرامج الإكساء النهائي للنموذج[6].

تقوم مثل هذه البرمجيات بإعطاء مشاهد ثلاثية الأبعاد يمكن التحكم بها عن طريق تكبيرها وتصغيرها وتغيير ألوانها أو اقتطاع أجزاء منها كما أن هذه البرمجيات صممت لكي تتعامل مع قياسات ثلاثية الأبعاد لغيوم نقطية ذات حجوم كبيرة ،وتجدر الإشارة إلى أن البرمجيات المتوفرة حالياً مثل (برمجيات الرسم بمعونة الحاسب) لا يمكن أن تتعامل مع الغيوم النقطية، لذلك لابد من أن يكون المستخدم متخصصاً بهذه البرمجيات من حيث اختيار البرمجية وكيفية العمل عليها للحصول على نتائج مرضية عالية المستوى[6].

4.2.6. إشكاليات العمل ضمن الموقع:

هنالك عدة مشاكل تتعلق بطبيعة مواد البناء ضمن الموقع وهي[6]:

- لا يستطيع الماسح الليزري التعامل بشكل دقيق مع مواد مثل الزجاج أو المرايا أو أي مادة عاكسة .
- صعوبة التعامل مع بعض المواد الأخرى نتيجة خواصها البصرية مثل الرخام أو المرمر حيث أن حزمة الليزر تنعكس عن المادة وجزء منها يمتص من قبل المادة مما يسبب إزاحة لموقع الحزمة المنعكسة تبلغ في بعض الأحيان 40 ميكرون مما يؤثر على دقة القياسات الهندسية ،الشكل(4-4).



الشكل (4-4): توضح امتصاص جزء من أشعة الليزر من قبل المادة [6]

- الخشونة غير المتجانسة للسطوح التي يصطدم بها الليزر وهذا يسبب ظاهرة تشويش في الإشارة تؤثر على قيم المسافات المقاسة وهذا ما يسمى بظاهرة التشويش الأبيض.
- تعتبر المساحات الضوئية غير فعالة في مسح الحافات الحادة وخطوط التقاطع بين الأشكال والمستويات بينما تعتبر المساحات الليزرية فعالة جداً في حالة السطوح الناعمة مثل المنحوتات والتماثيل .
- من خلال دراسة النتائج العملية للماسح الليزري تبين أن كثافة الغيمة النقطية تتناقص عند زاوية المسح التي تزيد عن 45 درجة، يعزى هذا إلى تشتت شعاع الليزر تبعاً للسطح العاكس. لذا يوصى استخدام الماسح الضوئي بحيث تكون الحزمة الليزرية الصادرة من الجهاز تصنع زاوية أصغر ما يمكن مع الجسم، لذلك نواجه صعوبة في الحصول على نتائج دقيقة في حال وجود أجسام ذات ارتفاع كبير [26]
- صعوبة نقل الجهاز ضمن الموقع الأثري، لذلك من الأسهل الحصول على أجهزة صغيرة الحجم وخفيفة، ولكن معظم المساحات المتوسطة وطويلة المدى لا تزال ضخمة نسبياً ومن غير الممكن نقلها يدوياً، بالإضافة إلى أن مكان بعض المواقع الأثرية يتسم ببيئة عمل أو ظروف مكانية صعبة لذلك يجب الانتباه إلى كيفية نقل الماسح الليزري ضمن الموقع أثناء العمل.
- صعوبة الحصول على مصدر الطاقة أثناء العمل بالماسح الليزري في المواقع الأثرية حيث أنه في معظم المباني الأثرية يتم استخدام مساحات تعمل بالبطاريات لصعوبة الحصول على مولدات كهربائية بالإضافة إلى ضرورة مد كبلات خاصة بهذه المولدات.

5. الفصل الخامس: نتائج عملية المقارنة بين طرق التوثيق المعماري والأثري:

5.1. التجربة العملية والنتائج:

ضمن هذه التجربة [32] سوف يتم استعراض عملية توثيق كنيسة سان نيكولاس الواقعة في قرية فيلا في إسبانيا والتي يعود تاريخ بنائها إلى عام 1134 م وذلك باستخدام كل من تقنية المسح الليزري والمساحة التصويرية وذلك للإجابة على السؤال الأساسي : أي تقنيتين مناسب وفعال أكثر للعمل التوثيقي.

تتراوح أبعاد الكنيسة 30 م من الجهة الشرقية الغربية و 22 م من الجهة المقابلة بارتفاع 12 م للمبنى و 24 م للبرج الذي يتألف من ثلاث أقسام ويعود ذلك إلى أن الكنيسة بنيت بفترات مختلفة. وبشكل العام البناء حجري بسيط بأسقف خشبية يحوي على مدخلين رئيسيين. من الجهة الشمالية الشرقية نلاحظ أن المباني المجاورة قريبة جداً من الكنيسة، وبشكل عام جزء كبير من الواجهات مغطاة بسبب كثافة الأشجار في الجوار، أما في الناحية الغربية نلاحظ وجود شارع ضيق مزدحم بالسيارات المركونة و يوضح الشكل (5-1) بناء الكنيسة بشكل عام.



الشكل(5-1) :البناء العام لكنيسة سان نيكولاس[32]

5.1.1. مرحلة استخدام تقنية المسح الليزري:

تم استعمال ماسح ليزري ذو مدى متوسط مزود بكاميرا ملونة ذات دقة متوسطة لتؤمن التغطية المناسبة للمساحات التي يتم رصدها هذا الجهاز من نوع (Trimble GS200) بالمواصفات التالية:

رأس قابل للدوران بالإضافة إلى أن المرايا العاكسة الداخلية قابلة للدوران أيضا مما يؤمن زاوية مسح 360 درجة أفقية و60 درجة شاقولية، مما يقلل عدد محطات الرصد اللازمة لمسح الموقع بالكامل وقد تم الوقوف عند 8 محطات رصد لتأمين تغطية كاملة للمبنى واستغرقت مدة المسح 6 ساعات للحصول على 5 ملايين نقطة عند كل محطة رصد. وتم تعبير الجهاز للحصول على دقة

3 ملم لمسافة 30 م. علما أن مدى الجهاز المجدي 50 م:

تم تنفيذ الخطوات التالية :

- معالجة للغيوم النقطية الناتجة مما يؤمن الفترة البصرية والهندسية لإزالة العناصر التي تسبب الضوضاء، بالإضافة إلى تقطيع هذه الغيمة أيضا بتدخل المستخدم لحذف العناصر التي لم تحذف بواسطة الفترة، واستغرقت 2 ساعة.
- تسجيل ودمج ومعالجة الغيوم النقطية الناتجة عن عملية المسح بشكل نصف آلي. واستغرقت 2 ساعة والدقة الناتجة هي 1.3 سم.
- إسقاط الصور الناتجة عن ربط الكاميرا مع الماسح على الغيمة النقطية الناتجة ولذلك لتأمين الاكساء عالي الدقة للموقع، واستغرقت هذه المرحلة 8 ساعات.
- تم الحصول على النموذج النهائي ، المقاطع ، الصور العمودية... الخ ، والنموذج النهائي موضح بالشكل (5-2)، وقد تمت الخطوات السابقة بالاعتماد على برمجية (RealWorks Survey 5.1). إن العملية بشكل كامل استغرقت 300 ساعة للحصول على النموذج المطلوب.

5.1.2. مرحلة استخدام تقنية المساحة التصويرية:

تم استعمال كاميرا (Nikon D70) ذات دقة عالية. تم النقاط 106 صورة تغطي المبنى بشكل كامل. واستغرقت هذه العملية 4 ساعات، بالإضافة إلى استخدام برمجية (PhotoModeler) التي تمت بواسطتها جميع الخطوات بشكل سهل وغير معقد. و الخطوات هي:

- تمت المعايرة ضمن البرمجية للحصول على قيم الوسائط الداخلية (البرمترات) للكاميرا من خلال تحديد النقاط المشتركة ضمن الصور ، و لتنفيذ معايرة الكاميرا بشكل صحيح تم استعمال شبكة مستطيلة ثنائية البعد مؤلفة من 4 نقط تحكم و107 نقطة ربط واستغرقت عملية المعايرة 2 ساعة.
- وقد تمت مقارنة نتائج المعايرة عن طريق برمجية (PhotoModeler) مع برمجية (Matlab) وقد أظهرت نفس النتائج بالنسبة لقيم البعد المحرقى و النقطة الأساسية أما بالنسبة للتشوه العدسات فقد كانت النتائج متقاربة نسبياً.
- وضع القيود الهندسية للزوايا المتعامدة والخطوط المتوازية و ضبط المقياس العام للجسم من خلال القياسات المأخوذة من الموقع.
- يتم ظهور خطوط من خلال نقاط المعايرة تبين مواقع التصوير (تحديد الوسائط الخارجية

للكاميرا).

- تحديد خطوط القطب (epipolar lines) للتأكيد على مواقع النقاط المشتركة.
- التشكيل الثلاثي الأبعاد للعناصر المشكلة للجسم باستخدام أشكال بدائية مثل المكعب-الإسطوانة...الخ.
- الحصول على صور عمودية صحيحة ضمن شاشة الإسقاط المحددة والحصول على شبكة (tin).
- الحصول على إكساء مناسب عالي الدقة من خلال الصور الملتقطة للجسم والشكل (3-5) يوضح النموذج النهائي.
- أن عملية النمذجة لجميع عناصر المبنى مع اكسائها استغرقت 150 ساعة من العمل



الشكل (3-5) النموذج النهائي الناتج عن استخدام المساحة التصويرية [32]



الشكل (2-5) النموذج النهائي الناتج عن استخدام المسح الليزري [32]

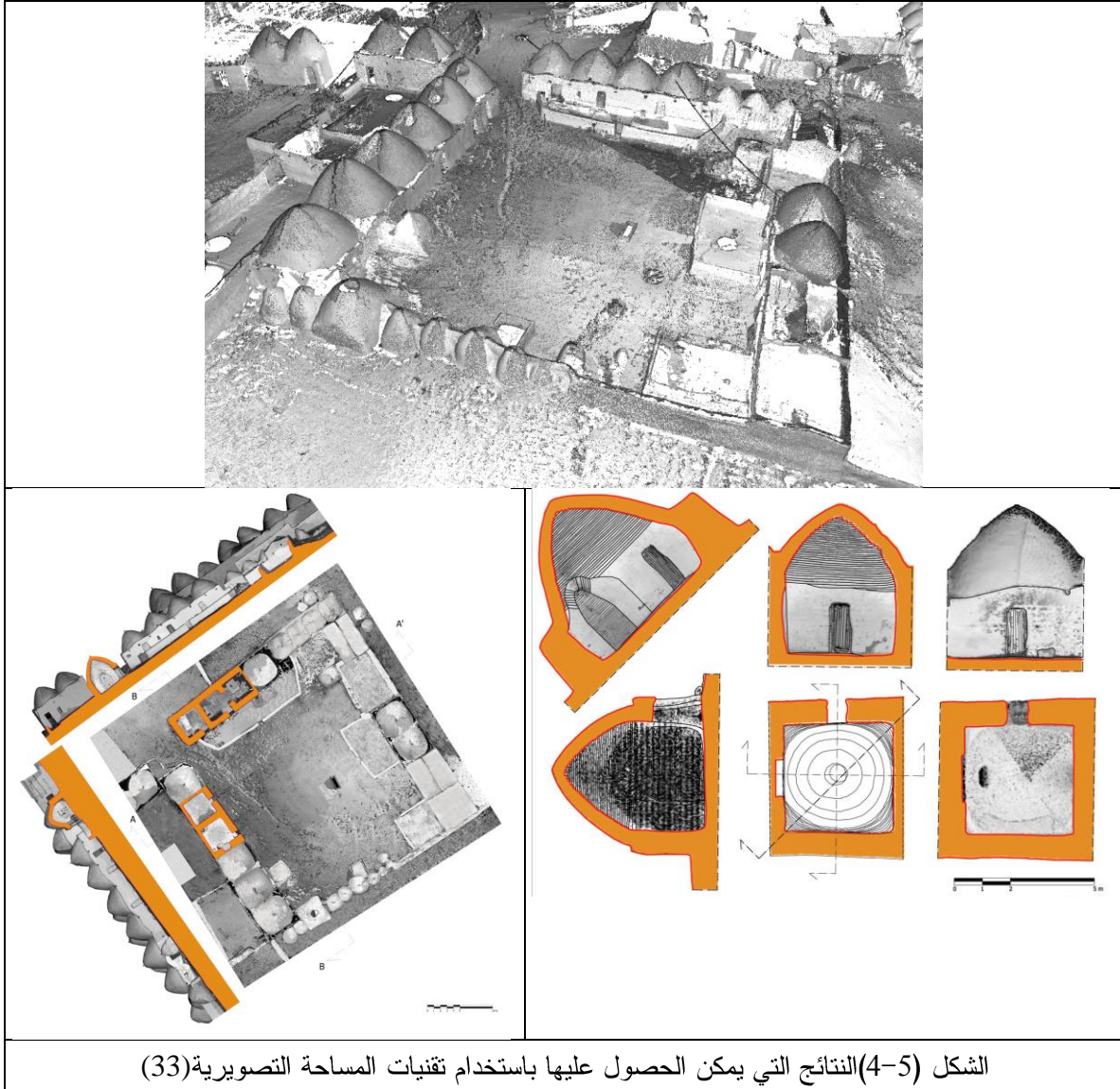
5.2. النتائج:

يمكن تلخيص النتائج ضمن الجدول التالي (1-5) [32]:

إمكانيات التفاعل مع برمجيات أخرى	الكلفة	الوقت	الدقة	التقنية المستخدمة
جيدة	300 يورو في اليوم	150 ساعة	3.4سم	المساحة التصويرية
متوسطة	1500 يورو في اليوم	300 ساعة	1.3سم	المسح الليزري

- كما هو مبين بالنتائج السابقة تعتبر استخدام تقنية المسح الليزري أكثر دقة من تقنية المساحة التصويرية ولكن بالجهة المقابلة تمكننا من التوصل إلى نتائج عمل مقبولة وبكلفة بسيطة وبإمكانيات تفاعل مع مختلف البرامج عند استعمال تقنية المساحة التصويرية.
- وتكون النتائج التي يمكن التوصل إليها باستخدام تقنية المساحة التصويرية هي مخططات ثلاثية البعد أو ثنائية البعد تحوي جميع التفاصيل المعمارية والإنشائية المطلوبة (مساقط - مقاطع أفقية

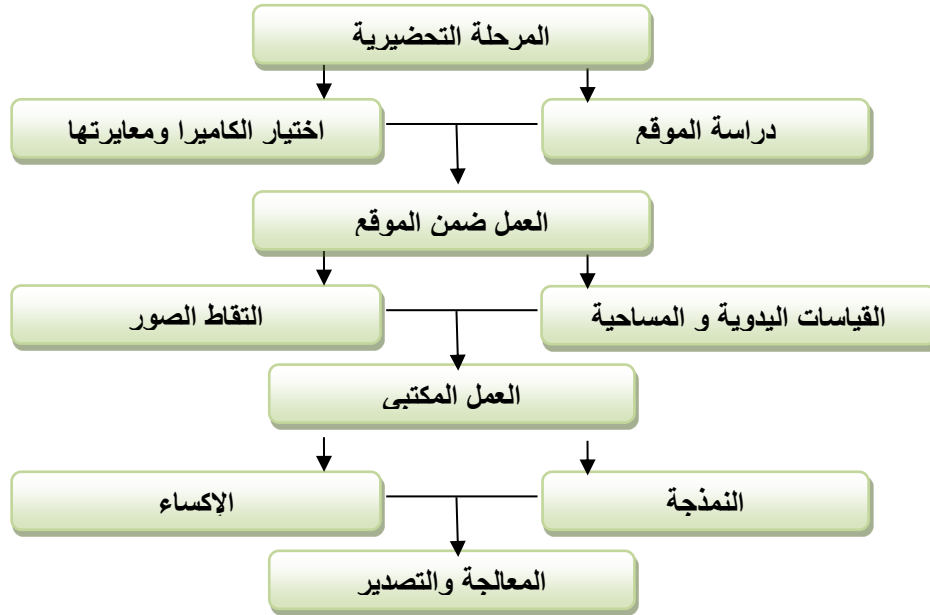
وشاقولية - بروفيلات) كما هو موضح بشكل (4-6) [33].



الشكل (4-5) النتائج التي يمكن الحصول عليها باستخدام تقنيات المساحة التصويرية (33)

نتائج الباب الثاني:

- يمكن الحصول على وثائق ثنائية البعد وتوليد نماذج ثلاثية الأبعاد دقيقة متعددة الاستعمال عن طريق استخدام تقنيات المساحة التصويرية بشكل يوفر الوقت والجهد اللازم لأخذ قياسات كاملة ضمن الموقع لأي جسم نقوم بتوثيقه سواءً كان التوثيق الذي نقوم به جواً أو أرضاً .
- تتبع الطريقة التي يتم استخدامها للحصول على التوثيق المطلوب لأي جسم باستخدام تقنيات المساحة التصويرية إلى النتيجة التي نريد التوصل إليها (ثنائية أو ثلاثية البعد) وإلى عدد الصور الذي يلزم لتغطية الجسم المراد توثيقه بجميع تفاصيله وبشكل كامل (صورة وحيدة - زوج من الصور - صور متعددة).
- تعتبر الخطوات التي نقوم بها لتوليد هذه النماذج سواء كانت هذه النماذج ناتجة عن معالجة غيمة نقطية أو عن اتباع مبدأ الهندسة الحجمية أو تمثيل الحدود هي خطوات محددة ضمن مجموعة من المراحل الموضحة ضمن الشكل (5-6) والتي يمكن القيام من قبل غير المختصين بعد الإلمام بمبادئ المساحة التصويرية والبرمجيات المستخدمة ضمنها.

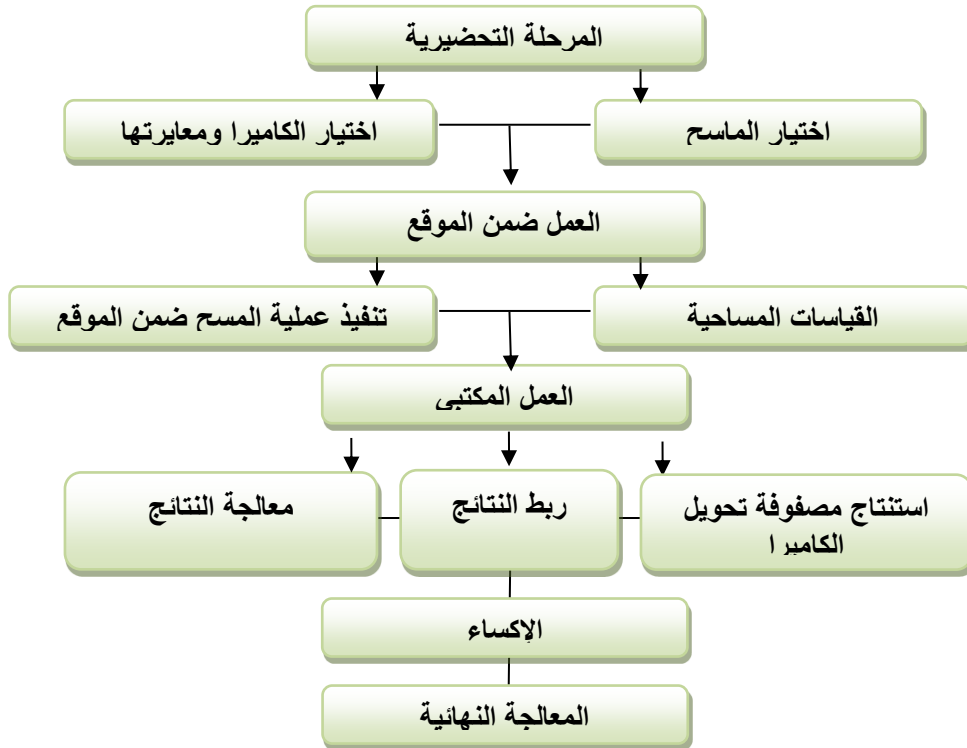


الشكل (5-6): خطوات العمل باستخدام تقنيات المساحة التصويرية (اعداد الباحثة)



- إن استخدام تقنيات المسح الليزري في عملية التوثيق المعماري والأثري يعتبر من أكثر التقنيات تطوراً هذا المجال.
- نستطيع استخدام تقنيات المسح الليزري في مجال الدراسات المعمارية والأثرية ومجال

حساب الإحداثيات الثلاثية البعد سواءً من الجو أو الأرض، بالإضافة إلى إنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد بدقة كبيرة تبدأ من أجزاء من المليمترات انتهاء بـ3 سنتيمترات .

- يتبع اختيار نوع الماسح الليزري المستخدم لعدة عوامل وهي
حجم الجسم ومقدار التفاصيل-الدقة المطلوبة-نطاق التشغيل المتاح
- إن خطوات العمل بتقنيات المسح الليزري هي خطوات برمجية معقدة تطلب تخصصاً في مجال الدراسة المساحية كما تطلب خبرة عمل كبيرة في مجال المسح الليزري ويعود ذلك إلى وجود عدد كبير من المشاكل التي يمكن التعرض لها سواء ضمن عملية المسح او ضمن معالجة النتائج مثل (أخطا الربط- أخطاء في إظهار نقاط الغيمة) والشكل التالي يلخص خطوات العمل بالمسح الليزري(5-7).



الشكل (5-7) خطوات العمل بالمسح الليزري(اعداد الباحثة)

- الجدول التالي يلخص النتائج الكلية التي تم التوصل لها بعد استعراض اعتبارات العمل   الجدول (2-5): تلخيص للمقارنة بين تقنية المساحة التصويرية والماسح الليزري (اعداد الباحثة)

تقنيات المسح الليزري	تقنيات المساحة التصويرية	الاعتبارات العامة	
غير متوفرة في الأسواق	متوفرة في الأسواق	توفر الأجهزة	الجهاز المستخدم
توجد أجهزة ملحقة (كاميرا)	توجد أجهزة ملحقة (العدسات والثلاثية)	أجهزة ملحقة	
يوجد برمجيات ملحقة بالجهاز	يوجد (في حالة الكاميرا المترية)	برمجيات ملحقة بالجهاز	
من املم وحتى 3سم	من 1 ملم وحتى 5سم	حدود الدقة	الدقة
غير ثابتة تختلف حسب نوع الجهاز ودقته وحجم الجسم ودرجة التفاصيل الموجودة ضمه	غير ثابتة تختلف حسب دقة الكاميرا والبعد عن الجسم ودرجة التفاصيل الموجودة ضمنه	ثابتة أو متغيرة	
مرتفعة	غير مرتفعة	كلفة الجهاز	الكلفة
مرتفعة	غير مرتفعة	كلفة البرمجيات	
لا يحتاج إلى وقت طويل	لا يحتاج إلى وقت طويل	العمل الحقل	السرعة
تحتاج المعالجة إلى وقت طويل	لا تحتاج المعالجة إلى وقت طويل	العمل المكتبي	
بحاجة إلى كادر عمل متخصص بالعلوم المساحية والطبوغرافية	يحتاج إلى كادر عمل ملم بمبادئ المساحة التصويرية	متخصص أو غير متخصص	مؤهلات كادر العمل
ليس بحاجة	بحاجة	إنارة الموقع	طبيعة الموقع
الأجهزة المستخدمة صعبة النقل	الأجهزة المستخدمة سهلة النقل	نقل الأجهزة	
يوجد إشكالية في تعامل مع مواد البناء	لا يوجد إشكالية في تعامل مع مواد البناء	التعامل مع مواد البناء	
يحتاج	لا يحتاج	الحاجة إلى تيار كهربائي	
نموذج ثلاثي الأبعاد مكسي ناتج عن معالجة مجموعة من الغيوم نقطية	نموذج ثلاثي الأبعاد مكسي ناتج أما على ارتباط حجوم هندسية أو مجموعة سطوح أو غيوم نقطية	النتائج النهائية للعمل	نتائج العمل
الخطوط والروابط بين أشكال غير دقيقة [32]	الخطوط والروابط بين أشكال دقيقة [32]	دقة الخطوط والروابط بين الأشكال	
معلومات لونية غير دقيقة	معلومات لونية دقيقة	دقة المعلومات اللونية	

سهولة استخدام المعلومات الناتجة ضمن شبكات الواقع الافتراضي والخرائط الرقمية	صعوبة استخدام المعلومات الناتجة ضمن شبكات الواقع الافتراضي والخرائط الرقمية	فعالية النموذج ضمن الواقع الافتراضي	
فعال في مجال الدراسات الأثرية الكثافة...الخ)	غير فعال في مجال الدراسة الأثرية(دراسة طبيعة المواد- معدل الدراسة...الخ)	فعالية النموذج في المجال الأثري	

وبالتالي:

- نستطيع استعمال جميع آلات التصوير في عمليات التصوير الفوتوغرامتري طالما نستطيع تخزين الصورة في النهاية على الحاسب وتحديد الخصائص الهندسية للكاميرا (معايرتها) ، لذلك ضمن منهجية العمل ينصح باستعمال كاميرا مترية في حال توفرها لكن يمكن العمل مع كاميرا غير مترية تملك عدسة ذات بعد محراقي ثابت عالية الجودة بهدف تقليل الكلفة وسهولة الاستخدام وإمكانية التحكم بدقة الصورة تبعاً للتفاصيل المراد إظهارها لكن يجب الانتباه إلى تغيير التكبير و التصغير zoom لأنه يغير البعد البؤري للعدسة.
- أما بالنسبة لأجهزة المسح الليزري فتعدد أنواع هذه الأجهزة حسب دقتها ونطاق تشغيلها وحقل رؤيتها لا يمكن التوصية بجهاز محدد للعمل التوثيقي إذ يختلف نوع الماسح المطلوب حسب نوع الجسم الذي نقوم بنمذجته سواء كان هذا الجسم منحوتة أو تمثال أو مبنى أو موقع أثري كامل.
- للتوصل إلى الدقة ملائمة للعمل ضمن برمجيات النمذجة يجب استعمال كاميرا تبدأ من دقة 8 ميغا بايت. ويتم تحديد دقة العمل حسب حجم العمل المطلوب ودرجة التفاصيل الموجودة فيه وقوة الأجهزة الموجودة للعمل. أما بالنسبة للماسح الليزري فتختلف الدقة أيضاً حسب نوع الماسح وحسب حجم العمل ومقدار تفاصيل الموجودة فيه بالإضافة إلى أن تجانس العمل يلعب دوراً كبيراً في الدقة الناتجة.
- تعتبر كلفة العمل بتقنيات المساحة التصويرية هي كلفة بسيطة و ذلك بسبب الخيارات المتنوعة لآلات التصوير التي يمكن استعمالها وخاصة الكاميرات غير مترية منها كما تعتبر كلفة البرمجيات المخصصة لهذا العمل كلفة بسيطة جداً، على عكس الماسح الليزري حيث تعتبر الكلفة (الجهاز والبرمجيات المستخدمة) مرتفعة جداً وليست ضمن إمكانيات جميع المستخدمين.
- الوقت الازم لإنجاز العمل بتقنيات المساحة التصويرية والماسح الليزري يتعلق بسرعة

العمل الحقلية والمكتبي الأمر الذي يتعلق بدوره بحجم العمل ودقة التفاصيل الموجودة فيه وعدد الصور أو محطات الرصد التي تتطلب المعالجة ، و بشكل عام تعتبر تقنيات المساحة التصويرية أسرع من تقنيات المسح الليزري .

• يعتبر الإلمام بتقنيات المساحة التصويرية (التعامل مع آلات التصوير- التعامل مع برمجيات النمذجة) والاختصاص بتقنيات المسح الليزري أمراً ضرورياً لإنجاز العمل بشكل علمي ودقيق وحل المشاكل التي يتم التعرض لها سواء كانت مشاكل تتعلق بالبرمجيات المستخدمة أو بالمشاكل التي يمكن أن نتعرض لها ضمن الموقع.

النتائج النهائية:

1- يلعب التراث الحضاري دوراً ثقافياً واقتصادياً واجتماعياً في مسيرة تطور أي مجتمع، لذلك يعد من الضروري الحفاظ على هذا التراث من أسباب التدهور التي تنحصر بغياب الوعي بالقيم التراثية لدى الإنسان والمجتمع، وعدم القيام بعملية الحفاظ بشكل علمي مدروس.

2- تتم عملية الحفاظ على التراث الحضاري وفق عدة مراحل وهي: التوثيق- الدراسة والتحليل - الترميم- إعادة التأهيل. ولكن تعتبر التوثيق المعماري والأثري الخطوة الأولى والأهم في عملية الحفاظ على التراث الحضاري لما لهذه الخطوة من تأثير على الخطوات اللاحقة.

3- تتعدد طرق التوثيق المعماري والأثري (الطرق اليدوية- المسح الطبوغرافي- المساحة التصويرية - الماسح الليزري)، ولكن تعد كل من المساحة التصويرية والماسح الليزري هي الطرق الأنسب للحصول على نمذجة ثنائية وثلاثية البعد دقيقة للمباني والمواقع الأثرية.

4- عند استخدام مفهوم النمذجة الثلاثية الأبعاد يجب اعتماد المبدأ المناسب تبعاً لدرجة التفاصيل الموجودة ضمن الجسم الذي تتم نمذجته

5- تعد الطرق الإجرائية هي الأنسب للمهندس المعماري لأن هذه الطريقة تتطلب فهم للشكل المعماري والعناصر المشكلة له، بالإضافة إلى سهولة التعامل مع البرمجيات المستخدمة.

6- يعد استخدام تقنيات المسح الليزري من أكثر التقنيات تطوراً في مجال الحصول على معلومات ثلاثية الأبعاد، إلا أن الحاجة إلى كوادر عمل كبيرة متخصصة بالعلوم المساحية، بالإضافة إلى الكلفة المرتفعة لاستخدام هذه التقنية يحول دون استخدامها في عملية التوثيق المعماري والأثري.

7- تعد المساحة التصويرية من أنسب الطرق للحصول على وثيقة ثنائية أو ثلاثية البعد بسبب الدقة المقبولة والتي تضاهي في بعض الأحيان دقة الماسح الليزري التي يمكن التوصل إليها،

بالإضافة إلى الكلفة المقبولة لهذه التقنية وتوفر الأجهزة والبرمجيات السهلة التعامل بالنسبة لغير المختصين بالعلوم المساحية.

8- قبل البدء باستخدام تقنيات المساحة التصويرية ضمن العمل التوثيقي لا بد من الإلمام بمبادئ المساحة التصويرية والتي تشمل الإسقاط المنظوري والتحويل الهيموغرافي، بالإضافة إلى كيفية حساب الإحداثيات الثلاثية البعد.

9- للحصول على نتائج ثنائية البعد بالاعتماد تقنيات المساحة التصويرية يجب استخدام مبدأ الصور المصححة لتوثيق مستوي وحيد، أو مبدأ الصور المقومة لتوثيق عدد من المستويات ضمن الجسم الواحد.

10- لتنفيذ نموذج ثلاثي الأبعاد لأي مبنى أو موقع باستخدام تقنيات المساحة التصويرية لا بد من القيام بقياسات يدوية أو مساحية ضمن الموقع، ويعتبر استخدام القياسات المساحية أفضل لضبط النموذج بشكل صحيح ودقيق.

11- أثناء العمل بتقنيات المساحة التصويرية ينصح باستعمال الكاميرا الغير مترية عوضاً عن الكاميرا المترية ويعود ذلك لانخفاض كلفتها وإمكانية التحكم بدقة الصورة تبعاً للتفاصيل المراد إظهارها، بالإضافة إلى الحرية في اختيار البرمجيات المستخدمة ضمن العمل.

12- لا بد عند استخدام تقنيات المساحة التصويرية الإلمام بكيفية معايرة الكاميرا تحديد (الوسائط الداخلية - الوسائط الخارجية)، وينصح باستخدام خيارات المعايرة الموجودة ضمن برمجيات النمذجة الثلاثية البعد لغير المختصين مثل (Photo modeler-Image modeler) .

13- يجب مراعاة شروط التصوير ضمن الموقع، فعند استخدام مبدأ الهندسة الحجمية أو تمثيل الحدود لا بد من تأمين تغطية كاملة للموقع بالصور والحصول على نسبة تداخل 60% بينها أما للحصول على غيمة نقطية ينصح بأن تكون محاور التصوير متوازية ومتداخلة بنسبة تزيد عن 30% دون تغيير ارتفاع الكاميرا أو زاوية التصوير.

14- وعند استخدام أي مبدأ لا بد أثناء عملية التصوير من عدم زيادة دقة الصور بشكل مبالغ فيه أو زيادة عدد الصور لأن ذلك يسبب بطأ في المعالجة، بالإضافة إلى القيام بعملية التصوير في الصباح الباكر قبل الشروق أو في حال وجود غيوم منعاً لحصول تناوب لوني.

- ينصح عند القيام بعملية النمذجة اختيار البرمجية التي تتناسب المبدأ المستخدم :

▪ استخدام برمجية Image modeler : للحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد حسب مبدأ الهندسة الحجمية.

▪ استخدام برمجية Photo modeler: للحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد حسب مبدأ الهندسة السطحية، أو للحصول على نموذج ثلاثي أبعاد من خلال توليد غيمة نقطية.

▪ استخدام برمجية Mic mac: للحصول على نموذج ثلاثي أبعاد من خلال توليد غيمة نقطية.

15-للحصول على نموذج ثلاثي البعد واقعي ، يجب تصحيح الصور التي تحوي على أشكال أو أجسام لا تنتمي للنموذج المطلوب مثل الأشخاص أو الأشجار قبل البدء بعملية الإكساء .

16-لإعطاء واقعية للنموذج الناتج ، لا بد من تصدير النموذج قبل عرضه ضمن فعاليات الواقع الافتراضي إلى برامج مثل 3D MAX أو MAYA لإضافة بيئة مناسبة للعمل بشكل ثلاثي الأبعاد مثل الأشجار وعناصر فرش الموقع العام.

17-للحصول على وثيقة ثنائية البعد يجب تصدير النموذج الثلاثي الأبعاد(ذو الأبعاد والنسب الواقعية) إلى برامج الرسم الهندسي (VECTOR- AUTOCAD)، لنتمكن من الحصول على نسخة رقمية بعد القيام بعملية تحويل شعاعية.

التوصيات

تم تقسيم هذا البند إلى قسمين أساسيين: التوصيات الموجهة إلى المؤسسات التعليمية و التوصيات الموجهة إلى مؤسسات الدولة.

التوصيات الموجهة إلى المؤسسات التعليمية:

وتتلخص فيما يلي:

- التركيز ضمن المناهج التعليمية على أهمية التراث الحضاري بالنسبة للإنسان والمجتمع وخاصة التراث المعماري وعلى كيفية الحفاظ عليه.
- التركيز ضمن المناهج التعليمية على عملية الحفاظ وكيفية القيام بها بشكل علمي وصحيح.
- ضرورة التركيز على أهمية عملية التوثيق المعماري والأثري كخطوة أولى في عملية الحفاظ وإعادة تأهيل المواقع المعمارية والأثرية في سبيل إعداد مدرّبين ومتخصصين معماريين في هذا المجال.
- ضرورة إدخال مفهوم النمذجة الثلاثية الأبعاد وأهميته في مجال التوثيق المعماري والأثري ضمن المناهج التعليمية .
- أهمية التعريف بالطرق الحديثة بعملية التوثيق المعماري (المساحة التصويرية- المسح الليزري) ومجالات استخدامها وخطوات العمل بها.
- القيام بورشات عمل مشتركة بين المؤسسات التعليمية (المعمارية والمدنية) تهدف إلى إبراز أهميه المجال التوثيقي والتعريف بأحدث ما توصلت إليه جميع هذه الجهات في هذا المجال.
- القيام بورشات عمل مشتركة بين المؤسسات التعليمية (المعمارية والمدنية) تهدف إلى إنشاء مكتبة معمارية خاصة بنمذجة العناصر والأشكال المعمارية الأثرية وتصنيفها حسب العصر الذي تنتمي إليه.

التوصيات الموجهة إلى مؤسسات الدولة(مديرية الآثار والمتاحف - الأوقاف -البلدية) :

وتتلخص فيما يلي:

- إعطاء عملية التوثيق المعماري والأثري أهمية أكبر وذلك من خلال :
- التأكيد على أهمية التوثيق المعماري والأثري باستخدام النمذجة الثلاثية الأبعاد في تنشيط

- السياحة الأثرية بالإضافة إلى دورها الكبير في الدراسات التوثيقية والترميمية.
- عدم استعمال تقنيات التوثيق التقليدية (الطرق اليدوية) و طرق المسح الطبوغرافي في عملية التوثيق المعماري والأثري والاكتفاء باستخدامها كتقنيات مساعدة.
 - استعمال تقنيات المساحة التصويرية في توثيق المباني والمعالم الأثرية كتقنية تعطي الدقة والسرعة المطلوبة بكلفة مقبولة تتناسب مع الميزانيات المخصصة لعملية التوثيق.
 - القيام بدورات تأهيلية للعاملين ضمن قطاعات الدولة في مجال النمذجة والتوثيق المعماري والأثري لتأهيل شعب متخصصة في هذا المجال، تقوم هذه الدورات ب:
 - التعريف بالنمذجة الثلاثية الأبعاد ومجالات استخدامها.
 - تعريف العاملين بتقنيات المساحة التصويرية ومبادئها الأولية.
 - تعريف العاملين على مراحل العمل باستخدام تقنيات المساحة التصويرية من خلال إجراء تجارب ميدانية تحت إشراف متخصصين في هذا المجال.

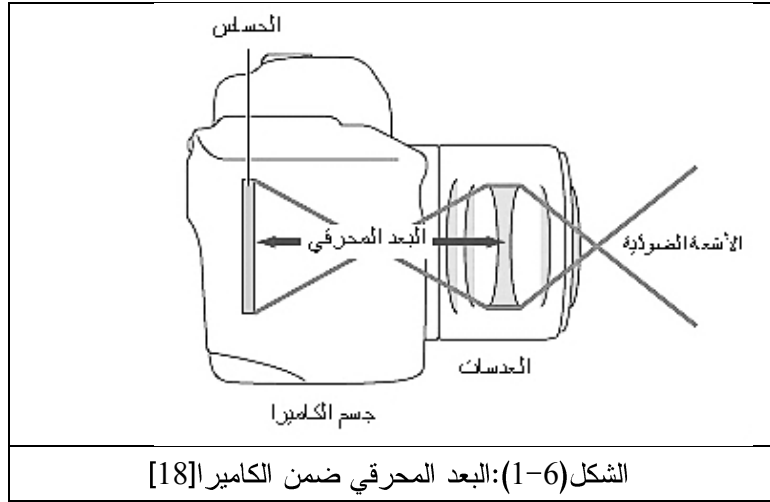
الملاحق

ملحق (1): الوسائط الداخلية والخارجية للكاميرا

نعني بالكاميرا أو آلة التصوير المعايرة بأنها معروفة الوسائط الداخلية والخارجية وفيما يلي تلخيص لهذه الوسائط [18].

• الوسائط الداخلية: وتتحدد بما يلي:

- البعد المحرقي (focal length): هو المسافة بين المركز البصري للعدسة ومستوي الصورة و يتغير البعد المحرقي أثناء عملية التكبير والتصغير (focusing) كلما كبر البعد المحرقي كلما أصبح مجال الرؤية أصغر أي أكثر توضيحاً ، وكلما صغر البعد المحرقي كلما زاد عدد النقاط التي يتم إسقاطها على مستوي الصورة. أما حقل الرؤية : فهو المسافة أمام وخلف مستوي الصورة التي تعطي تكبير مقبول وعندما تقوم العدسة بتكبير الجسم ضمن هذه المسافة فإن كل الأجسام التي تقع ضمن هذه المسافة سوف تكبر بشكل واضح والأجسام التي لا تقع ضمن هذه المسافة والتي هي خارج نطاق التكبير لن تظهر بشكل واضح كما هو موضح بالشكل (6-1).



- النقطة الأساسية (principal point) : تمثل إسقاط المركز البصري للعدسة (مركز إسقاط الصورة) على مستوي الصورة (مستوي الحساس).

- تشوه العدسة (lenses Distortion): يلاحظ على أطراف الصورة أن الخطوط المستقيمة في الواقع تبدو في الصورة بشكل خطوط منحنية. وتقل هذه الظاهرة كلما اقتربنا من مركز الصورة. ينتج هذا التشوه الذي يدعى بالتشوه الشعاعي بسبب كروية العدسة وتزداد مع زيادة كروية العدسة. يوجد نموذجين رياضيين لهذا التشوه يتبع للبعد

عن مركز الصورة :

○النموذج الأول: التشوه المركزي (linear distortion): ويكون التشوه على

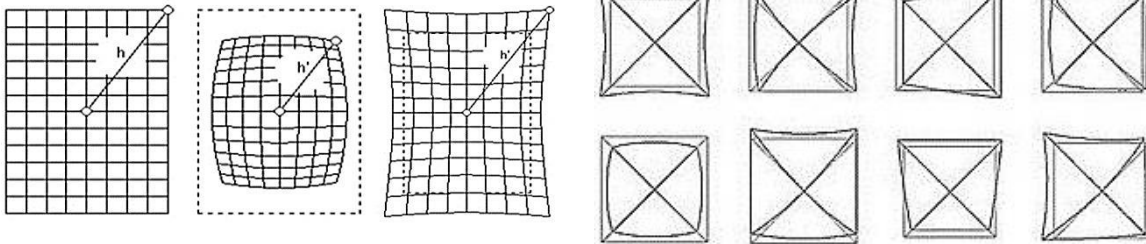
المحور x مساوياً للتغير على المحور y، ومقعر أو محدب كما في الشكل (2-7)

○النموذج الثاني: التشوه الغير مركزي (Decentering Distortion): هذا النوع

من التشوه يعتبر غير متساوي القيم بالنسبة لمركز الصورة حيث يعتبر التشوه على

المحور x غير مساوي للمحور y، والشكل (3-7) يوضح بعض أشكال التشوه

غير المنتظم.



الشكل (2-6): أشكال التشوه الغير المركزي [18] الشكل (3-6): أشكال التشوه المركزي [18]

- أبعاد الحساس (film back size): الحساس بشكل عام هو عبارة عن شريحة مستطيلة

الشكل ويتم من خلاله التقاط الأشعة الضوئية المنعكسة من الجسم والمارة من خلال

العدسة، لدينا نوعين من الحساسات: CCD (Charge Coupled Device) و CMOS

(photo transistor with "on pixel" electronics)

●الوسائط الخارجية

فهي الوسائط التي تحدد مكان وتوجيه الكاميرا بالنسبة لجملة إحداثيات معروفة ومحددة سواء

أكانت محلية أو مربوطة بالشبكة العامة. يتم تقدير هذه الوسائط من خلال إيجاد التحويل الذي

يشمل الانتقال والدوران بين إحداثيات الكاميرا وجملة الإحداثيات. ويتم تحديد التوجيه الخارجي

للكاميرا من خلال البرمجية المختارة في عملية النمذجة أثناء عملية الانتقاء الآلي أو اليدوي للنقاط

المشتركة ضمن الصور. يتألف التوجيه الخارجي من مرحلتين :

- التوجيه النسبي : ربط عناصر التوجيه الخارجية من آلة تصوير واحدة عن طريق ربط

نظام إحداثيات صورة بأخرى.

- التوجيه المطلق : و يقوم على ربط نظام إحداثيات جميع الصور مع إحداثيات الموقع أو

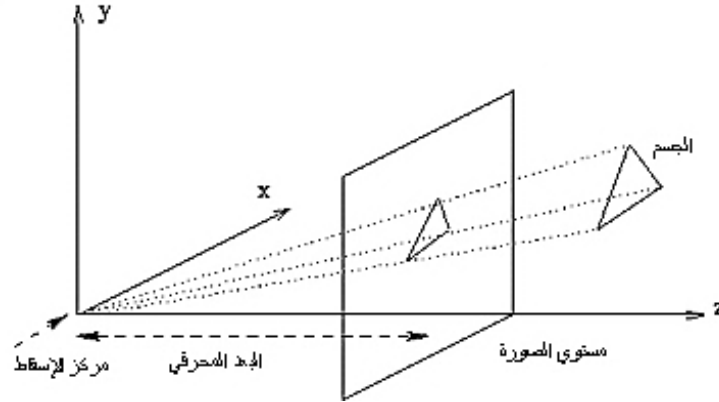
الإحداثيات العالمية.

ملحق (2): الإسقاط المنظوري والتحويل الهيموغرافي

يعتبر الإسقاط المنظوري عبارة عن إسقاط مركزي من مستوي الجسم إلى مستوي الصورة آخر غير مواز له .حيث تلتقي أشعة الإسقاط في نقطة واحدة تسمى مركز الإسقاط وبالتالي يعوض هذا التحويل عن التشوهات الناتجة عن ميلان محور التصوير، وعندما يكون مستوي الجسم موازياً تماماً لمستوي الإسقاط يصبح تأثير الإسقاط المنظوري متعلقاً فقط بعامل المقياس.

نتائج الأسقاط المنظوري:

- بالنسبة للخطوط في الأجسام الثلاثية تبقى خطوط ثنائية الأبعاد
- المسافات والزوايا لا تبقى بالشكل نفسه
- الإسقاط المنظوري لا يحافظ على توازي المستقيمات باستثناء المستقيمات الموازية للفصل المشترك بين المستويين (مستوي الإسقاط ومستوي الصورة)

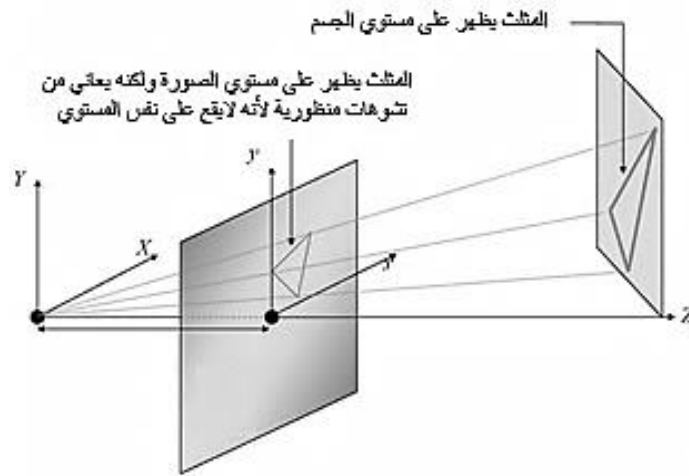


الشكل (4-6): الإسقاط المنظوري [18]

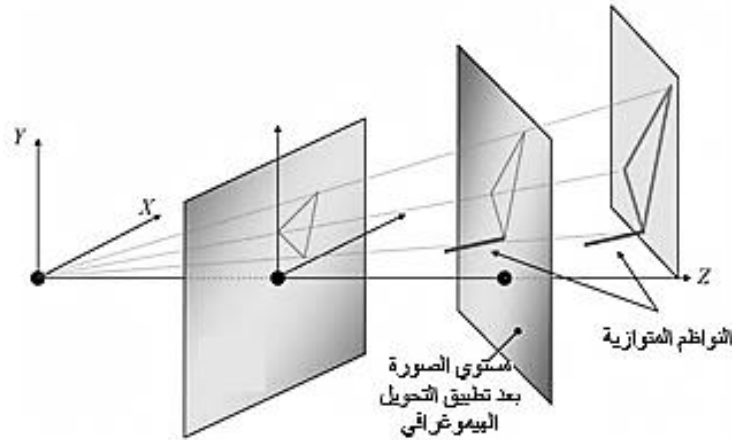
بينما يعتبر التحويل الهيموغرافي بأنه عملية تحويل مستوي الصورة إلى مستوي صورة موازي للمستوي الذي قمنا بتصويره والانتقال من الإسقاط المنظوري إلى الإسقاط المتوازي. ومصفوفة التحويل هي عبارة من مصفوفة 3×3 تحوي على 8 مجاهيل ولذلك عند تطبيق المصفوفة نحتاج إلى على الأقل أربعة نقط معروفة الإحداثيات على مستوي الصورة . تقوم المصفوفة H بتحويل X (إحداثيات نقاط الصورة) إلى X RECT (إحداثيات جملة الصورة المقومة الموازية للمستوي المدروس)، وذلك بجعل الناظم على مستوي الصورة المقوم موازي للناظم على مستوي الصورة في الواقع.

نلاحظ أن المثلث في الشكل (5-6) الذي يظهر في مستوي الصورة لا يشابه المثلث المدروس في المستوي الحقيقي (الزوايا غير متساوية مع مقابلاتها والأضلاع غير متناسبة مع مقابلاتها). أما في

الشكل (6-6) أن الناظم على مستوي الصورة المدروس غير موازي لمستوي الصورة وبعد تطبيق مصفوفة التحويل الهيموغرافي نجد أن الناظم على مستوي الصورة أصبح موازيا للناظم على مستوي الصورة الحقيقي.



الشكل (5-6): مستوي الصورة قبل تطبيق التحويل الهيموغرافي [18]

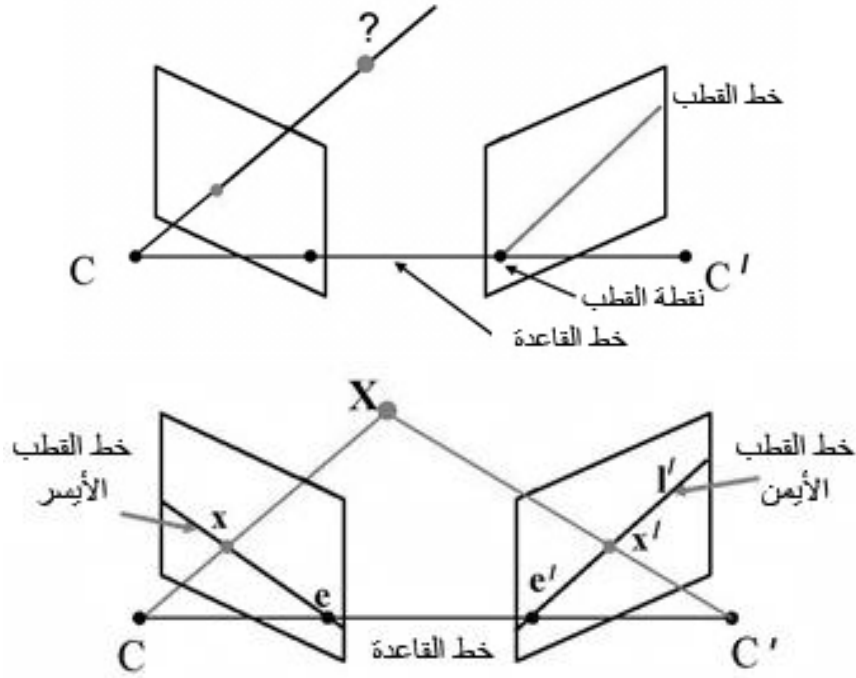


الشكل (6-6): مستوي الصورة بعد تطبيق التحويل الهيموغرافي [18]

الملحق(3):حساب الإحداثيات الثلاثية الأبعاد:

يتم حساب الإحداثيات الثلاثية الأبعاد للنقاط وفق المبدأ التالي:

لدينا مركزي الإسقاط للكاميرتين c و c' يمر شعاع الضوئي لنقطة غير معلومة الإحداثيات من المركز c . يسمى الخط الواصل بين مركزي الإسقاط بخط القاعدة (baseline) ويتقاطع خط القاعدة المار من c مع مستوي الصورة الثانية في نقطة القطب (epipole) التي يمر منها خط القطب (epipolar line) الذي يكون موازيا للشعاع الضوئي المار من مركز الإسقاط c وبالتالي نستطيع تحديد إحداثيات النقطة x من خلال الشعاع المار من c' والمتقاطع مع خط القطب الشكل(6-7)



الشكل(6-7) كيفية حساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد[18]

ملحق (4) آلات التصوير:

• أقسام آلات التصوير الرئيسية:

بشكل عام تتكون من [21]:

- العدسات (lences): ويمكن أن تكون عدسة وحيدة أو عدسة مركبة ذات البعد المحرق متغير.

- الغالق (Shutter) : وإما أن يكون يدوي أو الكتروني.

- محدد التصوير (view finder): تستخدم لتحديد الصورة.

- الحساس (Sensor): هو مجموعة من ملايين حساسات فلاتر الألوان أو البيكسلات التي تحول الفوتونات الضوئية لإلكترونات.

- مضخم (amplifier) : لتضخيم الإشارة الناتجة عن الحساس

- مسجل إشارة رقمي لتخزين الصورة بشكل رقمي

- معالج لتحويل البيانات إلى صورة مرئية

- أي أداة لتخزين بيانات - قابلة للفصل عادة (بطاقة ذاكرة)

- مصدر للطاقة أو وحدة تخزين: بطاريات عادية أو بطارية القابلة للشحن

تمر الأشعة الضوئية المنعكسة من الجسم من خلال العدسة إلى الحساس مروراً بالمرشحات يتشكل لدينا خيال للجسم على الحساس ثم يقوم الحساس والملحقات التابعة له بتحويل هذا الخيال إلى شكل رقمي (بيكسلات) يخزن على وحدة التخزين أو الفيلم .

• أنواع آلات التصوير [18]:

تعريف الكاميرا الرقمية:

هي كاميرا تلتقط صور بشكل الكتروني بدلاً من استخدام الأفلام، وتأتي أغلب الآلات من هذا النوع مرفقة بشريحة ذاكرة تختلف أحجامها باختلاف أنواعها لتخزين كم أكبر من الصور، وتسمح كل الكاميرات الرقمية بعرض الصور و حذف الغير مرغوب فيها قبل طباعتها وبالتالي تختصر عملية التحميض.

الفرق بين الكاميرا الرقمية والكاميرا الفلمية:

لا فرق سوى في طريقة استقبال و الاحتفاظ بالصورة الملتقطة، ففي كاميرا الفيلم تنطبع الصورة المتكونة من ومضة الضوء المارة بالعدسة على شريط مطلي بمواد كيميائية أهمها نترات الفضة الحساسة للضوء يتم تظهيرها، بعد ذلك نبقعها في مواد كيميائية تتم طباعتها على ورق التصوير.

لم تكن عملية كهذه تحتاج كهربائية في آلة التصوير والعملية عبارة عن تفاعل كيميائي، وكان يتم تدوير الفيلم لاستقبال اللقطة التالية بواسطة ذراع ميكانيكي .

أما آلة التصوير الرقمية التي لا تعمل دون طاقة كهربائية فتستقبل الصورة من خلال مكشاف ضوئي حيث تستقبل ملايين فوتونات وتعالجها إلكترونياً تمهيداً لتخزينها داخل الكاميرا على شكل صورة ذاكرة رقمية مؤلفة من وحدة تسمى البيكسل .

أتاح وجود معالج الكتروني داخل الكاميرا إمكانية القيام بالكثير من العمليات على الصورة الملتقطة كالتدوير والحذف، كما مكن من تطبيق المؤشرات قبل التصوير كالتصوير الأبيض والأسود و لعل أهم مزايا الكاميرا الرقمية السرعة، فمع التصوير الرقمي يمكن التقاط الصورة و تخزينها على الحاسوب في أقل من دقيقة لاستخدامها في تطبيقات مختلفة بعد معالجتها بالبرمجيات المناسبة.

أنواع الكاميرات الرقمية:

• كاميرات بسيطة (compact):

وهي كاميرات الرقمية العادية ، معظم الناس يستخدمون هذا النوع حيث يتميز بعدد قليل جداً من الكاميرات بميزات قبل سرعة الفالق و فتحة العدسة أما القسم الأكبر لا يسمح بالتصوير إلا بوضع الاتوماتيكي ، بحيث لا يحتاج صاحب الكاميرا إلى ضبطها قبل عملية التصوير .

• كاميرات فائقة الصغر (ultra compact):

تسمى كاميرات الجيب وهي نوع آخر من كاميرات كومباكت و لكنها صغيرة الحجم و تحمل مواصفات كاميرات العادية.

• كاميرات متطورة (advanced):

وهي نوع متطور من الكاميرات من حيث الحجم و الإمكانيات فهي أكبر حجم، و بالتالي تعطي تحكم بالكاميرا أفضل وتحتوي على مواصفات أعلى مثل :

عدسات ذات زووم عالي ، و يتميز بالقدرة على التحكم اليدوي الكامل في الكاميرا مثل تحكم بفتحة العدسة و سرعة الغالق، كما يحتوي على خاصية منع الاهتزاز .

• الكاميرات الاحترافية (Professional):

هي كاميرات أكثر احترافية و سعرها أعلى وتقدم صور عالية الدقة و هناك تحكم كامل في كاميرا بدرجة أعلى من كاميرات شبه احترافية، وتتراوح أبعاد الحساس بين 6 بكسل إلى 17

ميغابيكسل

ملحق(5):الصورة الرقمية[8]:

إن مختلف عناصر الجسم تعكس الضوء بنسبة تتفاوت حسب درجة اللون ،وبذلك تتمايز وتظهر عناصر الجسم المصور عن طريق قياس كمية الضوء المنعكس من الجسم وترميزه للمعلومات ضمن خلايا وهي عناصر الصور (بيكسلات) . وبالتالي الصور الرقمية ليست إلا مصفوفة من الأرقام التي تعبر عن لون محدد لكل عنصر منها، و رقم السطر و رقم العمود يدل على مكان اللون في الصورة.

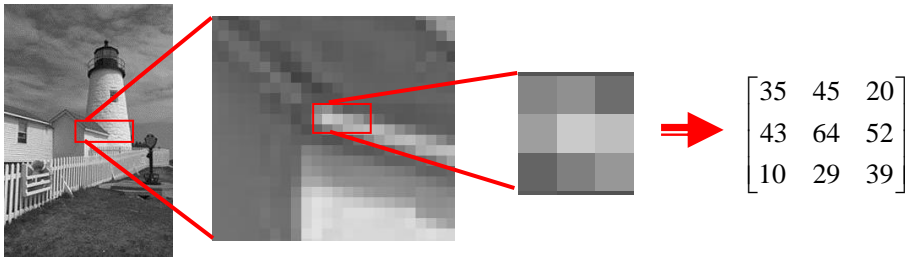
تمر الأشعة الضوئية المنعكسة من الجسم من خلال العدسة إلى الحساس مرورا بالمرشحات وبالتالي يتشكل لدينا خيال للجسم على الحساس ثم يقوم الحساس والملحقات التابعة له بتحويل هذا الخيال إلى شكل رقمي(بيكسلات) يخزن على وحدة التخزين أو الفيلم .

•أنواع الصور الرقمية حسب قنوات اللون:

تعرف القناة بمجال من الطيف الضوئي الذي يقوم الحساس باستشعاره وبالتالي تنقسم الصور إلى:

- صور ثنائية(Binary Image) :هي عبارة عن مصفوفة تحوي على قيم 0 اللون الأسود والقيمة 1 اللون الأبيض

- صور رمادية (ray levels Image) :هي عبارة عن مصفوفة واحد(قناة واحدة) تحوي على عناصر تتراوح قيمتها بين 0 و 255 تعطي تدرجات اللون الرمادي



الشكل(6-8): الصور الرمادية[8]

- صور ملونة (Color Image):وتضم ثلاث قنوات أحمر و أخضر و أزرق

RGB حيث قيم كل قناة (مصفوفة) تحوي على عناصر تتراوح بين [0, 255] تدل

على التدرج اللوني ضمن كل قناة حسب حيث أن كل بيكسل مؤلف من ثلاث

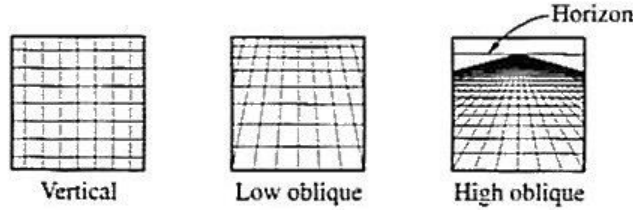
مكونات:XR [0 255] -XB [0 255] -XG [0 255].



الشكل (6-9): الصور الملونة [8]

أنواع الصور حسب ميلان محور التصوير: وهي ثلاثة أنواع

- الصور العمودية (Vertical image): وهي الصور التي يكون فيها المحور الرئيسي شاقولياً أو قريباً من الشاقول ، وتعتبر الصور عمودية إذا لم يتجاوز ميل المحور الرئيسي لها خمس درجات عن الشاقول.
- الصور المائلة (Oblique image): وهي الصور التي يكون فيها المحور الرئيسي مائلاً عن الشاقول بأكثر من خمس درجات ، لكن خط الأفق لا يظهر على الصورة
- الصور البانورامية (panoramic image): وهي الصور التي يكون فيها المحور الرئيسي مائلاً و يظهر الأفق على الصورة.



الشكل (6-10) الصور حسب ميلان محور التصوير [8]

المراجع العربية:

- 1- اتفاقية اليونسكو لحماية التراث الثقافي والطبيعي التي عقدت في المؤتمر العام في دورة السابعة عشر عام 1972.
 - 2 - المالكي، قبيلة فارس، 2004 - التراث العمراني والمعماري في الوطن العربي. منشورات جامعة بغداد، ص: 12-30.
 - 3- الجهاز القومي للتنسيق الحضاري، 2009- أسس ومعايير التنسيق الحضاري للمباني والمناطق التراثية. وزارة الثقافة، القاهرة، ص: 50-64.
 - 4- رمضان، محمود، 2002 - الاستخدام الأمثل للصور الفضائية والجوية في إدارة المشاريع الهندسية في سوريا، منشورات جامعة حلب، حلب - سوريا
 - 5- الخليل، د. عمر، ديب، د. فايز، 2012: توثيق المنشآت الأثرية باستخدام النمذجة ثلاثية الأبعاد متعددة الصور، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية المجلد الثامن والعشرون - العدد الثاني، ص 91-95
 - 6- الخليل، محمد، 2002-المسح الضوئي الليزري الثلاثي الأبعاد في توثيق التراث المعماري، مجله هندسة المساحة، عدد 12، منشورات نقابة المهندسين، حلب-سوريا، ص: 40-43
 - 7--حسن. محمد، قطيني. حازم، كامل. طارق، 2011: استخدام الماسح الليزري في توثيق خان الشونة بمدينة حلب، مجله هندسة المساحة، عدد 28، منشورات نقابة المهندسين، حلب-سوريا، ص: 98-101
 - 8- بشير، بشار، 2006- تطوير خوارزمية لتحسين الدقة التمييزية للصور الرقمية، قسم الهندسة الطبوغرافية كلية الهندسة المدنية، مجله هندسة المساحة، عدد 5، منشورات نقابة المهندسين، حلب-سوريا، ص: 33-38
- المراجع الأجنبية:

9-SCHERER M. , 2002-ABOUT THE SYNTHESIS OF DIFFERENT METHODS IN SURVEYING. PROCEEDINGS OF XVIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF CIPA, POTSDAM, GERMANY.

10 - INTERNATIONAL WORK SHOP OF SCANNING FOR CULTURE HERITAGE RECORDING, SEPT2002, PROCEEDING OF CIPA WG6 ' CORFU, GREECE.

- 11 -HICHRI N., STEFANI C., DE LUCA L., VERONA P., 2013- **3D VIRTUAL RECONSTRUCTION AND VISUALIZATION OF COMPLEX ARCHITECTURES**. INTERNATIONAL ARCHIVES OF REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, VOLUME XL-5/W., TRENTO – ITALY.
- 12- MÜLLER P., VEREENOGHE T., WONKA P., 2006- **PROCEDURAL 3D RECONSTRUCTION OF PUUC BUILDINGS IN XKIPCHÉ**. THE 7TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, ARCHAEOLOGY AND CULTURAL HERITAGE, ARIZONA, STATE UNIVERSITY.
- 13 -PENARD L., PAPANODITIS N., PIERROT-DESEILLIGNY M., 2005- **3D BUILDING FACADE RECONSTRUCTION UNDER MESH FORM FROM MULTIPLE WIDE ANGLE VIEWS**. ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND, VOL. 36(5/W17), VENICE, ITALY.
- 14-SCHINDLER K., BAUER J., 2003: **A MODEL-BASED METHOD FOR BUILDING RECONSTRUCTION**. ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND, VOL. 36(5/W17), VENICE, ITALY.
- 15 - AKBAYLAR M., HAMAMCIOĞLU.,TURAN , 2007 - **DOCUMENTATION OF A VERNACULAR HOUSE WITH CLOSE-RANGE DIGITAL PHOTOGRAMMETRY**. INTERNATIONAL CIPA SYMPOSIUM, ATHENS, GREECE.
- 16 -GRUSSENMEYER P., GUILLEMIN S., 2009 - **PHOTOGRAMMETRY AND LASER SCANNING IN CULTURAL HERITAGE DOCUMENTATION**. COMPUTER SCIENCES AND REMOTE SENSING LABORATORY ,PHOTOGRAMMETRY AND GEOMATICS GROUP, INSA STRASBOURG
- 17-POLLEFEYS M., 2009 - **VISUAL 3D MODELING FROM IMAGES**. UNIVERSITY OF NORTH CAROLINA, CAROLINA, USA
- 18- HANKE K., GRUSSENMEYER P., 2002 - **ARCHITECTURAL PHOTOGRAMMETRY: BASIC THEORY, PROCEDURES, TOOLS**. ISPRS COMMISSION TUTORIAL, CORFU, GREECE
- 19-KUKOLJ D., MIHAJLOVIC D., 2009, **EXPERIENCES AND PROCEDURES ON MAKING TECHNICAL DOCUMENTATION FOR THE OBJECTS OF HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE**. UNIVERSITY OF BELGRADE, SERBIA

20-ANDRÉ F., FRANK A., 2008- **POTENTIAL AND LIMITATION FOR THE 3D DOCUMENTATION OF CULTURAL HERITAGE FROM A SINGLE IMAGE.** FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND GEOSCIENCES, SECTION OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, DELFT

21- DE LUCA L., 2009- **LA PHOTOMODELISATION ARCHITECTURALE : RELEVÉ, MODELISATION, REPRESENTATION D'ÉDIFICES À PARTIR DE PHOTOGRAPHIES.** GROUPE EYROLLES, FRANCE.

22- MORENO F., 2008- **PHOTOMODELING OF THE FOUNTAIN IN THE SAINT-JEAN CLOISTER.** ARCHITECTURAL IMAGE-BASED-MODELING WEB PORTAL. COPYRIGHT 2009 UMR CNRS/MCC 694 MAP-GAMSAU

23-BERNARDINI F., RUSHMEIER H., MARTÍN I.M., MITTLEMAN J., AND TAUBIN G., 2002- **BUILDING A DIGITAL MODEL OF MICHELANGELO'S FLORENTINE PIETA.** IEEE COMP. GRAPH. AND APPLIC, FRANCE

24- PIERROT M., CLERY I., 2009: **APERO, AN OPEN SOURCE BUNDLE ADJUSTMENT SOFTWARE FOR AUTOMATIC CALIBRATION AND ORIENTATION OF SET OF IMAGES.** INVARIANT KEYPOINTS INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER VISION, VOLUME 60, NUMBER 2, PP 91-110, FRANCIS, LONDON.

25-BÖHLER W., MARBS A., 2004- **A COMPARISON OF 3D SCANNING AND PHOTOGRAMMETRY FOR GEOMETRIC DOCUMENTATION IN CULTURAL HERITAGE.** FACHHOCHSCHULE MAINZ, PAGES 86, GERMANY.

26-ADEL HADDAD, N., 2010- **FROM GROUND SURVEYING TO 3D LASER SCANNER: A REVIEW OF TECHNIQUES USED FOR SPATIAL DOCUMENTATION OF HISTORIC SITES.** DEPARTMENT OF CONSERVATION SCIENCE, QUEEN RANIA INSTITUTE OF TOURISM AND HERITAGE, JORDAN

27- JONES, D., 2007- **3D LASER SCANNING FOR HERITAGE,** ENGLISH HERITAGE PUBLISHING. NEW CASTLE UNIVERSITY, ENGLAND

28-international work shop of scanning for culture heritage recording, septembr 2002, Proceeding of cipa wg6, corfu, greece

30-PIERROT M., DE LUCA L., 2012 - **AUTOMATED IMAGE-BASED PROCEDURES FOR ACCURATE ARTIFACTS 3D MODELING AND ORTHOIMAGE GENERATION ARCHAEOLOGICAL EXCAVATION .XXII ISPRS CONGRESS, MELBOURNE,**

AUSTRALIA

31-EVOYM.,2002- **THE DIGITAL MICHELANGELO PROJECT: 3D SCANNING OF LARGE STATUES.** ISPRS COMMISSION TUTORIAL, CORFU, GREECE.

32- AGUILERA G., LAHOZ J., 2008- **LASER SCANNING OR IMAGE-BASED MODELING? A COMPARATIVE THROUGH THE MONETIZATION OF SAN NICOLAS CHURCH.** PROC.OF INTERNATIONAL WORKSHOP ON RECREATING THE PAST -VISUALIZATION AND ANIMATION OF CULTURAL HERITAGE, AYUTTHAYA, THAILAND.

32-BRIESE CH., PFEIFER N., 2009- **APPLICATIONS OF THE ROBUST INTERPOLATION FOR DTM .**INSTITUTE OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, PE 27-29, VIENNA, AUSTRIA.

33- TUCCI G., BONORA V., NOBILE A.,2009- **INNOVATIVE SURVEY ETHODS FOR THE DIGITAL DOCUMENTATION OF VERNACULAR ARCHITECTURAL HERITAGE IN SYRIA.**UNIVERSITY OF FLORENCE, DEPT. OF RESTORATION AND CONSERVATION OF ARCHITECTURAL HERITAGE, 50121 FLORENCE, ITALY

المواقع:

34-TTP://WWW.PHOTOMODELER.COM/PRODUCTS/PHOTOMODELER/ABOUT
_CAMERAS.HTM

35-WWW.TRIMBLE.COM

36- www.rollie.org

الفهرس

- 1 -: الباب الأول :
- 1 -: توظيف النمذجة الثلاثية الأبعاد في عملية التوثيق المعماري الأثري
- 2 -: الفصل الأول: 1 مفهوم عملية التوثيق المعماري والأثري:
- 2 -: 1.1 التراث الحضاري:.....
- 2 -: 1.1.1 تعريف التراث الحضاري:.....
- 3 -: 1.1.2 أهمية الحفاظ على التراث الحضاري و أسباب تدهوره:.....
- 4 -: 1.1.3 كيفية الحفاظ على التراث المعماري و العمراني:
- 6 -: 1.2 التوثيق المعماري والأثري:.....
- 6 -: 1.2.1 تعريف التوثيق المعماري والأثري:.....
- 7 -: 1.2.2 أهمية التوثيق المعماري والأثري:.....
- 8 -: 1.2.3 طرق التوثيق المعماري والأثري
- 9 -: الفصل الثاني : 2 النمذجة الثلاثية الأبعاد للمعالم والمواقع الأثرية:.....
- 9 -: 2.1 تعريف النمذجة الثلاثية الأبعاد ومجالات استخدامها:.....
- 10 -: 2.2 تصنيف النماذج الثلاثية الأبعاد المستخدمة في عملية النمذجة:.....
- 10 -: 2.2.1 نماذج وسائطية أو غير وسائطية:(parametric or non-parametric Models) :.....
- 10 -: 2.2.2 النماذج العامة أو التجزئية للجسم (global or local Models) :.....
- 11 -: 2.2.3 النماذج غير الضمنية (الصريحة) أو الضمنية(explicit or implicit Models) :.....
- 12 -: 2.3 طرق نمذجة الأجسام والعناصر المعمارية:.....
- 12 -: 2.3.1 الطرق الإجرائية (procedural methods) :.....
- 16 -: 2.3.2 طريقة النمذجة بناءً على المعلومات المستخرجة من الغيوم النقطية (data-driven starting from a point) :.....
- 19 -: 2.3.3 طريقة النمذجة بناءً على مجموعة من نظريات النموذج الأساس (model-based methods) :.....
- 21 -: نتائج الباب الأول:
- 24 -: الباب الثاني :
- 24 -: طرق التوثيق المعماري والأثري باستخدام النمذجة الثلاثية الأبعاد و اعتبارات استخدامها (دراسة مقارنة)

الفصل الثالث: طرق التوثيق المعماري والأثري باستخدام النمذجة الثلاثية الأبعاد - 26 -

3.1. التوثيق المعماري والأثري باستخدام المساحة التصويرية: - 26 -

3.1.1. تعريف المساحة التصويرية وأنواعها: - 26 -

3.1.2. مجالات استخدام المساحة التصويرية: - 28 -

3.1.3. مبادئ الحساب في المساحة التصويرية: - 29 -

3.1.4. التوثيق المعماري والأثري باستخدام المساحة التصويرية: - 31 -

3.1.5. خطوات العمل التوثيقي باستخدام المساحة التصويرية: - 41 -

3.2. التوثيق المعماري باستخدام المسح الليزري: - 50 -

3.2.1. تعريف المسح الليزري: - 50 -

3.2.2. المجالات الملائمة لاستخدام المسح الليزري: - 53 -

3.2.3. خطوات التوثيق المعماري باستخدام المسح الليزري: - 54 -

3.2.4. خطوات العمل باستخدام المسح الليزري: - 55 -

الفصل الرابع: اعتبارات استخدام تقنيات المساحة التصويرية والمسح الليزري في العمل التوثيقي: .. - 62 -

4.1. اعتبارات استخدام تقنيات المساحة التصويرية في العمل التوثيقي: - 63 -

4.1.1. نوع آلة التصوير أو الكاميرا المستخدمة: - 63 -

4.1.2. دقة العمل بتقنيات المساحة التصويرية: - 64 -

4.1.3. كلفة العمل بتقنيات المساحة التصويرية: - 64 -

4.1.4. سرعة العمل بتقنيات المساحة التصويرية: - 65 -

4.1.5. مؤهلات كادر العمل بتقنيات المساحة التصويرية: - 67 -

4.1.6. إشكاليات العمل ضمن الموقع: - 68 -

4.2. اعتبارات استخدام تقنية المسح الليزري في العمل التوثيقي: - 68 -

4.2.1. نوع المسح الضوئي المستخدم: - 68 -

4.2.2. دقة العمل باستخدام تقنيات المسح الليزري: - 70 -

4.2.3. كلفة العمل باستخدام تقنيات المسح الليزري: - 70 -

4.2.4. سرعة العمل باستخدام تقنيات المسح الليزري: - 71 -

4.2.5. مؤهلات كادر العمل بتقنيات المسح الليزري: - 72 -

4.2.6. إشكاليات العمل ضمن الموقع: - 72 -

5. الفصل الخامس: نتائج عملية المقارنة بين طرق التوثيق المعماري والأثري: - 74 -

5.1. التجربة العملية والنتائج: - 74 -

5.1.1. مرحلة استخدام تقنية المسح الليزري: - 74 -

5.1.2. مرحلة استخدام تقنية المساحة التصويرية: - 75 -

5.2. النتائج: - 76 -

- 78 - نتائج الباب الثاني:

- 83 - النتائج النهائية:

- 86 - التوصيات

- 88 - الملاحق

جدول الأشكال		
رقم الصفحة	الشكل	رقم الشكل
13	المجال أو scope (12)	الشكل (1-2)
15	بعض نماذج الواجهات المكتشفة ضمن موقع عمارة المايا (12)	الشكل (2-2)
15	أجزاء العامة للواجهات الرئيسية والجانبية (واجهة -مقطع) (12)	الشكل (3-2)
15	بعض نماذج الواجهات التي تمت نمذجتها بالطرق الإجرائية (12)	الشكل (4-2)
16	حساب الإحداثيات الثلاثية البعد عن طريق تقنية حيز الصورة (13)	الشكل (5-2)
17	الواجهة بعد القيام بعملية الفلترة (13)	الشكل (6-2)
17	الواجهة بعد عملية التحسين (13)	الشكل (7-2)
17	الشبكة الأولية (13)	الشكل (8-2)
18	النموذج النهائي لواجهة المبنى بعد الانتهاء من عملية الإكساء (13)	الشكل (9-2)
18	النموذج الذي يتم الحصول عليه باستخدام الماسح الليزري (13)	الشكل (10-2)
20	مراحل الخطوة الأولى من التقاط الصور ثم تشكيل الغيمة النقطية وتحديد السطوح الأولية (14)	الشكل (11-2)
20	تحديد الخطوط الأساسية للواجهة وإجراء عملية التقطيع للفتحات والبروزات (14)	الشكل (12-2)
20	يوضح النموذج النهائي للدير (14)	الشكل (13-2)
21	الحصول على نموذج للجسم من خلال توليد غيمة نقطية (10)	الشكل (14-2)
22	نمذجة عمود باستخدام الأشكال البدائية نلاحظ التحكم بارتفاع من خلال بيانات الصورة (10)	الشكل (15-2)
22	نمذجة مبنى أثري باستعمال مبدأ تمثيل الحدود (10)	الشكل (16-2)
26	تشكيل نموذج ثلاثي أبعاد من خلال مجموعة من الصور (16)	الشكل (1-3)
28	التداخل الطولي والعرضي بين الصور الملتقطة من الطائرة	الشكل (2-3)
28	الحصول على مسقط لقلعة سالس - فرنسا من خلال صور ملتقطة من طائرة هوليكبتر (11)	الشكل (3-3)
29	بعض تقنيات تثبيت الكاميرا أثناء التقاط الصور	الشكل (4-3)
29	نموذج ثلاثي الأبعاد لتمثال حجري (17)	الشكل (5-3)
29	استكمال قبة كنيسة سمعان - حلب (17)	الشكل (6-3)
30	نتائج المعايرة لصور برج قلعة حلب الجنوبي (إعداد الباحثة)	الشكل (7-3)
33	صورة مصححة لواجهة الجنوبية لجامع العثمانية -المديرية العامة للآثار والمتاحف، المدينة القديمة ، حلب	الشكل (8-3)

33	واجهة لكنيسة شمال شرق الواقعة ضمن مجمع قلعة سمعان مشروع تطوير قلعة -سمعان -المديرية العامة للآثار والمتاحف المدينة القديمة،حلب	الشكل(3-9)
33	صورة مصححة لمنزل المصطفى السامي في اسطانبول تم التقاط مجموعة من الصور وتصحيحها وجمع هذه الصور باعتماد على برامج التصميم بمعونة الحاسب للحصول على النتيجة النهائية(19)	الشكل (3-10)
34	صورة مقومة لبوابة ادريانوس Gate of Adrianos في أثينا(19)	الشكل (3-11)
35	صورة مقومة لبقايا جدار خارجي نلاحظ وجود بقع سوداء نتيجة الإسقاط العمودي لجميع المستويات(19)	الشكل (3-12)
36	الحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد من صورة وحيدة (20)	الشكل (3-13)
36	الكاميرا المستخدمة في التقاط زوج من الصور انياً(18)	الشكل(3-14)
37	:صورتين ملتقطتين أنياً للحصول على نموذج ثنائي البعد لواجهة المسرح الوطني في أثينا(18)	الشكل(3-15)
38	التقاط زوج من الصور(18)	الشكل (3-16)
39	انشاء نموذج حتمي للعمود من خلال مجموعة من الصور(21)	الشكل(3-17)
39	مواقع آلات التصوير بالنسبة للشكل المعماري(21)	الشكل(3-18)
41	مراحل العمل باستخدام تقنيات المساحة التصويرية	الشكل(3-19)
42	بعض الصور الملتقطة لنافورة دير سانت جابن(22)	الشكل (3-20)
43	نقاط المعايرة واتجاه المحاور x,y,z(22)	الشكل(3-21)
44	لنموذج الثلاثي الأبعاد النهائي(22)	الشكل(3-22)
44	العمليات المتاحة ضمن البرمجية والتي تمكننا من إنشاء نموذج للعمود(21)	الشكل(3-23)
45	اكساء النموذج النهائي(21)	الشكل (3-24)
46	خطوات تشكيل النموذج الثلاثي الأبعاد للواجهات الخارجية لحمام يلبغا - حلب(اعداد الباحثة)	الشكل(3-25)
47	موقع مواقع التصوير بالنسبة لموقع(.piazza navona) والغيمة النقطية الناتجة عن معالجة الصور باستعمال برمجية(MicMac)(24)	الشكل(3-26)
49	صورة النموذج الأصلي والنموذج الثلاثي الأبعاد والمخطط الثنائي البعد التفصيلي الناتج عن الحصول على صور اورثوفوتو مصدرة إلى برنامج (5)(autocad)	الشكل(3-27)
50	غيمة نقطية تمثل واجهة في البتراء - الأردن ناتجة عن مسح الماسح الليزري من 5 نقاط مختلفة(21)	الشكل(3-28)
54	طرق تثبيت الماسح الليزري أثناء العمل في الموقع الأثري(25)	الشكل(3-29)

54	استخدام الماسح الليزري في الأعمال الترميمية الدقيقة في إيجاد تمثال شبيه لتمثال الإمبراطور كالجوليا(27)	الشكل(30-3)
54	استخدام الماسح الليزري في مسح المواقع الأثرية جوا- مقاطعة لينكوشير في انجلترا(27)	الشكل(31-3)
54	من خلال الماسح تم الحصول على معلومات حول معدل الكثافة للحفرية المكتشفة(27)	الشكل(32-3)
54	استخدام الماسح الليزري في مسح المواقع التي تتغير بفعل عوامل الجو والرطوبة (تقييم تهديد الكساد الساحلي في دير ويتبي، إنجلترا(27))	الشكل(33-3)
54	استخدام الماسح الليزري في مسح المواقع الأثرية جوا (مسح لتضاريس غابة دين في ويلشيري، إنجلترا(27)	الشكل(34-3)
55	خطوات العمل باستخدام الماسح الليزري	الشكل(35-3)
56	إحداثيات الكاميرا بالنسبة للماسح(7)	الشكل(36-3)
57	أثر الخطأ في عملية الربط على المسافات البعيدة(7)	الشكل(37-3)
57	الشكل(2-37):انتشار الأخطاء مع الانتقال في الربط(7)	الشكل(38-3)
58	إعادة تشكيل النماذج(7)	الشكل(39-3)
59	النموذج بعد تلوين النقاط(7)	الشكل(40-3)
59	النموذج النهائي لخان الشونة(7)	الشكل(41-3)
60	من غيمة نقطية إلى شبكة تثلث(7)	الشكل(42-3)
60	من نموذج سطحي رقمي (DSM) إلى نموذج تضاريسي رقمي (DTM) (29)	الشكل(43-3)
61	خطوات الحصول على نموذج رقمي	الشكل(44-3)
61	خطوات الحصول على نموذج تضاريسي	الشكل(45-3)
61	واجهة خان الشونة بعد عمل اكساء (Texture)(7)	الشكل(46-3)
64	دقة الصورة في تمييز التفاصيل(زخرفة من مذبح كنيسة سمعان - حلب) مشروع توثيق قلعة سمعان -مديرية الآثار والمتاحف -حلب	الشكل(1-4)
69	"هيوضح محور الحركة الشاقولي و b يوضح محور الحركة الأفقي و d محور الدوران الشاقولي و c محور الدوران الأفقي و e رأس الماسح(31)	الشكل(2-4)
70	a : يوضح كاميرا التصوير الملحقة بالماسح والشكل (b) يوضح مسار الكاميرا بشكل قوس أما الشكل (c) يوضح عدد من الصور الملتقطة لإكساء النموذج [31]	الشكل(3-4)
73	توضح امتصاص جزء من أشعة الليزر من قبل المادة(6)	الشكل(4-4)

74	البناء العام لكنيسة سان نيكولاس(32)	الشكل(1-5)
76	النموذج النهائي الناتج عن استخدام الماسح الليزري(32)	الشكل(2-5)
77	النموذج النهائي الناتج عن استخدام المساحة التصويرية(32)	الشكل(3-5)
78	النتائج التي يمكن الحصول عليها باستخدام تقنيات المساحة التصويرية(33)	الشكل(4-5)
79	الشكل خطوات العمل بالمسح الليزري(اعداد الباحثة)	الشكل(5-6)
82	خطوات العمل بالمسح الليزري(اعداد الباحثة)	الشكل(5-7)
88	البعد المحرقي ضمن الكاميرا(18)	الشكل(6-1)
89	أشكال التشوه غير المركزي(18)	الشكل(6-2)
90	أشكال التشوه المركزي(18)	الشكل(6-3)
90	الإسقاط المنظوري(18)	الشكل(6-4)
91	مستوي الصورة قبل تطبيق التحويل الهيموغرافي(18)	الشكل(6-5)
91	مستوي الصورة بعد تطبيق التحويل الهيموغرافي(18)	الشكل(6-6)
92	كيفية حساب الإحداثيات الثلاثية الأبعاد(18)	الشكل(6-7)
95	الصور الرمادية(8)	الشكل(6-8)
96	الصور الملونة(8)	الشكل(6-9)
96	الصور حسب ميلان محور التصوير(8)	الشكل(6-10)

الجداول		
رقم الصفحة	محتويات الجدول	رقم الجدول
23	طرق النمذجة الثلاثية الأبعاد(إعداد الباحثة)	الجدول(1-2)
51	نوع الماسح الليزري ونظام مسحه تبعا للدقة ونطاق التشغيل(25)(10) (إعداد الباحثة)	الجدول(1-3)
66	عدد ساعات العمل الحقلية والمكتبية وعدد الصور بالملقطة والمساحة العامة للجسم(30)(21) (إعداد الباحثة)	الجدول(1-4)
71	العلاقة بين حجم العناصر المسوحة (مبنى - واجهة - تمثال) والوقت اللازم لانجاز عملية المسح الحقلية والمعالجة المكتبية(26)	الجدول(2-4)
76	نتائج تجربة توثيق كنيسة سان نيكولاس(32)(إعداد الباحثة)	الجدول(1-5)
80	تلخيص للمقارنة بين تقنية المساحة التصويرية والماسح الليزري(إعداد الباحثة)	الجدول(2-5)

مقدمة عامة:

تتميز الجمهورية العربية السورية بغناها الكبير بالمواقع الأثرية التاريخية، حيث يؤكد خبراء الآثار وجود خمسة آلاف موقع أثري فيها، ولكن ستة مواقع فقط أدرجت حتى الآن على لائحة التراث العالمي، الموقع الرابع ضمن هذه المواقع هو مدينة حلب القديمة التي أدرجت على هذه اللائحة عام 1986 م و تنتشر على مساحة 355 هكتاراً، وفيها أكثر من 150 أثراً هاماً تمثل مختلف الحضارات الإنسانية والعصور المتلاحقة كما تزخر بأنماط معمارية محلية ووافدة ذات قيمة عالمية تاريخياً وفنياً وعلمياً.

لكن هذا النسيج التاريخي أخذ في الاندثار بسبب عدة عوامل منها عوامل الطبيعية وأخرى بشرية منها الانفجار العمراني الحديث الذي طغى على العديد من المناطق التراثية، وغياب الوعي الثقافي، وعدم وجود سياسة حفاظ مناسبة، مما أدى إلى توظيف واستثمار هذه المواقع بشكل غير مناسب، وبالتالي إلى خفض قيمتها التاريخية والجمالية.

ومن هنا تأتي أهمية عملية التوثيق المعماري والأثري في الحفاظ على هذا التراث لما تحويه هذه الخطوة من معلومات وبيانات تاريخية على شكل دراسات نظرية و صور ومخططات ، لا تعتمد فقط على إعطاء صورة حالية للمبنى بل مجموعة من الصور المتعاقبة التي تعكس المراحل التاريخية للمبنى أو الموقع وصولاً إلى الحالة الراهنة، وتعتبر الخطوة التوثيقية خطوة دراسية تحليلية نقوم بها قبل البدء بالعملية الترميمية للحصول على قاعدة بيانات صحيحة ، وبعد الانتهاء من عملية الترميم للحصول على وثيقة جديدة تعبر عن مرحلة من مراحل التطور التاريخي لهذا المبنى أو الموقع .

ونتيجةً للتطور العلمي المتسارع ظهرت تقنيات توثيق حديثة تلغي دور طرق التوثيق التقليدية وفتحت باباً جديداً لنمذجة تراثنا، حيث تمكننا من الحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد يمكن توظيفها في عدد من مجالات مثل: المشاريع الترميمية، الدراسات الأثرية، الأفلام الوثائقية، عرض هذه النماذج على شبكات التواصل العالمية كواقع افتراضي.

ويخلص هذا البحث عرضاً لعدة مفاهيم متعلقة بالتراث الحضاري وعملية التوثيق المعماري والأثري ، كما يعرض مفهوم النمذجة الثلاثية الأبعاد ومدى أهميتها وطرقها ومجالات استخدامها في العمل التوثيقي المعماري والأثري، بالإضافة لاستعراض عدد من تقنيات التوثيق الحديثة وخطوات العمل بها وإشكالياتها، والقيام بمقارنة بين هذه التقنيات ضمن أسس محددة للتوصل لكيفية الحصول على تفاعلية رقمية ثلاثية الأبعاد للمعالم والمواقع المعمارية والأثرية ذات سوية

علمية مرتفعة بدقة مناسبة ووقت وكلفة مختصرة، بالإضافة إلى ذكر عدد التجارب العملية التي تلخص هذه الخطوات والإشكاليات في جميع مراحل العمل التوثيقي وصولاً لذكر نتائج العمل والتوصيات النهائية.

أ- مشكلة البحث:

إن عدم وجود آلية عمل توثيقي، أدى إلى تدهور سوية العمل الترميمي والتأهيلي، مما يجعل وضع آلية عمل توثيقية ضرورة ملحة.

ب- منهجية البحث:

يعتبر منهج البحث نظري تحليلي يقوم على عرض مجموعة من التجارب المحلية والعالمية وتحليلها والمقارنة فيما بينها للتوصل إلى آلية العمل الأنسب للتوثيق المعماري والأثري.

ت- أسباب اختيار الموضوع:

إن أسباب اختيار موضوع البحث تتلخص فيما يلي:

- ضرورة الحفاظ على الهوية المعمارية والعمرانية والهوية الحضارية عموماً، والتي كانت ولا تزال أزمة الحرب التي تعاني منها سوريا تحاول اقتلاعها من جذورها وكمثال على ذلك: تفجير مأذنة الجامع الأموي وتخریب أسواق المدينة وتخریب محيط قلعة حلب.
- وجود عدد كبير من المباني والمواقع الأثرية والتاريخية المسجلة ضمن لائحة المواقع الأثرية في مدينة حلب التي لم تتم عملية توثيقها بعد، بالإضافة إلى وجود عدد كبير من المباني والمواقع الموثقة ولكن ليس بالدرجة العلمية أو بالدقة المطلوبة وذلك بسبب:
-الاعتماد على طرق التوثيق التقليدية التي تعتبر مضيعة للوقت والجهد وعدم استخدام الطرق الحديثة.

-غياب وجود خطة عمل ومنهجية توثيقية علمية.

- غياب وجود فكرة واضحة عن أهمية مفهوم النمذجة الثلاثية الأبعاد وطرقها في توثيق المواقع المعمارية و الأثرية .

- سعي معظم مؤسسات الدولة إلى إيجاد طريقة لتطوير المباني والمواقع الأثرية والتاريخية، سواءً على صعيد استخدام النموذج الثلاثي الأبعاد لفهم مشاكل المواقع الأثرية (المعمارية والإنشائية) بشكل كامل، أو على صعيد الترويج والاستثمار السياحي لهذه المواقع.

ث- هدف البحث:

يهدف البحث إلى:

- التعريف بأحدث الطرق المستخدمة في عملية التوثيق المعماري والأثري.
- التعريف بمفهوم النمذجة الثلاثية الأبعاد في مجال التوثيق المعماري والأثري.
- دراسة مراحل العمل ضمن كل تقنية وذكر خطوات و إشكاليات العمل للتوصل إلى منهجية العمل الأنسب التي يمكن اعتمادها كمرجع في عملية توثيق المواقع الأثرية والتاريخية كنماذج ثلاثية الأبعاد بعد المقارنة بين هذه التقنيات ضمن أسس محددة.

ج- محتوى البحث:

يتألف البحث من ثلاثة أبواب رئيسية يمكن تعريفها كما يلي:

• الباب الأول: توظيف النمذجة الثلاثية الأبعاد في عملية التوثيق المعماري والأثري

ويتألف من فصلين رئيسيين:

•الفصل الأول: مفهوم عملية التوثيق المعماري والأثري:

ويتضمن تعريف التراث الحضاري واستعراض أنواعه وأسباب تدهوره كمقدمة لشرح مفهوم عملية التوثيق المعماري والأثري وأهميته في الحفاظ على هذا التراث حيث يتم تعريف عملية التوثيق المعماري والأثري وذكر طرقه ومبادئه.

•الفصل الثاني: النمذجة الثلاثية الأبعاد للمعالم والمواقع المعمارية والأثرية:

ويتضمن تعريف عملية النمذجة الثلاثية الأبعاد و مجالات استخدامها و طرقها وأنواع النماذج و البرمجيات المستخدمة في عملية التوثيق المعماري والأثري.

• الباب الثاني: طرق التوثيق المعماري والأثري باستخدام النمذجة الثلاثية الأبعاد

يتضمن هذا الباب فصلين:

•الفصل الثالث: التوثيق المعماري والأثري باستخدام المساحة التصويرية:

•الفصل الرابع: التوثيق المعماري والأثري باستخدام المسح الليزري:

يتم من خلال الفصلين السابقين ذكر تفصيل كامل عن كل من تقنية المساحة التصويرية والمسح الليزري من خلال: تعريف كل من هاتين التقنيتين ومجالات استخدامهما في العمل التوثيقي والخطوات العامة التي تتم عملية التوثيق المعماري والأثري ضمنهما وإشكالياتها تمهيداً لمقارنة علمية صحيحة بينهما ، بالإضافة إلى ذكر مجموعة من التجارب التي تدعم هذه الخطوات.

• الباب الثالث: اعتبارات استخدام طرق التوثيق المعماري والأثري باستخدام النمذجة الثلاثية الأبعاد(دراسة مقارنة):

ويتألف من فصلين:

• الفصل الخامس: اعتبارات استخدام تقنيات المساحة التصويرية والماسح الليزري في العمل التوثيقي:

سوف يتم ضمن هذا الفصل استعراض كل من التقنيتين السابقتين وفق الاعتبارات والأسس التالية: نوع الأجهزة المستخدمة- الدقة التي يمكن التوصل لها- الكلفة المطلوبة لإنجاز العمل - الوقت اللازم لإنجاز العمل - مؤهلات كادر العمل المطلوبة للعمل بهذه التقنيات للتوصل إلى نتائج صحيحة - إشكاليات العمل ضمن الموقع ،وذلك للتوصل إلى التقنية الأمثل في عملية التوثيق المعماري والأثري.

• الفصل السادس: نتائج عملية المقارنة بين طرق التوثيق المعماري والأثري:

للمقارنة بين تقنيات المساحة التصويرية والماسح الليزري، حيث يتم سرد آلية العمل المتبعة بكلا التقنيتين لتوثيق مبنى كنيسة سان نيكولاس وتلخيص النتائج التي تم توصل إليها ،وسوف يتم تلخيص النتائج النهائية وفق التجربة العملية والأسس السابقة التي تقوم على المقارنة بين التقنيتين السابقتين .

• النتائج والتوصيات النهائية.

الباب الأول: توظيف النمذجة الثلاثية الأبعاد في

عملية التوثيق المعماري الأثري

إن التراث الحضاري يمثل وثائق عالمية لا يمكن تجاهلها، والحفاظ على هذه الوثائق أمر مهم بالنسبة لتاريخ البشرية ومستقبلها، ومسألة مهمة للمجتمع الحديث من الناحية الحضارية والإنسانية والاقتصادية، حيث تلعب دوراً كبيراً في تنميته وتطوره، ولكن كثير من هذه المعالم تندثر وتهمل نتيجة للحاق بركب التطور الحديث وعدم تأهيلها وإعادة توظيفها بالشكل الصحيح، بالإضافة إلى عدم فهم أهميتها بالنسبة للمجتمع والإنسان، ومن هنا تأتي أهمية توثيق هذه المعالم كخطوة أولى في عملية الحفاظ عليها وإعادة تأهيلها بالشكل الأمثل.

ونتيجةً للتطور العلمي و التكنولوجيا المتسارع بدأت عملية التوثيق تأخذ منهجاً وشكلاً جديداً ضمن عملية النمذجة الثلاثية الأبعاد، كون هذه العملية تعطي تصوراً واضحاً عن التكوين الهندسي للمعلم فتبرزه بصورة علمية وهندسية دقيقة، و تتيح استخدام النتائج أو النماذج الناتجة ضمن مجالات متنوعة ومختلفة ترفع من سوية العمل التوثيقي وأهميته .
و اعتباراً لذلك رأينا أن يتضمن الباب الأول النقطتين التاليتين:

- مفهوم عملية التوثيق المعماري والأثري: نذكر فيه تعريفاً للتراث الحضاري ونستعرض أنواعه وأسباب تدهوره وكيفية الحفاظ عليه كمقدمة لتعريف عملية التوثيق المعماري وأهميتها واستعراض طرقها بشكل مختصر.
- النمذجة الثلاثية الأبعاد للمعالم والمواقع الأثرية: و نذكر فيها تعريف عملية النمذجة الثلاثية الأبعاد ومجالات استخدامها والتعرض لطرق عملية النمذجة وأنواع النماذج المستخدمة في عملية التوثيق.

و سوف تشكل هاتين النقطتين الفصلين الأول و الثاني من هذه الأطروحة.

1. الفصل الأول: مفهوم عملية التوثيق المعماري والأثري:

ويتضمن هذا الفصل قسمين أساسيين :

- التراث الحضاري: و نستعرض فيه التعريف التراث الحضاري وأهمية هذا التراث وأسباب تدهوره وكيفية الحفاظ عليه
- التوثيق المعماري و الأثري و نعرف فيه التوثيق المعماري والأثري ونبين أهميته وطرقه.

1.1. التراث الحضاري:

1.1.1. تعريف التراث الحضاري:

يعتبر التراث الحضاري ثروة حضارية تهتم بها الشعوب والأمم على اختلافها لأنها تجد فيها هويتها وأصالتها، فتسعى إلى العناية بها وحمايتها وتعمل على إكمال مسيرة تطورها لتبقى دائماً متواصلة مع ظروف عصرها والتحولات الحضارية التي تعيشها و لتقف في وجه التأثيرات البشرية والطبيعية، و بناءً على هذا تضمنت اتفاقية اليونسكو لحماية التراث الثقافي والطبيعي التي عقدت في المؤتمر العام في دورته السابعة عشر عام 1972 تعريفاً لكل من التراث الثقافي و التراث الطبيعي كما يلي[1]:

1. التراث الثقافي و يشمل كل ما يلي:

- الآثار: الأعمال المعمارية ، وأعمال النحت والتصوير، والعناصر أو التكوينات ذات الصفة الأثرية والنقوش والكهوف ومجموعات المعالم التي لها جميعاً قيمة عالمية استثنائية من وجهة نظر التاريخ أو الفن أو العلم.
- المجمعات: مجموعة المباني المنعزلة أو المتصلة التي لها قيمة عالمية استثنائية من وجهة نظر التاريخ أو الفن أو العلم و ذلك بسبب عمارتها أو تناسقها أو اندماجها في المنظر الطبيعي.
- المواقع: أعمال الإنسان أو الأعمال المشتركة بين الإنسان و الطبيعة وكذلك المناطق بما فيها المواقع الأثرية التي لها قيمة عالمية استثنائية من وجهة النظر التاريخية أو الجمالية.

2. التراث الطبيعي ويشمل ما يلي:

- المعالم الطبيعية المتألفة من التشكلات الفيزيائية أو البيولوجية أو مجموعات من هذه التشكلات التي لها قيمة عالمية استثنائية من وجهة النظر الفنية أو الجمالية.

- التشكلات الجيولوجية أو الفيزيوجرافية والمناطق المحددة بدقة والمؤلفة لمواطن الأجناس الحيوانية أو النباتية المهدهة التي لها قيمة عالمية استثنائية من وجهة نظر العلم أو المحافظة على الثروات.
- المواقع الطبيعية أو المناطق الطبيعية المحددة بدقة التي لها قيمة عالمية استثنائية من وجهة نظر العلم أو المحافظة على الثروات أو الجمال الطبيعي.

1.1.2. أهمية الحفاظ على التراث الحضاري و أسباب تدهوره:

إن التراث الحضاري بشكل عام والتراث الثقافي والمعماري بشكل خاص يعتبر صفة معبرة عن البعد و العمق الثقافي والحضاري للمجتمع، و يمثل في حد ذاته قيمة حضارية له وللأجيال المتعاقبة ، حيث يلعب دوراً كبيراً في تطور المجتمع من جميع النواحي الاقتصادية والاجتماعية والإنسانية، ويشكل هذا التراث جزءاً من الحياه اليومية على اختلاف أساليبها وأنماطها، ولكن نلاحظ غياب مفهوم أهمية التراث بالنسبة للإنسان والمجتمع لعدة أسباب أدت إلى تهميش التراث وتدهوره، ويمكن تلخيص أسباب هذا التدهور ضمن الوطن العربي بما يلي[2]:

- تأثير العوامل الطبيعية مثل الرياح و الرطوبة وعوامل الحت...الخ، بالإضافة إلى تأثير الكوارث الطبيعية كالزلازل والسيول.
- غياب الوعي بالقيم التراثية لدى الإنسان والمجتمع، وغياب التوعية الثقافية المعمارية و العمرانية.
- التقصير في الحفاظ على التراث المعماري والعمراني نتيجة عدم الفهم الواضح بكيفية القيام بهذه العملية بشكلها الصحيح و يعود ذلك للأسباب التالية:
 - عدم وجود منهجية عمل واضحة ضمن هذا المجال.
 - عدم وجود تشريعات وقوانين تحاكي ظروف المجتمع مما يؤدي إلى توظيف المبنى واستثماره بشكل غير صحيح.
 - عدم تخصيص ميزانية كافية لعملية الحفاظ ضمن مؤسسات الدولة، وعدم وجود مساعدات تقدم لأصحاب العقارات الأثرية ليقوموا بترميمها واستثمارها بشكل صحيح مثل القروض الاستثمارية أو القروض على مدى الطويل.
 - عدم استخدام المهارات والتقنيات العلمية الحديثة في عملية التوثيق المعماري والأثري.
 - عدم القيام بعملية الترميم بشكل علمي صحيح، بالإضافة إلى اندثار بعض

- الحرف والمهارات والتقنيات المؤهلة للترميم الفني العالي الجودة.
 - غياب الصيانة الوقائية المنتظمة والصيانة الإصلاحية.
 - استخدام المباني والمواقع الأثرية وتأهيلها ضمن وظائف غير مناسبة لها.
- والفقرة التالية توضح كيفية القيام بعملية الحفاظ بشكل صحيح.

1.1.3. كيفية الحفاظ على التراث المعماري و العمراني:

للقيام بعملية الحفاظ بشكل صحيح لابد من :
 أولاً: تحديد المعايير التي تؤهل أي مبنى أو موقع تاريخي ليكون معلماً تاريخياً أو أثرياً، و ثانياً: تنفيذ عملية الحفاظ بخطوات عملية مدروسة متتالية .وسوف يتم التعريف بكل من هذه المعايير والخطوات كما يلي:

• معايير اختيار المباني والمواقع الأثرية المؤهلة لعملية الحفاظ:

إن عملية اختيار الآثار والمباني التي ترشح لعملية الحفاظ تخضع لطبيعة وقوانين ومتطلبات هذا المجتمع مما يولد اختلاف في معايير هذه العملية واختلاف في درجة أهميتها من مجتمع لآخر ولكن بشكل عام يجب أن تتميز بالمؤشرات التالية [3]:

- قبول المجتمع: أي أن تحظى بقبول وتفاعل إيجابي من المجتمع بما يتيح لها الاستمرار.
- ظاهرة ثقافية واجتماعية: أن تكون معبرة عن ظواهر مادية ومعنوية أو فكرية في حقبة زمنية معينة.

- الصمود والاستمرارية: أي أن حالتها تسمح باستمرارية تواجدها وإمكانية التعامل معها.
- و تتحدد قيمة المباني و المواقع الأثرية بما يلي[3]:

○ القيمة التاريخية:

مبنى أو موقع ارتبط بأحداث مهمة تعطيه أهمية خاصة كجزء من ذاكرة المدينة، ويمكن قياس القيمة التاريخية للمباني والمواقع باستخدام مؤشرين أساسيين هما:

1. المؤشر الزمني: الذي يعبر عنه تاريخ إنشاء المبنى أو الموقع، وكلما كان التاريخ قديماً ازداد هذا المؤشر تأثيراً وأصبح المبنى أو الموقع ذات قيمة أكبر.
2. المؤشر المعنوي: الذي يتأثر بعدة اعتبارات أهمها:

- مدى تعبير المبنى أو الموقع عن عصره وتاريخه.
- أهمية الفترة التاريخية التي ينتمي المبنى أو الموقع إليها.
- مقياس الندرة لنوعية البناء أو الموقع .

- عدم وجود إضافات أو تغييرات مخلة بالكيان المعماري للمبنى.

○ القيمة المعمارية الفنية:

مبنى أو موقع ذو طراز معماري فريد و متميز يعبر عن أسلوب تصميم مميز وإبداع فني فريد، تم إنشاؤه وفق فلسفة ومفاهيم ومقاييس معمارية أو مدرسة معمارية، أو يعكس سمات حقبة تاريخية معينة، أو يتسم بالندرة والتفرد بما يحمله من تفاصيل معمارية و زخارف، أو أنه نتاج عمارة تلقائية تعبر عن بيئة محلية[3].

○ القيمة العمرانية:

مبنى أو موقع يكتسب أهميته من تواجده في منطقة تراثية ذات طابع خاص تشكل ذاكرة المدينة، ولا يمكن فصل المبنى أو الموقع عن محيطه العمراني. وليس بالضرورة أن يكون المبنى في حد ذاته متفرداً وإنما تعود أهميته لاعتبارات علاقته المتكاملة مع المباني المحيطة به وموقعه العمراني[3].

○ القيمة الرمزية:

مبنى أو موقع ارتبط بحدث أو بشخصية كان لها تأثيرها الواضح في مسيرة المجتمع من حيث المولد أو النشأة أو الإقامة المستمرة، أو أن يتميز المبنى بكونه نتاج تصميم معماري لأحد رواد العمارة[3].

○ القيمة الوظيفية والاجتماعية:

هي القيمة الوظيفية التي تميز العمل المعماري، ويمكن قياسها بمدى أهمية الوظيفة التي يؤديها المبنى أو الموقع للمجتمع، وتقل هذه القيمة في المباني غير المستخدمة[3].

● خطوات عملية الحفاظ:

هنالك خطوات محددة للحفاظ على أي مبنى أو موقع مرشح لعملية للحفاظ يجب القيام بها بشكل علمي ومدروس، و يمكن تلخيصها كما يلي:

- التوثيق: نقوم في هذه المرحلة برصد النماذج التراثية ووصفها وتسجيلها صورياً ورقمياً من خلال إجراء مسح شامل ميداني، إلى جانب الاستناد إلى الأدبيات والمصادر والمعلومات والوثائق التي تزودنا بمعلومات كاملة عن الحالة الأصلية للمبنى أو الموقع[2].

- الدراسة والتحليل : نقوم على دراسة علمية تحليلية لعناصر المبنى أو الموقع، ويساهم في هذا المجال فريق من المتخصصين في جميع المجالات العمارة والتصميم والمساحة

الداخلية والهندسة الإنشائية والقانون والاقتصاد.....الخ، وذلك لتحقيق المصادقية في عملية الترميم وإعادة التأهيل[2].

- **الصيانة والترميم :** تتراوح بنود هذه العملية حسب حاجة النموذج للصيانة والترميم فقد تكون بسيطة تتضمن عدة بنود أو تكون بحدودها القصوى لنتمكن من إعادة استخدام المبنى بشكل سليم، وهذا يؤكد على أهمية قيام المتخصصين بهذا العمل بعد دراسة عميقة تقوم على القيام بالفحص البصري والتجارب العلمية ودراسة المخططات الناتجة عن عملية التوثيق لوضع خطة كاملة لمعالجة العيوب والأضرار[2].

- **اختيار الوظيفة الملائمة للنموذج التراثي :** تكمن الصعوبة في هذه المرحلة بضمان الاختيار المناسب للاستعمال الجديد، لأن هنالك العديد من المباني والمواقع تعرضت للضرر بسبب سوء اختيار الوظيفة المناسبة، وإن اختيار الوظيفة المناسبة يقوم على دراسة المحيط واحتياجاته ودراسة الموقع وحجمه وفراغاته ووظيفته الأصلية للوصول إلى الاستخدام الحديث الأمثل[2].

بعد استعراض هذه الخطوات سوف يتم تفصيل خطوة التوثيق المعماري والأثري كما يلي:

1.2. التوثيق المعماري والأثري:

1.2.1. تعريف التوثيق المعماري والأثري:

تعد عملية التوثيق والتسجيل من أهم الإجراءات التي تضمن الحفاظ والحماية للمباني و المواقع التراثية، فلا بد للحفاظ على المبنى أو الموقع من معرفة تاريخه و بياناته بشكل مفصل، لأن عملية التوثيق هي عبارة عن بطاقة تعريف للمبنى أو الموقع بقيمته وحالته الأصلية والحالية ، ولا بد أن تكون عملية الحفاظ مبنية على دراسة وفهم شاملين لظروف المبنى، مما ينتج عنه تحديد خطة وأسلوب التعامل معه دون الإضرار بقيمته، ويتم التوثيق خلال مراحل عملية الحفاظ المختلفة أي قبل وأثناء وبعد الانتهاء من العمل الترميمي وذلك لتحديد مقدار ونوع التدخل الذي تم خلال أعمال الحفاظ والترميم[9].

إن عملية التوثيق الأثري هو عملية معقدة وتتضمن عدة مراحل من جمع المعلومات التاريخية و التصميمية والإنشائية وفهمها وتفسيرها وصولاً إلى النتيجة النهائية، كما يعتبر التوثيق الخطوة الأولى والأهم التي تسبق القيام بعملية الحفاظ والصيانة والترميم. و بالنتيجة تعرف عملية توثيق

التراث الأثري بأنها:

تسجيل للوضع الحالي للمعلم الأثري ومحيطه من خلال تقارير، رسومات، صور، مخططات معمارية وإنشائية رقمية، وخلال هذه العملية يجب أن يكون لدينا تصور عن الحالة الأصلية للمبنى من خلال صور و مخططات قديمة من المكتبات المعمارية والإنشائية المتوفرة أو حتى من المكتبات الشخصية ،وذلك حتى نصل للتتبع التاريخي الصحيح لهذا المعلم[9].

1.2.2. أهمية التوثيق المعماري والأثري:

تتلخص أهمية عملية التوثيق المعماري والأثري من خلال ما يلي[2]:

- نقل التراث الثقافي من جيل إلى آخر من خلال التسجيل الصوري والرقمي الدقيق للمبنى أو الموقع التاريخي .
- الحصول على معلومات وبيانات صحيحة عن حالة المبنى من جميع النواحي الإنشائية والمعمارية والفيزيائية لاستعمالها ضمن الخطط المستقبلية .
- رصد المشاكل التي يعاني منها الموقع التاريخي من خلال توثيق كافة التغيرات الإنشائية والمعمارية والأمراض والتشوهات للمبنى بدقة عالية.
- نشر المعرفة التاريخية للمبنى التي تعتبر جزءاً مهماً من عملية التوثيق المعماري و التي تؤمن التتبع التاريخي الصحيح ومراحل البناء وتواريخ الإضافات أو أعمال الهدم التي طرأت على المبنى.
- إعادة الحياة للمبنى من خلال استعماله بأسلوب معاصر وذلك لأن عملية التوثيق تتيح فرصة ترميم المبنى والتخلص من المظاهر السلبية التي طرأت عليه .

ويجب أن تحقق عملية التوثيق ما يلي:

- إظهار و تحديد القيمة التاريخية والأثرية للمبنى من خلال دراسة نظرية.
- الحصول على المخططات الإنشائية والمعمارية الداخلية والخارجية بقياسات صحيحة لكافة أقسام المبنى التاريخي.
- تحديد أماكن التشوه والإضافات والهدم وتقييم الأضرار التي لحقت بالمبنى التاريخي وتحليلها.
- جعل المبنى متوفر بشكل رقمي وبدقة عالية.

1.2.3. طرق التوثيق المعماري والأثري

سوف نهتم هنا بالتوثيق من الناحية الهندسية أي إنشاء المخططات لمعلم أثري. هنالك أربعة طرق للحصول على الوثيقة المطلوبة و هي القياسات اليدوية و المسح الطبوغرافي و المساحة التصويرية و المسح الليزري. إن اختيار أحد هذه الطرق يتبع إلى عدد من العوامل وهي [2]:

- الأهمية التاريخية والعلمية للمبنى أو للموقع
- مساحة المبنى أو الموقع
- الدقة المطلوبة
- الميزانية المتاحة
- الوقت المخصص لعملية التوثيق
- عدد كوادرات العمل المتاحة و مؤهلاتها العلمية

ويمكن تلخيص هذه الطرق الأربعة كما يلي:

- **القياسات اليدوية** : تستعمل القياسات اليدوية لجسم لا تتعدى أبعاده بضعة أمتار لأنه من غير العملي والمضيق للوقت استعمال هذه الطريقة لأجسام أكبر ، والنتيجة التي يمكن التوصل إليها هي مخططات ثنائية البعد غير مفصلة ذات دقة محدودة [11].
- **المسح الطبوغرافي** : يستعمل المسح الطبوغرافي في عمليات التوثيق الأولية دون الدخول في التفاصيل المعمارية والإنشائية مثل (تحديد حدود المبنى الخارجية والداخلية وتحديد أبعاد الفتحات...الخ) ، والنتيجة التي يمكن التوصل إليها هي مخططات ثنائية البعد غير تفصيلية ذات دقة مقبولة [11].
- **المساحة التصويرية** : وتستعمل ضمن هذه التقنية الصور للحصول على قياسات للمباني والمواقع الأثرية بشكل كامل و بجميع تفاصيلها بشكل سريع ودقيق ، والنتيجة التي يمكن التوصل إليها هي مخططات ثنائية البعد تفصيلية ونماذج ثلاثية الأبعاد ذات دقة عالية [11] .
- **المسح الليزري** : ويعد من أسرع الطرق وأكثرها تطوراً للحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد بدقة كبيرة وسرعة عالية من خلال تشكيل غيمة نقطية تحيط بالجسم المطلوب توثيقه ، والنتيجة هي مخططات ثنائية البعد تفصيلية ونماذج ثلاثية الأبعاد ذات دقة عالية [11].

2. الفصل الثاني: النمذجة الثلاثية الأبعاد للمعالم والمواقع الأثرية:

لقد تم منذ زمن بعيد استخدام المخططات ثنائية البعد في عملية التوثيق و لكن ظهور التقنيات الحديثة سمح بإمكانية عمل مخططات ثلاثية الأبعاد للمباني أو المواقع و ظهرت أهمية ذلك في توثيق الأجزاء المعقدة من المباني و بشكل خاص في الزخارف . و إذا علمنا أن العناصر الهندسية البسيطة مثل الكرة و الأسطوانة لا تنطبق تماماً على الأجزاء مثل القبة و العمود و حتى الواجحة، التي تبدو للوهلة الأولى مستوية، قد لا تكون بالفعل مستوية. لهذا أصبح إنتاج مخططات ثلاثية الأبعاد ضمن اطار النمذجة الثلاثية الأبعاد مطلباً توثيقياً لا يمكن الاستغناء عنه في أغلب عمليات التوثيق. سوف نتناول في هذا الفصل تعريف عملية النمذجة الثلاثية الأبعاد و مجالات استخدامها و التعرض لطرق عملية النمذجة الثلاثية الأبعاد ولأنواع النماذج المستخدمة في عملية التوثيق المعماري والأثري.

2.1. تعريف النمذجة الثلاثية الأبعاد ومجالات استخدامها:

تعني النمذجة الثلاثية الأبعاد ضمن بيئة الحاسب عملية تطوير التمثيل الرياضي لأي سطح ثلاثي الأبعاد للجسم بواسطة برمجيات متخصصة والناتج يدعى النموذج الثلاثي الأبعاد. و يمكن أن تولد هذه النماذج بشكل يدوي أو نصف يدوي أو آلي تبعاً لنوع الأجهزة والبرمجيات المستخدمة بالإضافة إلى خصائص الجسم المراد نمذجته. كما أن هذه النماذج الثلاثية الأبعاد تتشكل عن طريق جمع عدد من النقاط أو الأشكال ضمن الحيز الثلاثي الأبعاد و تكون مرتبطة مع بعضها بواسطة عدد من العلاقات الهندسية والطوبولوجية [10].

مجالات الاستخدام: تستعمل هذه النماذج الثلاثية الأبعاد في مجالات عديدة منها: مجال الجرافيك والألعاب وصناعة الأفلام وفي المجالات الطبية و ضمن المجال الهندسي أيضاً مثل تصميم الآلات والمكنات الصناعية، وضمن مجال العلوم الجغرافية و الجيولوجية.

أما في المجال المعماري فتستخدم هذه العملية لإعادة تمثيل المباني وموقعها من خلال برمجيات مخصصة لتوليد نماذج معمارية حقيقية ذات دقة عالية تستخدم في أغراض متعددة مثل الزيارات الافتراضية على مواقع الشبكة العالمية، وكذلك في الأعمال التوثيقية والترميمية حيث توفر النمذجة الثلاثية الأبعاد إمكانية الحصول على شكل المبنى أو الجسم المعماري بجميع تفاصيله المعمارية و الإنشائية بشكل رقمي و ذو دقة عالية .

ولقد أصبح مجال إنشاء وإدارة النماذج الثلاثية الأبعاد للمواقع والمباني الأثرية حاجة ضرورية ومتزايدة من أجل ترميمها وصيانتها وتوثيقها وفق دراسة عملية دقيقة. و على الرغم من وجود

عدد من التقنيات التي يمكن أن تلعب دوراً كبيراً في مجال التوثيق والنمذجة الثلاثية الأبعاد، إلا أن هنالك حاجة كبيرة إلى التركيز على التقنيات والبرمجيات التي تتعلق بمفهوم: (As-built Building Information Modeling) حيث أن هذا المفهوم يعرف بشكل واسع الأدوات والمفاهيم الضرورية لتشكيل النماذج الثلاثية الأبعاد التي تقوم بشكل أساسي على مجموعة من المعلومات المعمارية والإنشائية لجميع العناصر المشكلة للجسم أو المبنى، وبشكل مختصر يعرف على أنه [11]: التمثيل الرقمي لخصائص المبنى الفيزيائية والوظيفية لتشكيل النموذج الأكثر دقة وفاعلية للمبنى بحالة بناءه الحالية. ولفهم نظريات وطرق النمذجة للأجسام والعناصر المعمارية لا بد أولاً من معرفة أنواع النماذج المستخدمة في هذه العملية.

2.2. تصنيف النماذج الثلاثية الأبعاد المستخدمة في عملية النمذجة :

يمكن تصنيف النماذج الثلاثية الأبعاد ضمن ثلاث تصنيفات رئيسية و هي:

2.2.1. نماذج وسائطية أو غير وسائطية:(parametric or non-parametric Models) :

يقوم استخدام النماذج الوسائطية على تعديل وسائط الجسم أي خصائصه الهندسية وبارمتراتة (الطول - العرض - الارتفاع... الخ) وذلك في حالة النمذجة انطلاقاً من إدراج الأشكال الهندسية البدائية (primitive shape) مثل مكعب - أسطوانة... الخ، حيث يمكن قياس هذه الوسائط أو معرفتها من خلال البيانات المدخلة إلى البرمجية مثل الصور. أما النماذج غير الوسائطية فيمكن فهمها من خلال أسلوب نمذجة السطوح التي تحيط بالجسم و هو أسلوب مغاير تماماً لا يعتمد على تعريف الوسائط الهندسية للجسم.

ولتوضيح ذلك نأخذ مثال حالة نمذجة عمود اسطواني الشكل، ففي النمذجة الوسائطية يتم اختيار نموذج اسطوانة ثم يتم تحديد وسائطها بقياسات على الصور مثل ارتفاع الأسطوانة ونصف القطر المشكل للقاعدة ، أما في النمذجة غير الوسائطية فيتم توليد شبكة من المثلثات تحيط بالعمود و تظهر سطحه و شكله دون الحاجة إلى معرفة وسائط الجسم و صفاته الهندسية [10].

2.2.2. النماذج العامة أو التجزئية للجسم (global or local Models):

في بعض الحالات يتم إنشاء نموذج للجسم انطلاقاً من عدة خطوات أو مراحل عوضاً عن إنشاء نموذج كامل للجسم بمرحلة واحدة ومثال على ذلك: عند نمذجة عمود إما أن نقوم، عبر مراحل محددة، بنمذجة كل جزء من أجزاء العمود على حدى(القاعدة- جسم العمود - التاج) حيث نقوم

بنمذجة كل جزء وسائطياً ثم يتم ربط الأجزاء لتشكيل جسم واحد يمثل العمود، و إما أن تتم نمذجته عبر مرحلة واحدة و بشكل كامل عن طرق توليد غيمة نقطية تمثل السطح الخارجي للعمود. ،ولذلك تعتبر النمذجة التي تعتمد على الأشكال الهندسية البدائية كقاعدة أولية ثم يتم ربطها لتشكيل النموذج النهائي هي نمذجة تجزيئية[10]. أما النمذجة التي تعتمد على شبكات التثليث أو الغيوم النقطية فتعتبر نمذجة عامة حيث يمكن من خلالها تمثيل أي شكل هندسي و خاصةً تلك الأجسام أو الكتل التي لا تملك شكلاً هندسياً نظامياً. وبشكل عام يعتبر تمثيل الأجسام المعقدة مثل الزخارف والتفاصيل الهندسية من خلال نمذجة عامة وغير وسائطي أما الأجسام غير المعقدة فتتم نمذجتها بشكل تجزيئي وتعتبر وسائطية [11].

2.2.3. النماذج غير الضمنية (الصريحة) أو الضمنية (explicit or implicit Models) :

التمثيل غير الضمني يعطي ترميزاً مباشراً للجسم (شبكة مثلثات تحيط بالجسم) أما التمثيل الضمني فيستعمل ترميز غير مباشر للجسم. فلتحديد إذا ما كان سطحاً ما يمثل كرة أو مكعباً نقوم مثلاً بحساب المنحني التكراري للنواظم عند نقاط على السطح ثم بحسب شكل هذا المنحني نستدل على الشكل ففي حالة الكرة تمر النواظم من نقطة واحدة هي مركز الكرة حيث يظهر ذلك من خلال إبرة وحيدة في المنحني التكراري أما في حالة المكعب فتظهر إبر متعددة حسب عدد سطوح المكعب المعتبرة[10].

و تنقسم النمذجة غير الضمنية إلى قسمين:

• النمذجة بناءً على تمثيل الحدود : (Boundary Representation B-rep) :

تتم نمذجة الأجسام عن طريق عدد من السطوح المرتبطة مع بعضها لتعطي الحدود الخارجية للجسم و يتم ذلك عن طريق نقاط تتصل فيما بينها بقطع إما مستقيمة أو منحنية تتناسب مع طبيعة السطح[10]. ولذلك فإن برمجيات النمذجة في هذه الحالة يجب أن تحوي على عدد من التقنيات التي تسمح بالتحكم بهذه المنحنيات مثل: Bezier curves ، B-splines والتي تسمح بتأمين عدد من نقاط التحكم التي تجعلنا نتحكم بهذه المنحنيات بشكل دقيق عن طريق تغيير إحداثيات ومواقع هذه النقاط المشكلة لهذه المنحنيات للوصول إلى الشكل المطلوب ،وأحياناً لا تكفي هذه الطريقة للوصول إلى النموذج المطلوب لذلك تتم الاستعانة ببعض التقنيات المساعدة مثل: تقسيم السطوح subdivision surface أو غيرها من التقنيات. وتعتبر هذه الطريقة عملية وسريعة وخاصة عند استعمال البرمجيات التي تسمح بتوليد شبكة (mesh) لنمذجة الأجسام[11].

• النمذجة بناءً على الهندسة الحجمية : (Constructive Solid Geometry CSG):

تتم نمذجة الأجسام بواسطة عناصر الهندسية البدائية مثل مكعب - أسطوانة... الخ ويتم ربط وتضمين هذه الأشكال مع بعضها بواسطة مجموعة من العمليات مثل الجمع والطرح. وترتبط العناصر والأجسام المنمذجة في هذه الطريقة ليس فقط بواسطة الأبعاد الهندسية (البعد- الطول- الزوايا... الخ) بل وأيضا بعلاقات طوبولوجية (التي تتعلق بالعلاقات بين الأشكال مثل الاحتواء و التقاطع). وتعتبر هذه الطريقة أحياناً غير عملية بسبب محدودية العناصر البدائية الموجودة ضمن مكتبات برمجيات النمذجة[10].

2.3. طرق نمذجة الأجسام والعناصر المعمارية:

وتنقسم إلى ثلاث طرق رئيسية حسب [11] وهي:

الطرق الإجرائية و طرق النمذجة اعتماداً على مجموعة من الغيوم النقطية وطرق النمذجة بناءً على معلومات النموذج الأساس.

2.3.1. الطرق الإجرائية (procedural methods) :

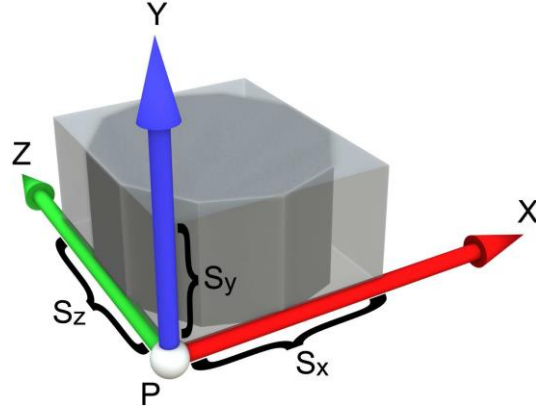
والتي تقوم على استخدام قواعد النمذجة المعتمدة على أشكال CGA (grammar-based CGA) حيث تعمل هذه القواعد على ترتيب الأشكال والعناصر المؤلفة للجسم المعماري وتصنيفها إلى أشكال تتكون من رموز وخواص هندسية[12]، بالنسبة للرموز فتكون إما طرفية (terminal symbol) أو غير طرفية (non terminal symbol) و تتميز الرموز غير الطرفية بأنها قابلة للتكرار في الجسم بينما الرموز الطرفية فهي غير متكررة أي تحدد موقع العنصر بالنسبة للجسم بشكل عام فيكون إما على أطراف الجسم أو ضمنه، أما الخواص الهندسية فهي:

- الموقع ضمن الحيز الثلاثي الأبعاد (position)

- الإحداثيات المحددة بالمحاور المتعامدة (x.y.z)

- المقياس (scale)

إن هذه الخواص تحدد صندوق إحاطة (bounding box) بالجسم الموجه ضمن الحيز الثلاثي الأبعاد ويسمى بالمجال (scope) كما هو موضح بالشكل (1-2).



الشكل (1-2): المجال أو scope [12]

وتتم عملية نمذجة العناصر المعمارية ضمن هذه الطريقة وفق عدد من العمليات والقوانين يمكن تلخيصها كما يلي [12]:

- **مرحلة الإنتاج (Production process):** ضمن هذه المرحلة تتم إضافة وترتيب مجموعة من الأشكال الأساسية المؤلفة للجسم الأصلي ضمن بيئة الحاسب.
- **عمليات الأشكال (Shape operations):** وفيها تستخدم عدد من القوانين العامة لتعديل أشكال المرحلة الأولى، والتي تتحدد بإجراء انتقال وتدوير وتعديل في المقياس على المجال (scope) وتتضمن:

- قوانين الانقسام الأساسي (Basic split rule): والذي يقوم بإجراء عملية انقسام على محور وحيد للمجال أو (scope)، مثال على ذلك تقسيم الواجهة الرئيسية إلى عدة أقسام مكونة لها مثل الجزء السفلي والأوسط ثم العلوي والكورنيش النهائي.
- قوانين المقياس (Scaling of rules): والتي تقوم على تغيير مقياس الأشكال والعناصر المؤلفة للشكل الأصلي مع مراعاة أنه ليس لجميع الأشكال والعناصر المعمارية التي تؤلف النموذج أو الجسم المقياس نفسه.
- الانقسام المتكرر (Repeat split): والذي يسمح بإحداث تغييرات كبيرة في قوانين المقياس والانقسام، مثال على ذلك: نحن نريد إكساء عنصر محدد مثل الأرضية لذلك نقوم بإجراء عمليات انقسام متكررة و محددة العدد والمقياس.
- الانقسام إلى المكونات (Component split): تسمح بإجراء انقسام للحصول على عناصر ذات أبعاد أقل، ويقصد بأبعاد أقل انتقال الجسم من حالة الحجم إلى سطح ومنه إلى مستقيم أو نقطة ضمن الحيز الثلاثي الأبعاد.

قوانين إعادة الإنشاء (Reconstruction Rules) : ضمن هذه القوانين تستخدم مجموعة من الخصائص الهندسية والوسائط التي يمكن التحكم بها. وكمثال على الوسائط الهندسية نحن نستعمل مسقط الجسم وإن وسائط التحكم الأخرى هي عبارة عن قيم ذات مقياس محدد يمكن إدخالها عبر لغة البرمجة ويمكن تلخيص القوانين بشكل عام كمل يلي:

- القانون الأول: يقوم على أخذ مسقط الجسم ورفع أي القيام بعملية(extrude) لتحديد حيز الجسم.
- القانون الثاني يقوم على توليد أشكال وعناصر الجسم المعماري بشكل كامل.
- أما القانون الثالث يقوم بالتحكم بطول وعرض وعمق وزوايا هذه الأشكال والعناصر لتلائم الجسم المطلوب نمذجته.

إن البرمجيات التي تسمح بالنمذجة بناءً على الطرق الإجرائية تتميز بقدرتها على إنتاج نمذجة حجمية كتلية لأي جسم، بالإضافة إلى التفاصيل المعمارية. وتعتمد في ذلك على عدة أنظمة منها:

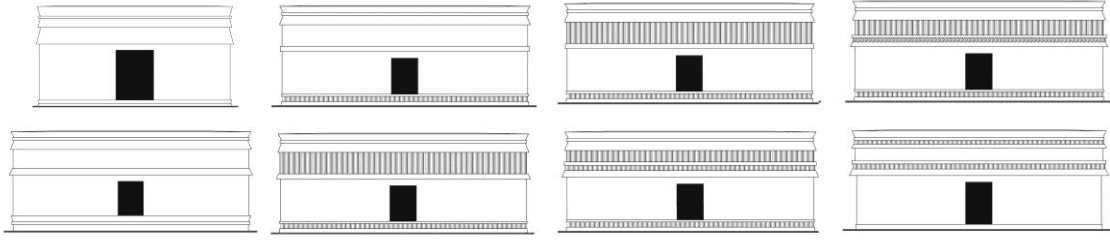
- أشكال(L-system) وهو نظام إعادة تمثيل وكتابة يستخدم لتمثيل عملية تطوير وتركيب الأشكال المتنوعة.
- (stack-oriented programming language) وهذه اللغة تقوم على حساب النتائج الوسطية لمجموعة من قيم الوسائط المدخلة للحصول على القيم النهائية.
- لغة توليد النماذج (Generative Modeling Language) والتي هي عبارة عن لغة برمجة لتبسيط وصف الأشكال الثلاثية الأبعاد المعقدة، وهذه اللغة تقوم على مجموعة من البيانات(datasets) التي تمثل عن طريق مجموعة من المفردات والقواعد و العمليات الرياضية تسمح بتوليد النموذج المطلوب الحصول عليه.

ولشرح هذه الطرق الإجرائية بشكل أفضل سوف نورد مثال على ذلك نسرده من خلاله آلية نمذجة الواجهات المعمارية لعمارة البيوك (Puuc) [12]:

تتميز عمارة البيوك و التي هي جزء من عمارة المايا بأنها عمارة تعتمد على البناء الحجري بشكل عام، كما أن واجهات المباني تتصف بأنها هندسية تكرارية مبنية من الحجارة الجصية يربط بينها ملاط كثيف حصوي وهذا ما يساعد على تحديد الأشكال التي يمكن بعد تعديلها أن نحصل بها على الشكل النهائي المطلوب.

ضمن منطقة (Xkipché) تم العثور على ثمانى تجمعات من المباني. استطاع الأثريون تصنيف

واجهاتها إلى 18 واجهة رئيسية وجانبية، الشكل (2-2) يوضح بعض منها، وتتألف الواجهات من الأجزاء المبينة بالشكل (3-2) والموضحة أيضا بالمقطع العرضي.

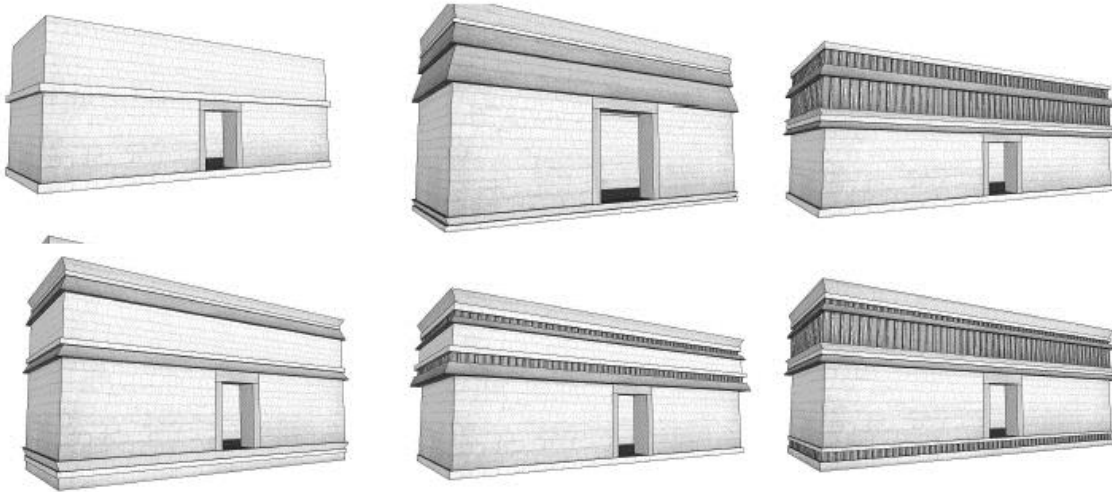


الشكل (2-2): بعض نماذج الواجهات المكتشفة ضمن الموقع [12]



الشكل (3-2): أجزاء العامة للواجهات الرئيسية والجانبية (واجهة -مقطع) [12]

و بتطبيق العمليات السابقة التي تم ذكرها سابقا يمكن الحصول على النماذج النهائية المبينة لاحقا بسهولة وذلك عن طريق تعديل الوسائط الهندسية للأقسام الرئيسية التي تتألف منها جميع هذه الواجهات كما هو مبين بالشكل (4-2).



الشكل (4-2): بعض النماذج للواجهات الرئيسية والجانبية التي تمت نمذجتها [12]

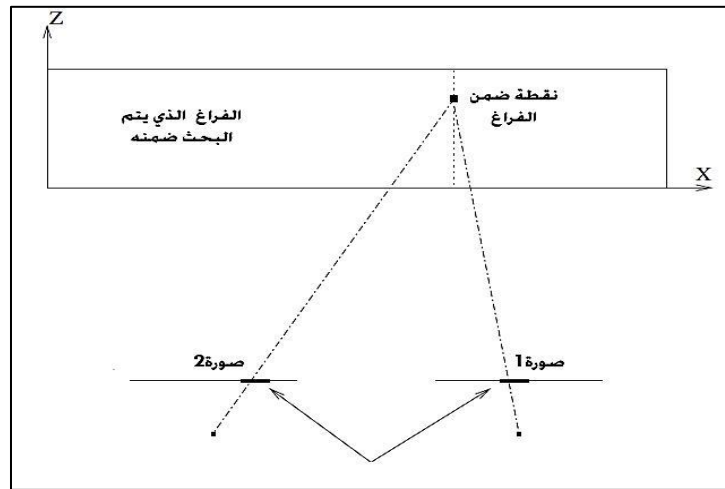
2.3.2. طريقة النمذجة بناءً على المعلومات المستخرجة من الغيوم النقطية (data-driven starting) (from a point cloud):

يتم الحصول على الغيوم النقطية إما من الصور و إما من المسح الليزري و هي عبارة عن مجموعة ضخمة من نقاط واجهة البناء أو سطوح البناء ممثلة بإحداثياتها الفراغية. و تتم عملية النمذجة هنا بتحويل هذه الغيوم النقطية إلى شبكة تثليث يتم من خلالها وصل النقاط بقطع مستقيمة لتشكل مثلثات تمثل سطح الجسم المراد نمذجته. و لهذا يطلق على الطريقة Data Driven أي أنه يتم التوصل إلى شكل الجسم انطلاقاً من المعطيات الأولية البسيطة و هي في هذه الحالة غيوم النقاط للوصول إلى شكل الجسم النهائي. سوف نميز عملية النمذجة للنقاط الآتية من الصور عن تلك الآتية من المسح الليزري نظراً لاختلاف طريقة إنتاج النقاط و بالتالي اختلاف الإجراءات قبل و أثناء عملية النمذجة [13].

• في حالة توليد شبكة التثليث من الصور:

يتم أولاً تحديد العنصر المراد تشكيل شبكة له ثم يتم النقاط مجموعة من الصور التي تغطي كامل الجسم أو العنصر بواسطة كاميرا معايرة (محددة الوسائط الهندسية) ملحق (1) ثم تتم عملية حساب إحداثيات النقاط الثلاثية الأبعاد باستخدام إحدى التقنيتين التاليتين [13]:

○ تقنية حيز الصورة: لحساب إحداثيات نقطة فراغية في الجسم يتوجب تحديد مسقط هذه النقطة في احدى الصور ثم تحديد مساقطها في الصور الأخرى. و باعتبار أن جمل التوجيه للصور معلومة مسبقاً فيمكن حساب إحداثيات النقطة في الفراغ حسب مبدأ حساب الإحداثيات الثلاثية الأبعاد الموضح ضمن الملحق (3). و يتم تطبيق ذلك على كامل نقاط الصورة كما هو موضح بالشكل (2-5).



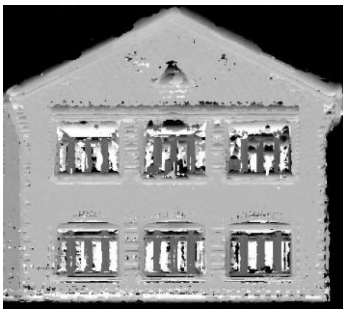
الشكل (2-5) عملية حساب احداثيات النقاط الثلاثية الأبعاد باستخدام تقنية حيز الصورة [13]

○ أو تقنيات حيز الجسم و هنا يتم تقطيع الفراغ المحيط بالجسم إلى مكعبات صغيرة منتظمة ويمثل كل مكعب بنقطة مركزه. و يقوم العمل على تحديد فيما إذا كانت نقطة ما من هذه النقاط تنتمي إلى سطح الجسم أم لا. للقيام بذلك نقوم إسقاط النقطة في الصور باعتبار جمل التوجيه لها معلومة ثم ندرس مدى تشابه مساقط النقطة في الصور باستخدام نظريات الارتباط (correlation-based method) والتي تقوم على حساب عامل الارتباط الخطي الذي يحدد مدى المطابقة بين القيم اللونية للمناطق المحيطة بالمساقط. فإذا كان عامل الارتباط كبيراً نقول أن احتمال أن تنتمي النقطة في الفراغ إلى سطح الجسم كبير. و بهذا يتم حذف عدد كبير من النقاط في الفراغ التي لا تنتمي إلى الجسم [13].

ثم نقوم بعملية أمثلة عامة (global optimization) لضبط سطح الغيمة النقطية المشكلة من الصور والمبينة بالشكل (2-6) بشكل نهائي. حيث يتم اختيار مجموعة النقاط التي تمثل سطح الجسم أفضل ما يمكن و ذلك من خلال تحقيق عدة شروط على سبيل المثال (مجموع عوامل الارتباط لنقاط السطح اكبر ما يمكن و شرط نعومة السطح (التغيرات في السطح صغيرة و غير مفاجئة) كما هو موضح بالشكل (2-7)

• ثم نقوم بعملية فلتر للنتائج وذلك لتخفيف من أثر الضوضاء الناتجة عن مجموعة من النقاط المتناثرة والتي ليس لها علاقة بالمبنى مثل نقاط من المباني المجاورة أو السماء كما هو موضح ضمن الشكل (2-8).

ثم تتم عملية التلايث للشبكة للحصول على شبكة نهائية للنموذج عالية الدقة ويتم بالنهاية إكساء هذه الشبكة للحصول على النموذج المطلوب الموضح بالشكل (2-9).



الشكل (2-6): الشبكة الأولية [13]



الشكل (2-7): الواجهة بعد

عملية الأمثلة [13]



الشكل (2-8): الواجهة بعد

القيام بعملية الفلتر [13]



الشكل (2-9): النموذج النهائي لواجهة المبنى بعد الانتهاء من عملية الإسكاء [13]

• في حالة المسح الليزري :

للحصول على شبكة تثلث نهائية نقوم بمجموعة من الخطوات تختلف باختلاف نوع المسح الليزري سواء أكان المسح أرضياً أم جويّاً ولكن الخطوات العامة هي على الشكل التالي: نقوم باختيار نوع الجهاز المناسب للشكل أو الجسم الذي نريد نمذجته. يجب أن تغطي عملية المسح كامل الجسم و يكون ذلك إما من خلال تثبيت الجهاز ضمن نقاط رصد مختلفة و محددة بدقة و إما بتثبيت الجهاز ونقل الجسم ضمن حركة تؤمن له تغطية كاملة. إن معالجة نتائج المسح الأولية (مجموعة الغيوم النقطية) تقوم على دمج هذه الغيوم النقطية ضمن مرجعية واحدة ثم القيام بعملية تثلثها للحصول على الشبكة النهائية العالية الدقة. للحصول على إسكاء لوني صحيح للغيوم النقطية أو لشبكة التثلث تتم الاستعانة بكاميرا معايرة ونقوم بحساب مصفوفة التحويل بين جملة إحداثيات الماسح وجملة إحداثيات الكاميرا و نقوم بحساب جملة إحداثيات كل صورة. ثم نقوم بتلوين كل نقطة أو مثلث بحسب مساقطها في الصور [7]. والشكل (2-10) يوضح شكل النموذج النهائي الذي يمكن الحصول عليه عند استخدام الماسح الليزري، و سوف يتم استعراض هذه الخطوات بالتفصيل في الباب الثاني.



الشكل (2-10): شكل النموذج النهائي الذي يمكن الحصول عليه عند استخدام الماسح الليزري [13]

2.3.3. طريقة النمذجة بناءً على مجموعة من نظريات النموذج الأساس (model-based methods):

يتم تطبيق هذه الطريقة [14] ضمن مجال توثيق المباني والمعالم الأثرية للحصول على نموذج ذو تفاصيل دقيقة من خلال استعمال الصور القريبة المدى، حيث يتم الحصول على إحداثيات النقاط الثلاثية الأبعاد من خلال مجموعة من النظريات والعمليات التي تعتمد على تعديل النموذج الأولي وهي: عملية المطابقة المشتركة بين الصور ويتم من خلال هذه النقطة تشكيل النموذج الثلاثي الأبعاد الأولي (غيمة نقطية). ضمن هذه الطريقة تستعمل القوالب والنماذج الأولية التي يمكن التحكم بزواياها ودوراناتها ومقياسها، بالإضافة إلى التحكم بانتقالاتها ضمن بيئة النمذجة وذلك لتتلاءم بشكل جيد مع المعلومات الهندسية للصور المدخلة للبرمجية وتسمى هذه القوالب ب-axis-aligned templates، حيث يتم إضافة قوالب أو نماذج أولية ثلاثية الأبعاد معدة مسبقاً لتغطية سطح النموذج بشكل آلي بحيث تتلاءم خواصها الهندسية (وسائطها) مع المعلومات التي تم الحصول عليها من الصور ولذلك تعتبر هذه الطريقة آلية لا تحتاج إلى تدخل المستخدم بشكل كبير، ولكنها تعتمد على إدخال معلومات هندسية ومعمارية معروفة مسبقاً عن العناصر المشكلة للجسم أو المبنى أو الموقع المعماري والأثري وذلك لإعداد القوالب و النماذج الأولية.

كخطوة أولى لاستخدام هذه الطريقة يجب تحديد موقع وعدد هذه النماذج ضمن النموذج العام، ثم يتم دمج هذه القوالب مع الصور المأخوذة لهذا المبنى أو الموقع ويتحدد عدد القوالب المستعملة حسب حجم المبنى أو الموقع وحجم عملية الملازمة التي يمكن أن تقوم بها ضمن إمكانيات الجهاز والبرمجية.

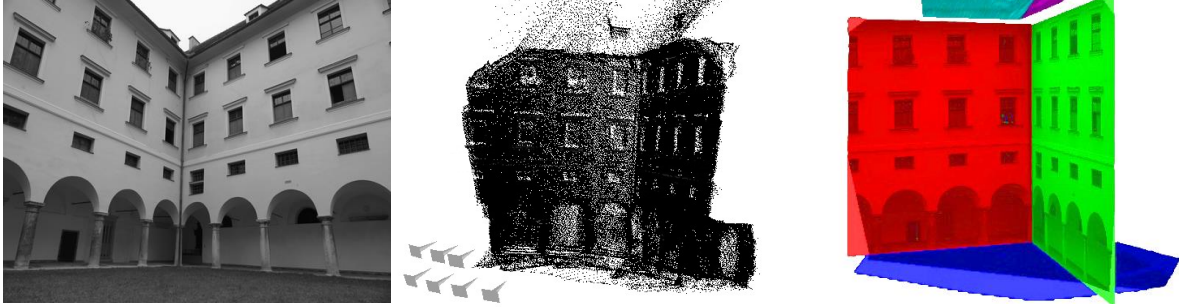
ثم يتم النقاط الصور بواسطة كاميرا تمت معايرتها وتحديد خواصها الهندسية الداخلية والخارجية، وبشكل عام إن عملية إعادة بناء المبنى تتم على ثلاث خطوات رئيسية يمكن توضيحها من خلال تجربة توثيق دير مينورتي في إسبانيا وهي [14]:

- إنشاء النموذج الأولي (غيمة نقطية) والذي يتألف من سطوح رئيسة للمبنى (السطح - الواجهات - الأرضية) ويتم إنشاء هذا النموذج بواسطة خوارزميات محددة تقوم على اتجاهات تقاطع الخطوط المشتركة بين السطوح أو من خلال تحديد اتجاهات نقاط الفرار حيث أن الخطوط ضمن مستوي واحد تتقاطع ضمن نقطة واحدة هي نقطة الفرار وبالتالي نستطيع من خلالها تحديد اتجاه السطح، ونستطيع ضمن هذه الخطوة إيجاد الخطوط الرئيسية المشكلة للواجهة وعناصرها كما هو موضح ضمن الشكل (2-11).

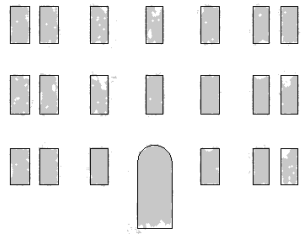
- الهدف من الخطوة الثانية هو الحصول على نموذج أكثر تفصيلاً للسطوح الأولية التي تم إنشاؤها ضمن الخطوة الأولى، وخاصة إيجاد تفصيل معماري للأجسام التي لا تقع على

مستوي السطوح الأولية مثل الفتحات والبروزات وذلك من خلال القيام بعملية تقطيع (segmentation) لهذه الفتحات والبروزات تمكننا من تحديد إطار شكلها العام أو محيطها وعمقها والقيام بعملية ربط آلية مع السطح الأولي كما هو موضح ضمن الشكل (2-12) .

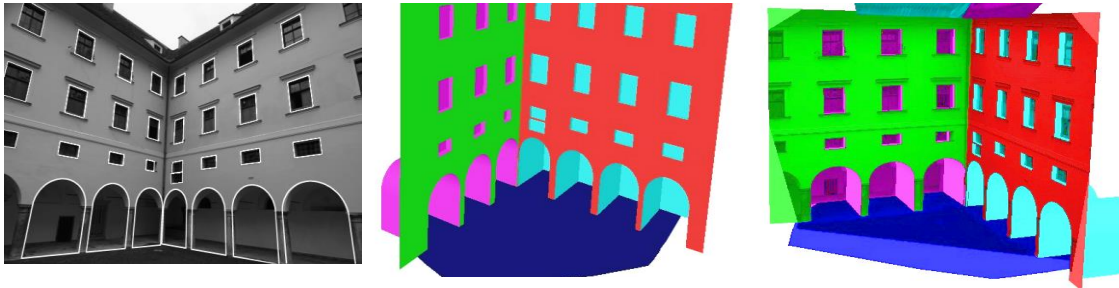
- ضمن الخطوة الثالثة تتم معالجة بارامترات النماذج المستخرجة في المرحلة السابقة لتتلاءم مع البارامترات المستخرجة من الصور، حيث يعاد إسقاط الخطوط الأساسية للمعالم التي تمت معالجتها مرة أخرى على الصور ويتم تعديلها باستخدام خوارزمية محددة تعدل موقع كل قطعة من الخطوط الرئيسية للنماذج حسب أقرب قيمة محسوبة من قبل الخوارزمية لتولد نموذج نهائي بشكل دقيق أقرب ما يمكن كما هو موضح بالشكل (2-13).



الشكل (2-11) يوضح مراحل الخطوة الأولى من النقاط الصور ثم تشكيل الغيمة النقطية وتحديد السطوح الأولية [14]



الشكل (2-12) يوضح تحديد الخطوط الأساسية للواجهة واجراء عملية التقطيع للفتحات والبروزات [14]



الشكل (2-13) يوضح النموذج النهائي للدير [14]

نتائج الباب الأول:

● نظراً لأهمية التراث الحضاري والثقافي للمجتمع والإنسان لابد من حماية هذا التراث من عوامل التدهور التي يمكن حصرها بغياب الوعي والتوعية الثقافية تجاه هذا التراث، بالإضافة إلى عدم القيام بخطوات عملية الحفاظ بشكل علمي ومدروس.

● قبل البدء بعملية الحفاظ على أي مبنى أو موقع تاريخي، لابد من دراسة أهميته من جميع النواحي التاريخية والوظيفية والاجتماعية... الخ، لمعرفة إذا ما كان هذا المبنى مؤهلاً لعملية الحفاظ.

● تتألف عملية الحفاظ من مجموعة من الخطوات وهي: التوثيق - الدراسة والتحليل - الترميم - إعادة التوظيف والتأهيل.

● تعد خطوة التوثيق المعماري والأثري أهم خطوات عملية الحفاظ لأنها تعد الأساس العلمي الصحيح لجميع الخطوات اللاحقة.

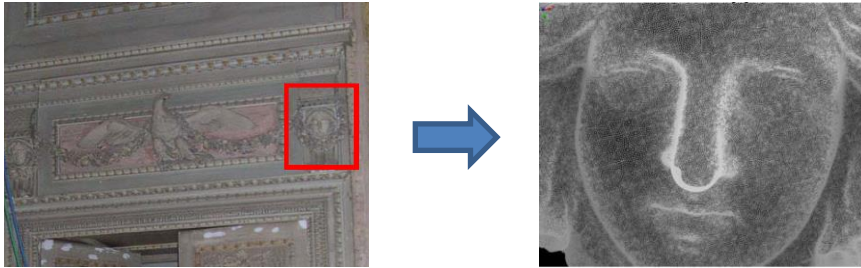
● يعتبر استخدام طرق التوثيق التقليدية مضيعة للوقت والجهد، لذلك يفضل استخدام كل من تقنيات المساحة التصويرية والماسح الليزري للحصول على نتائج ثنائية وثلاثية دقيقة ذات سوية علمية مرتفعة.

● يعتبر إدخال مفهوم النمذجة الثلاثية الأبعاد للمعالم الأثرية ضمن عملية التوثيق أمراً ضرورياً للقيام بهذه العملية بشكل علمي وصحيح ودقيق، وذلك لأننا نستطيع توليد نماذج ثلاثية الأبعاد لجميع الأجسام والعناصر المعمارية باستخدام هذا المفهوم، وبالتالي نستطيع أن نلغي استخدام الطرق التقليدية في عملية التوثيق المعماري والأثري ونستبدلها بطرق عملية متطورة وحديثة لا تحتاج إلى أخذ قياسات تفصيلية بشكل كامل لأي جسم أو مبنى أو موقع.

● ويكون شكل النموذج الناتج عن استخدام مفهوم النمذجة الثلاثية الأبعاد حسب تقنية العمل:

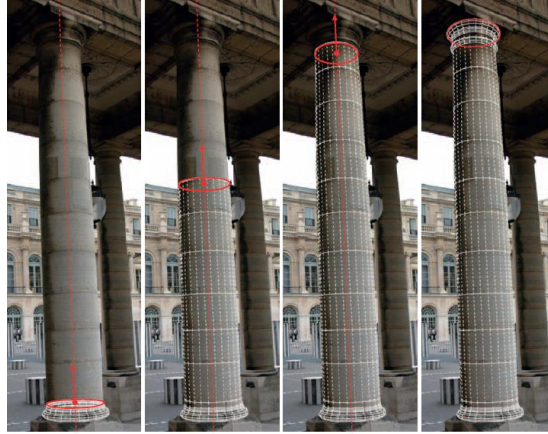
- إما شبكة (mesh) تحيط بالجسم المطلوب نمذجته وفق البيانات أو المعلومات التي

تم إدخالها (صور - معلومات ماسح ليزري) كما هو موضح بالشكل (2-16)



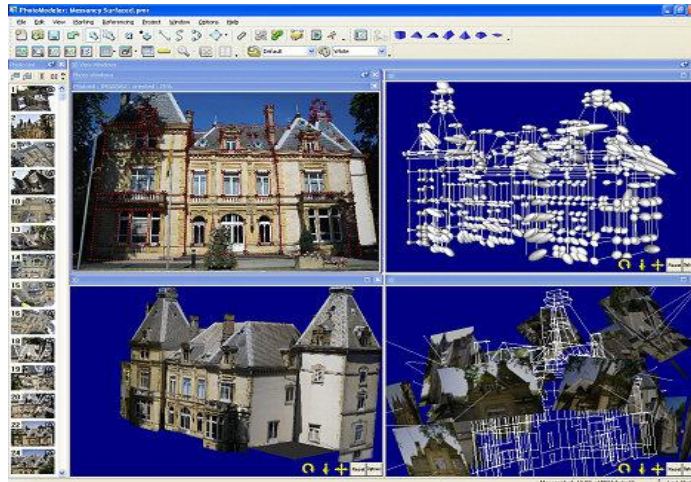
الشكل (2-16): الحصول على نموذج للجسم من خلال توليد غيمة نقطية [10]

- أو عن طريق استخدام الأشكال الهندسية البدائية (primitive shape) التي يتم التحكم بخواصها الهندسية (برمتراتها) مثل الطول و العرض ..الخ لتمثيل الشكل المطلوب نمذجته وفق البيانات أو المعلومات التي تم إدخالها (صور) كما هو مبين بالشكل (15-2)



الشكل (15-2): نمذجة عمود باستخدام الأشكال البدائية نلاحظ التحكم بارتفاع من خلال بيانات الصورة [14]

- أو عن طريق إضافة سطوح مرتبطة مع بعضها بمجموعة من العلاقات تحيط بالشكل الموجود ضمن البيانات أو المعلومات التي تم إدخالها (صور) كما في الشكل (16-2).



الشكل (16-2): نمذجة مبنى أثري باستخدام مبدأ تمثيل الحدود [14]

• يتم استخدام ثلاث طرق رئيسية للحصول على النموذج الثلاثي الأبعاد يمكن تلخيصها كما هو موضح بالجدول (1-2):

الجدول (1-2): طرق الحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد (إعداد الباحثة)

الطريقة	المبدأ العام	تدخل المستخدم	الحاجة إلى الخبرة المعمارية	صعوبة المعالجة البرمجية
النمذجة باستخدام الطرق الإجرائية	تعديل الوسائط الهندسية للأشكال البدائية أو أولية ضمن البرمجية بناءً على معلومات الشكل الأصلي (الصور) للحصول على الشكل المطلوب.	يدوية	تحتاج إلى خبرة معمارية	المعالجة البرمجية تعتبر مرنة وسهلة وتشابه العمل ببرامج التصميم بمعونة الحاسب.
النمذجة بناءً على المعلومات المستخرجة من الغيوم النقطية	تقوم هذه الطريقة على توليد ومعالجة شبكة (mesh) ذات إكساء للمبنى أو الموقع من خلال استخدام تقنيات المساحة التصويرية أو المسح الليزري	نصف آلية	لا تحتاج إلى خبرة معمارية	يتطلب الأمر معالجة برمجية ولكن يمكن للمعماري القيام بها في حال استخدام تقنيات المساحة التصويرية
النمذجة بناءً على مجموعة من نظريات النموذج الأساس	يتم تشكيل النموذج الأولي (غيمة نقطية) من خلال استعمال الصور ويتم الحصول على النموذج النهائي من خلال إدخال القوالب الأولية التي يمكن التحكم بها لتتلاءم مع المعلومات الهندسية للصور المدخلة	آلية	تحتاج إلى خبرة معمارية لإعداد القوالب والنماذج الأولية فقط	تعتبر المعالجة البرمجية صعبة لغير المختصين

- وكنتيجة تعتبر الطرق الإجرائية من افضل الطرق للمهندس المعماري لمايلي:
 - تتطلب هذه الطريقة دراية كبيرة بالأشكال والعناصر المعمارية التي تولف النموذج المطلوب ، وكذلك الدراية الكافية للتحكم بهذه الأشكال والعناصر لتتلاءم البيانات المدخلة للبرمجية(الصور).
 - تعتبر هذه الطريقة مجدية بشكل كبير عند نمذجة الأجسام المعمارية المتشابهة والتي يعود سبب تشابهها إلى أنها تملك نفس الأجزاء المكونة أ والمقياس أو إلى أنها بنيت مثلاً ضمن الفترة الزمنية أو العصر، الأمر الذي يسهل بشكل كبير إنشاء مكتبة نمذجة معمارية لجميع الأشكال والعناصر المعمارية تختصر الوقت اللازم لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد لأي جسم أو مبنى أو موقع .
 - سهولة استخدام برمجيات المساحة التصويرية التي تخدم هذه الطريقة والتي تشابه برامج التصميم بمعونة الحاسب.

الباب الثاني: طرق التوثيق المعماري والأثري باستخدام النمذجة الثلاثية الأبعاد و اعتبارات استخدامها (دراسة مقارنة)

بدأت عملية التوثيق المعماري تأخذ منهجاً وشكلاً جديداً، حيث لم يقتصر الأمر فقط على توثيق المبنى أو الموقع الأثري بشكل ثنائي الأبعاد بل أصبح من متطلبات إدارة المباني والمواقع الأثرية القيام بمرحلة التوثيق المعماري بشكل ثلاثي الأبعاد من خلال القيام بعملية نمذجة ثلاثية الأبعاد. إن هذه العملية تعطي تصوراً واضحاً عن التكوين الهندسي للمعلم بصورة علمية وهندسية دقيقة بكلفة بسيطة و وقت مختصر و تتيح استخدام هذه النتائج أو النماذج ضمن مجالات متنوعة ومختلفة ترفع من سوية العمل التوثيقي وأهميته، وفيما يلي استعراض لأهم طرق التوثيق المعماري والأثري حسب التقنية والأدوات المستخدمة [9]:

• الطريقة التقليدية اليدوية:

يتم التوثيق وقياس المسافات والزوايا وذلك بأدوات بسيطة مثل المتر العادي أو الليزري- الشواكيل، ولا يتطلب العمل بهذه الطريقة إلا تدريباً بسيطاً و هي طريقة تعتبر غير فعالة و تحتاج إلى وقت طويل، وتستخدم فقط في الحالات التي لا تتوفر فيها الأجهزة والبرمجيات الضرورية.

• طرق المسح الطبوغرافي التقليدي:

هذه الطريقة تتطلب أجهزة اختصاصية تستند على طرق هندسية تعتمد على الحساب الثلاثي الأبعاد لإحداثيات النقاط، إن الأداة المستعملة هي أجهزة المساحة مثل قانس المسافات و محطات القياس المتكاملة التي تستعمل عاكساً أو بدون عاكس للنقاط الصعب الوصول إليها . هذه التقنية فعالة في حال أردنا تحديد المعالم الأساسية للجسم مثل(الحدود العلوية للواجهة - الزوايا الأربعة للمبنى.... الخ) ، ولكن في حال أردنا توثيقاً دقيقاً لكافة عناصر وتفاصيل المبنى أو الموقع الأثري تعتبر هذه الطريقة غير فعالة، كما أصبحت تقنيات المسح الطبوغرافي تعتبر تقنيات مساعدة لعمليات التوثيق بواسطة المساحة التصويرية أو المسح الليزري.

• تقنية المساحة التصويرية:

تطبق هذه التقنية النظريات والمبادئ الأساسية للمساحة التصويرية القريبة المدى (close-range Photogrammetry)، التي تعتبر من أهم الطرق المتطورة بالمقارنة مع التقنيات الأخرى في مجال السرعة في إعطاء قياسات للأجسام الموثقة بكلفة منخفضة، والأمر الأكثر أهمية هو القدرة على إعطاء نتائج ذات دقة عالية، وهذه التقنية تحتاج إلى دعم من طرق المسح التقليدي أو

الطبوغرافي وذلك لأخذ قياسات وإحداثيات للنقط على الجسم لتحديد التموضع والمقياس الصحيح لهذا الجسم.

• المسح الليزري :

أصبح من أكثر الطرق انتشاراً مؤخراً بسبب التوفر التجاري للمواسح الليزرية ، التي تعمل آلياً و بسرعة كبيرة تصل إلى (1000 نقطة / ثانية) والنتيجة هي غيوم ذات ملايين النقاط تشكل وتحدد سطح أي جسم بدقة عالية. إنّ الإشكالية الرئيسية لهذه الطريقة هي الكلفة المرتفعة لسعر المساحات الليزرية وصعوبة التعامل مع الجهاز والبرمجيات المخصصة له، ولكن تعتبر سوية النتائج و المعطيات التي يمكن التوصل إليها ذات مستوى علمي وتكنولوجي مرتفع لا يمكن التوصل إليها بالطرق الأخرى.

وبناءً على ما سبق سوف يتم ضمن هذا الباب ذكر تفصيلي عن كل من تقنية المساحة التصويرية وتقنية المسح الليزري من حيث تعريفها ومجالات استخدامها والخطوات العامة التي تتم عملية التوثيق المعماري والأثري بها وذلك للتوصل إلى مقارنة صحيحة بين هاتين التقنيتين تقوم على أساس استعراض الاعتبارات التالية:

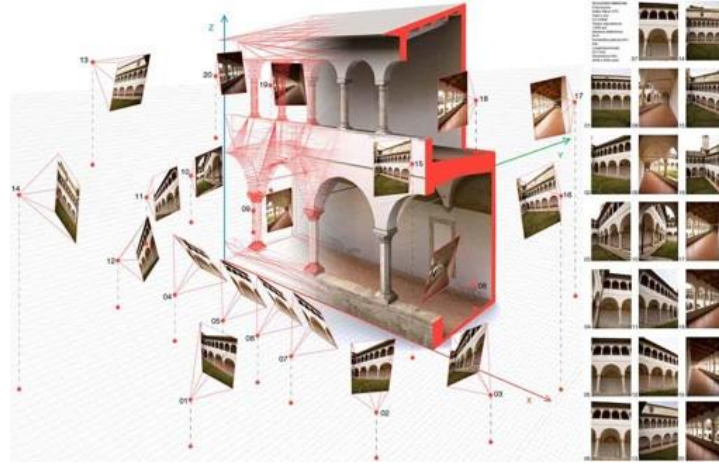
- الأجهزة المستخدمة
- الدقة
- الكلفة
- السرعة
- مؤهلات كادر العمل
- سهولة العمل ضمن الموقع

3. الفصل الثالث: طرق التوثيق المعماري والأثري باستخدام النمذجة الثلاثية الأبعاد

3.1. التوثيق المعماري والأثري باستخدام المساحة التصويرية:

تم تغيير المنهجية والنظرة العامة لعملية التوثيق والنمذجة الثلاثية الأبعاد للمباني والمعالم الأثرية من خلال علم المساحة التصويرية (الفوتوغرامتري)، حيث أضحى مصطلح الفوتوغرامتري المعماري [15] مستخدماً بشكل واسع في هذا المجال لشرح التقنيات المستخدمة لقياس الأجسام ذات الأبعاد المختلفة ودراسة وضعية آلات التصوير ذات قرب متفاوت من الجسم حسب درجة التفاصيل المطلوبة وحسب موقعها من الجسم والطرق البرمجية المستخدمة لإنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد للأجسام المصورة، بالإضافة إلى أن وجود الكاميرات الرقمية الحديثة وبرمجيات القياس من الصور و تقنيات الحاسب جعل من علم المساحة التصويرية الأرضية القريبة المدى أو الفوتوغرامتري تقنية مفيدة وعملية، لذلك تم استخدام هذه البرمجيات والتقنيات بشكل كبير في مجال التوثيق المعماري والأثري من خلال:

- التوثيق الثنائي البعد (إنتاج الصور المقومة أو الصور المصححة)
- التوثيق الثلاثي البعد بالاعتماد إما على صورة وحيدة و إما على مزدوج من الصور و إما على صور متعددة كما هو موضح بالشكل (3-1) أو حتى من خلال توليد غيوم نقطية ثلاثية الأبعاد يمكن إنشاؤها من عدة صور [16].



الشكل (3-1): تشكيل نموذج ثلاثي أبعاد من خلال مجموعة من الصور [16]

3.1.1. تعريف المساحة التصويرية وأنواعها:

هي علم القياس من الصور وهي ترجمة لكلمة أغريقية تعني القياس من الرسم بواسطة الضوء تتألف من photo معناها الضوء و gramma يعني الرسم و metron يعني القياس. ووفقاً

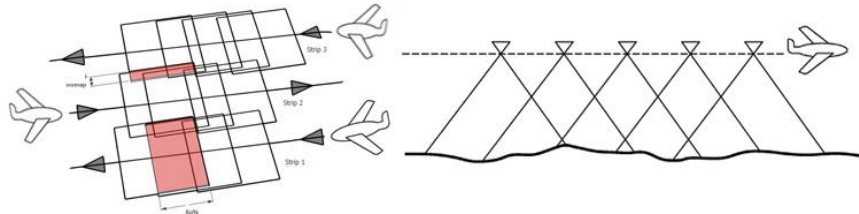
للجمعية الأمريكية للفوتوغراممري والاستشعار عن بعد (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) الفوتوغراممري أو المساحة التصويرية هو: فن وعلم وتقنية الحصول على معلومات دقيقة حول الأجسام الطبيعية و البيئة الموجودة ضمنها، من خلال عمليات تسجيل و قياس و تفسير صور فوتوغرافية و أنماط الطاقة الكهرومغناطيسية المسجلة لظواهر أخرى، و بتعبير أدق هو العلم الذي يهدف بشكل رئيسي إلى تحديد الصفات الهندسية والراديو مترية للجسم كالحجم والشكل و الموقع و الأبعاد و وضع مخططات له اعتماداً على صور مأخوذة لهذا الجسم[4].

وتنقسم المساحة التصويرية بشكل أساسي إلى قسمين:

- المساحة التصويرية الجوية أو الفضائية :

تتم عملية التوثيق والنمذجة من خلال صور تؤخذ من آلة تصوير خاصة مثبتة بأسفل أو داخل طائرة خاصة بالمساحة الجوية. ويكون محور عدسة التصوير بشكل عام شاقولياً (Vertical)، حيث يتم التقاط مجموعة من الصور المتوازية والمتداخلة طولياً بنسبة 60% باتجاه مسار الطائرة المحدد وبنسبة تداخل عرضي يتراوح بين 15% وحتى 60% كما هو موضح بالشكل (2-3) ثم تتم عملية التوثيق و النمذجة باستخدام برمجيات محددة .

إن المهمة الأساسية للمساحة التصويرية الجوية هي : وضع الخرائط والمخططات ودراسة المشاريع اعتماداً على هذه الخرائط والمخططات المأخوذة من الصور الجوية لهذه المشاريع لذلك نستفيد من هذه التقنية بشكل كبير في توثيق المواقع العامة للمواقع الأثرية[7]. الشكل (2-3) يبين الحصول على مخطط موقع عام ارتفاعي لقلعة سالس- فرنسا من خلال عدة صورة جوية.



الشكل (2-3):التداخل الطولي والعرضي بين الصور الملتقطة من الطائرة[16]



الشكل (3-3): الحصول على مسقط لقلعة سالس - فرنسا من خلال صور ملتقطة من طائرة هوليكنتر [11]

• المساحة التصويرية الأرضية :

وفيها تؤخذ الصور من آلة التصوير مثبتة بشكل يدوي أو بواسطة حامل يرتكز على الأرض أو بطرق أخرى موضحة بالشكل (3-4) حيث يكون محور عدسة التصوير بشكل عام أفقياً (horizontal)، كما يمكن أن يكون شاقولياً (Vertical) أو مائلاً (Oblique). بواسطة بعض التقنيات البسيطة والفهم الأولي للمبادئ الرئيسية للمساحة التصويرية القريبة المدى (close range Photogrammetry) يمكن ربط هذه الصور مع بعضها بواسطة خطوات وتقنيات وبرمجيات معروفة وذات كلفة بسيطة لنولد من خلالها نماذج لأجسام ثلاثية الأبعاد بوقت قصير وكلفة قليلة. تكون هذه النماذج قابلة للقياس (ذات أبعاد ونسب صحيحة وواقعية) دون الحاجة إلى إجراء هذه القياسات بشكل يدوي [7].



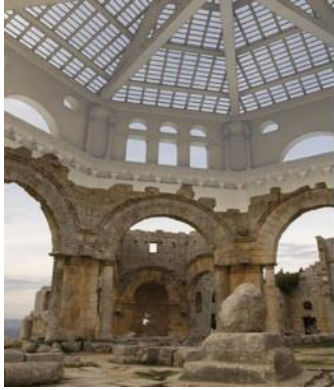
الشكل (3-4): بعض تقنيات تثبيت الكاميرا أثناء التقاط الصور

3.1.2. مجالات استخدام المساحة التصويرية:

تتعدد مجالات استخدام المساحة التصويرية ومنها [17] :

- مجال الجغرافيك مثل الخدع السينمائية و تصميم الألعاب الثلاثية الأبعاد و نمذجة الأشخاص.....الخ،.
- في مجال تحريات الحوادث مثل إعادة تمثيل حوادث السيارات أو الطائرات....الخ،
- استخدام هذه النماذج الثلاثية الأبعاد الحقيقية في مجالات الرؤية بواسطة الحاسوب والزيارات الافتراضية للمدن و المواقع الرقمية مثل (google earth)

- نمذجة التماثيل والمنحوتات واللوحات الفنية ، كما هو موضح بالشكل (3-5).
- توثيق المعالم الأثرية ،بالإضافة إلى إعادة بناء واستكمال المعالم التي تعرضت للهدم بشكل كامل أو لبعض من أجزائها بأبعادها ونسبها الأصلية باستعمال الصور المتوفرة، كما هو موضح بالشكل (3-6).



الشكل (3-6):استكمال قبة كنيسة سمعان - حلب

[17]



الشكل (3-5):نموذج ثلاثي الأبعاد لتمثال

حجري [17]

3.1.3. مبادئ الحساب في المساحة التصويرية:

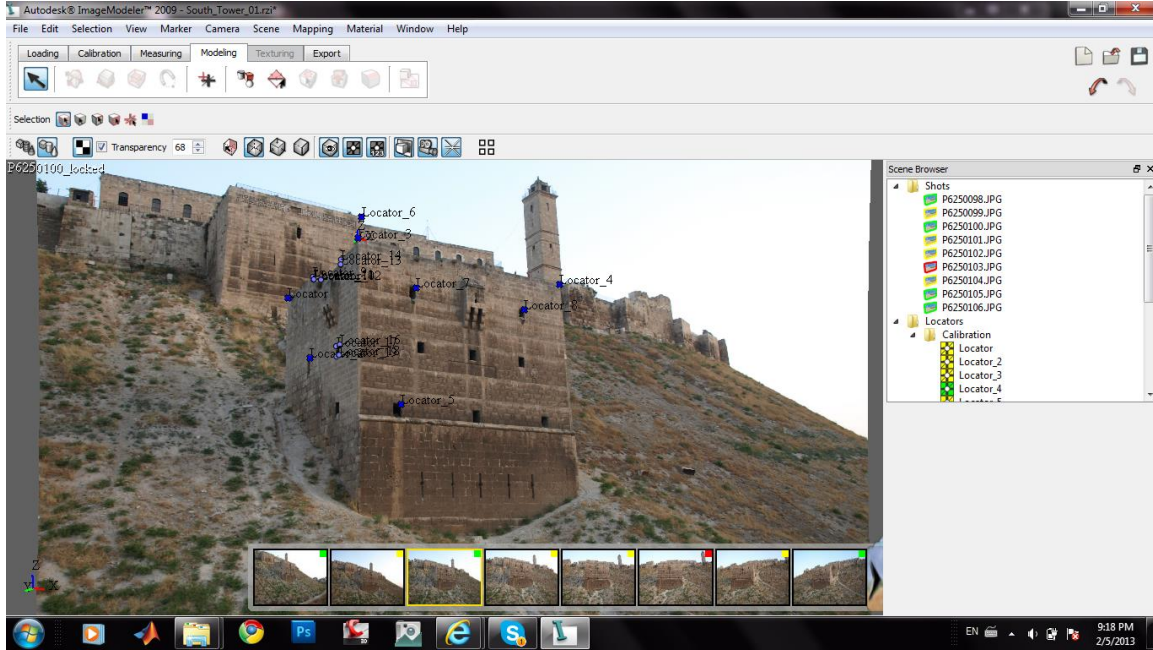
تعتبر هندسة الإسقاط هي نواة علم المساحة التصويرية، و للانتقال من صور رقمية إلى نموذج ثلاثي الأبعاد يجب الإلمام بعملية الإسقاط المنظوري والتحويل الهيموغرافي ملحق (2) و مبادئ حساب الإحداثيات الثلاثية الأبعاد ملحق (3) التي تعتمد بشكل أساسي على تحديد الوسائط الداخلية والخارجية للكاميرا. و تعرف الوسائط الداخلية والخارجية كما يلي [18].

• الوسائط الداخلية

و هي المواصفات الهندسية أو الداخلية للكاميرا وتكون ثابتة و محسوبة مسبقاً في الكاميرات المترية. أما في الكاميرات الغير مترية فيتم حسابها عن طريق برمجيات محددة و معروفة وسوف يتم التعرض للفرق بين الكاميرا المترية وغير المترية في الباب الثالث.

بغياب القيم الدقيقة للوسائط الداخلية للكاميرا يتعذر الحصول على قياسات صحيحة على الجسم النمذج بسبب تأثيرات تشوه العدسة إضافة إلى تشوه الشكل المنظوري. و يتم تحديد الوسائط الداخلية للكاميرا بعملية تدعى معايرة الكاميرا. و تتم المعايرة من خلال برمجيات تسمح بتحديد القيم الدقيقة لهذه الوسائط. من بين البرامج التي تقوم بعملية المعايرة نذكر برنامج ماتلاب (matlab) و هو يحتوي على Tool Box خاص بمعايرة الكاميرا. و يفرض البرنامج شروط

محددة لالتقاط الصور تتضمن تغطية الصور للوح المعايرة من جميع الزوايا والأطراف ضمن نسبة zoom ثابتة، ثم يتم إدخال هذه الصور ضمن البرمجية وإجراء خطوات محددة للحصول على القيم النهائية لوسائط الكاميرا.



الشكل (3-7): نتائج المعايرة لصور برج قلعة حلب الجنوبي (إعداد الباحثة)

كما يمكن الاستعاضة عن هذه البرمجية عندما تتوفر في برمجيات النمذجة عملية المعايرة مثل برنامج (photo modeler) الذي يعتمد في عملية معايرة الكاميرا على مجموعة من الصور الملتقطة للوح المعايرة و ذلك كخطوة أولى قبل البدء بعملية النمذجة. كذلك نجد برنامج (image modeler) والذي يعتمد على صور المشروع و لا حاجة لأخذ صور خاصة بلوح المعايرة. و تتم عملية المعايرة من خلال الالتقاط اليدوي لنقاط مميزة من الصور و مشتركة ضمن عدة صور. و يقوم البرنامج بأجراء المعايرة بشكل آلي أو يدوي بعد أخذ مجموعة كافية من النقاط. مع الأخذ بعين الاعتبار أننا بحاجة على الأقل إلى صورتين للبدء بعملية المعايرة و النقاط ثماني نقاط مشتركة في الصورتين و بحيث تكون إحداثياتها الفراغية لا تقع في مستو واحد .

إن إيجاد الوسائط الداخلية للكاميرا أو ما يعرف بمعايرة الكاميرا يعتبر أمراً مهماً في مجال الرؤية الثلاثية الأبعاد بواسطة الحاسوب لأن هذه الوسائط ضرورية لتتميز الخصائص البصرية والرقمية والهندسية لآلة التصوير بغية، من جهة أولى، حذف التشوه الهندسي الذي تسببه العدسات، و من جهة أخرى، حذف التشوه المنظوري [18].

• الوسائط الخارجية :

و هي الوسائط التي تحدد مكان وتوجيه الكاميرا بالنسبة لجملة إحداثيات معروفة ومحددة سواءً أكانت محلية أو مربوطة بالشبكة العامة. يتم تقدير هذه الوسائط من خلال إيجاد التحويل الذي يشمل الانتقال والدوران بين إحداثيات الكاميرا وجملة إحداثيات المشروع. و تدعى عملية حساب هذه الوسائط بالتوجيه الخارجي للكاميرا. ويتم تحديد عناصر التوجيه الخارجي للكاميرا (قيم مصفوفة التحويل) من خلال البرمجية التي تم اختيارها للقيام بعملية النمذجة. فأثناء عملية الانتقال الآلي أو اليدوي للنقاط المشتركة ضمن الصور يقوم البرنامج بحساب مصفوفات التحويل لكل الصور دفعة واحدة. و عند إضافة صورة جديدة إلى مجموعة الصور المعايير سابقاً يتطلب البرنامج بضع نقاط ثم يطلق عملية الحساب معيدا الحساب لكل الصور.

في برامج المساحة التصويرية الجوية يمكن أن يتألف التوجيه الخارجي من مرحلتين : التوجيه النسبي و التوجيه المطلق. أما في برامج المساحة التصويرية الأرضية نجد أن البرامج لا تتضمن هاتين المرحلتين و يمكن أن تكون معايرة الكاميرا تتضمن التوجيه الخارجي.

و يطلق اسم التوجيه النسبي على عملية ربط عناصر التوجيه الخارجي لصورتين مأخوذتين من آلة تصوير واحدة ضمن جملة إحداثيات واحدة و محلية خاصة بالصورتين. أما التوجيه المطلق فيقوم على ربط جمل إحداثيات جميع الصور مع إحداثيات المشروع أو الإحداثيات العالمية.

عند الانتهاء من معايرة الكاميرا يجب الانتباه إلى قيمة الرواسب وتعرف بأنها المسافة مقدرة بالبكسل بين النقاط ثنائية البعد المتوضعة في الصورة ، والنقاط ثلاثية البعد المستنتجة من قبل البرنامج ، فمثلا إن كانت القيمة المتبقية بكسل واحد هذا يعني أن النقطة الفراغية على مسافة بكسل واحد من النقطة المطابقة لها والتي كانت قد حددت على الصورة من قبل ، وإن قيمة الخطأ تتعلق بدقة تعيين مواقع نقاط المعايرة على الصور ، فكلما كنا أكثر حذراً في تعيين مواقع النقاط كانت المعايرة أفضل [18] .

3.1.4. التوثيق المعماري والأثري باستخدام المساحة التصويرية:

يمكن تصنيف طرق التوثيق في محورين أساسيين:

- التوثيق ثنائي البعد : والذي يقوم على إنتاج صور مقومة أو مصححة حيث يمكن استخلاص المعلومات والقياسات الثنائية البعد منها بدلاً من القياس على أرض الواقع لإعادة الرسم والتوثيق، وبالتالي يمكن بهذه الطريقة اختصار الوقت و الكلفة اللازمة للعمل. و يستخدم هذا التوثيق في حالة الواجهات المستوية حيث تكون البروزات سطحية.

- التوثيق الثلاثي البعد : الذي يؤمن قياسات ثنائية وثلاثية البعد و يؤدي إلى إنتاج نموذج ثلاثي الأبعاد و يستخدم في مجالات عديدة تتعدى مجال التوثيق المعماري والأثري. وسوف نعرض في الفقرات اللاحقة شرحاً مفصلاً عن كلا نوعي التوثيق.

3.1.4.1. التوثيق الثنائي البعد :

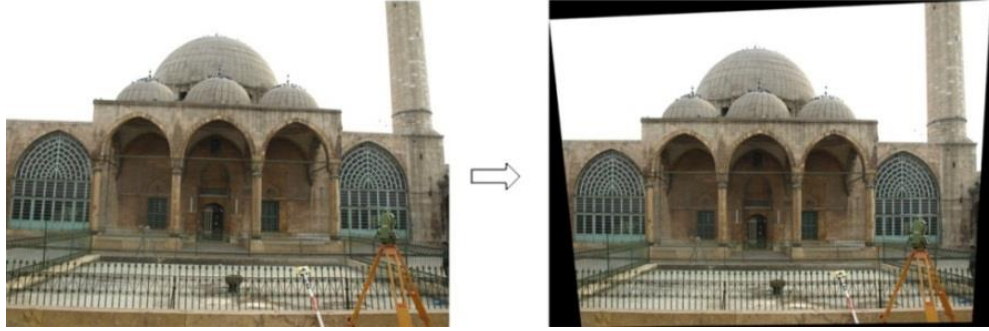
تعتمد عملية التوثيق الثنائي البعد بشكل أساسي على حذف التشوه الموجود ضمن الصور بنوعيه : التشوه الناتج عن عدسة الكاميرا و التشوه المنظوري الناتج عن عملية الإسقاط المركزي للصورة بزاوية مائلة على الواجهة. و بحذف هذه التشوهات نستطيع الحصول على صورة ذات نسب صحيحة مطابقة للواقع نستطيع أن نستخلص منها أبعاداً صحيحة لعناصر الصورة عن طريق رسمها بمساعدة برمجيات الرسم بمعونة الحاسب. تعتمد هذه العملية بشكل أساسي على حساب إحداثيات مجموعة من النقاط المحددة ضمن الصور بواسطة محطة رصد متكاملة تضمن دقة هذه الإحداثيات ثم تتم معالجتها ضمن البرمجيات مثل (photo modeler) أو (matlab) وذلك بعد ربط هذه الإحداثيات بالصور.

• التوثيق الثنائي البعد باستخدام الصور المصححة (rectified image):

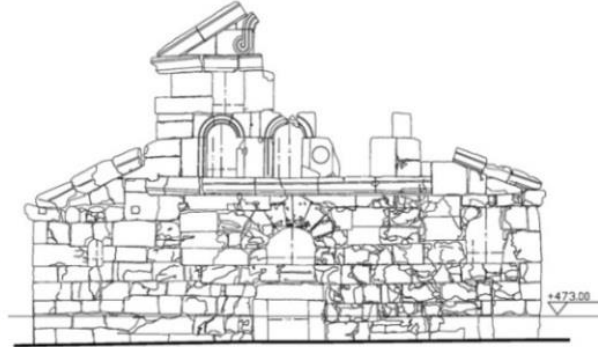
يعتمد استخدام الصور المصححة [18] على إعادة تشكيل أحد مستويات الجسم ذو الرؤية المنظورية (perspective view) ليصبح ضمن رؤية عمودية (orthographic view) ويجب معرفة إحداثيات ثلاث نقط مساحية على الأقل لتقويم المستوي المطلوب. وبشكل عام، يمكن أن يبقى في الصور المصححة لواجهة بعض التشوه الناتج عن العدسة في حال عدم حذفه، أما تغيرات أو تشوهات الشكل المنظوري فتتم معالجتها بالكامل. كما هو موضح بالشكل (3-8).

تعتبر هذه الطريقة الأسهل والأكثر انتشاراً في عمليات التوثيق حيث يكفي لتقويم صورة واجهة ما أن نحدد بدقة إحداثيات ثلاث نقاط من مستوي الواجهة إما عن طريق محطة رصد و إما بقياسات يدوية. ثم نقوم بإزالة التشوهات المنظورية مباشرة (مكان توضع الكاميرا - تشوهات الإسقاط) دون الحاجة لمعرفة وسائط الكاميرا الداخلية أو مواصفات الكاميرا في حال إهمال تشوهات العدسة. لذلك لا ينصح باستعمال كاميرات ذات تشوه عدسة كبير كتلك التي تملك عدسات ذات زاوية رؤية عريضة (wide angle) أو عدسات من نوع (fisheye lenses). نستفيد من الصور المصححة عند توثيق السطوح الثنائية البعد التي لا تحوي على تغيرات كبيرة في البعد العمودي على السطح. حيث يمكن استخراج القياسات الثنائية البعد والنسب من هذه

الصور بشكل صحيح [10]. كمثال على التوثيق الثنائي البعد نعرض في الشكل (3-9) تصحيح صورة تحوي على تشوهات لواجهة كنيسة في قلعة سمعان. حيث يظهر الجدار بشكل مستوي. نشاهد على اليسار الصورة قبل عملية التصحيح و على اليمين المخطط الثنائي البعد المرسوم اعتمادا على الصورة المصححة.



الشكل (3-8):صورة مصححة لواجهة الجنوبية لجامع العثمانية -المديرية العامة للآثار والمتاحف، المدينة القديمة ، حلب



الشكل (3-9):واجهة لكنيسة شمال شرق الواقعة ضمن مجمع قلعة سمعان مشروع تطوير قلعة سمعان -المديرية العامة للآثار والمتاحف المدينة القديمة،حلب

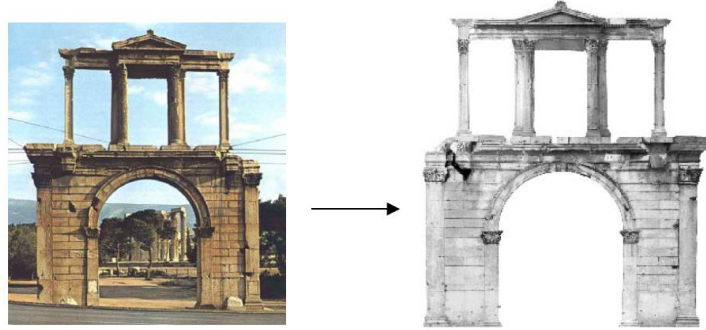
في بعض الحالات حيث تتألف الواجهة من مستويات متعددة و متقاربة أو تحوي بروزات غير عميقة فيمكن تصحيح كل مستوي على حده وجمع هذه المستويات مع بعضها من خلال الاستعانة ببرامج التصميم بمعونة الحاسب كما هو موضح بالشكل (3-10).



الشكل (3-10):صورة مصححة لمنزل المصطفى السامي في اسطانبول تم التقاط مجموعة من الصور وتصحيحها وجمع هذه الصور باعتماد على برامج التصميم بمعونة الحاسب للحصول على النتيجة النهائية [18]

• التوثيق الثنائي البعد باستخدام الصور المقومة (Orthophoto):

هو إسقاط للجسم الثلاثي الأبعاد الحقيقي المتعدد المستويات على مستوي وذلك باستعمال نظرية الإسقاط المتوازي، بحيث تكون جميع أشعة الإسقاط موازية لبعضها البعض وعمودية على المستوي بحيث تبقى الخطوط المتوازية متوازية و الحجم لا يتغير بتغير بعد المسافة عن مستوي الإسقاط. وبالتالي الصورة المقومة (photo Ortho) هي صورة حُذفت منها التشوهات المنظورية الأمر الذي يجعل لها نفس الخصائص الهندسية ثنائية البعد للجسم المصور بالإضافة إلى أنها تحوي على نفس المقياس والنسب، الأمر الذي يجعل إمكانية القياس من الصورة ممكناً [19]. تستخدم الصور المقومة للحصول على تفاصيل ثنائية البعد للسطوح بالإضافة للصور المستخدمة للإكساء ضمن برامج النمذجة الثنائية والثلاثية الأبعاد حيث تقوم هذه البرمجيات بربط صور إكساء (texture images) مع سطوح النموذج مما يزيد في واقعية النماذج المستخدمة. هذه الطريقة تؤمن الإسقاط الصحيح لكل مستوي من مستويات الجسم على مستوي واحد صحيح على خلاف الصور المصححة التي تؤمن إسقاط صحيح لمستوي واحد فقط كما هو موضح بالشكل (3-11).

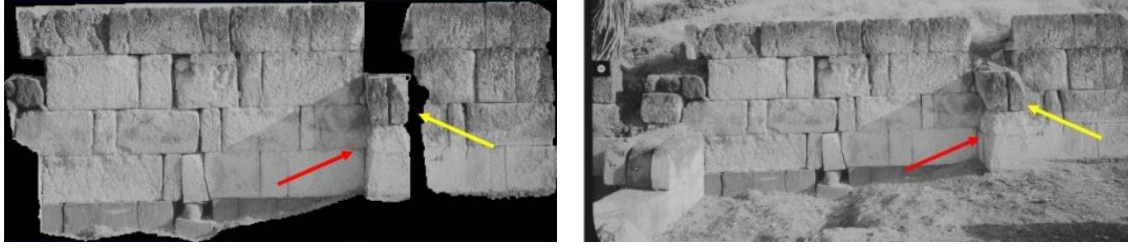


الشكل (3-11): صورة مقومة لبوابة ادريانوس Gate of Adrianos في أثينا [19]

إن استخدام الصورة المقومة يشبه الحصول على نموذج مكسي ثلاثي الأبعاد بوضعية الرؤية العامودية (orthographic view) مما يؤمن معرفة القياسات الثنائية البعد لجميع مستويات الجسم والنسب الصحيحة للجسم المصور ولكن تتطلب هذه العملية معرفة نموذج رقمي للواجهة DSM لإرجاع النموذج إلى الحجم الحقيقي. ويتألف النموذج الرقمي من شبكة منتظمة من النقاط ثلاثية الأبعاد. وتجر الإشارة إلى أن إنتاج صورة مقومة لا يتم إلا بعد تحديد الوسائط الداخلية والخارجية للكاميرا.

نلاحظ من خلال الصور المقومة اختفاء أجزاء من صورة يعزى هذا الاختفاء إلى أن هذا الجزء من الصورة يقع على مستوي متعامد مع مستوي الإسقاط كما هو موضح بالشكل (3-12). كما

نلاحظ ظهور رقع سوداء على الصورة المقومة نتيجة عدم تغطية الصورة لكافة أجزاء المستويات.



الشكل (3-12): صورة مقومة لبقايا جدار خارجي نلاحظ وجود بقع سوداء نتيجة الإسقاط العمودي لجميع المستويات [19]

3.1.4.2. التوثيق الثلاثي البعد:

إن المحور الثاني الذي تقوم عليه عملية التوثيق المعماري والأثري باستخدام المساحة التصويرية هو التوثيق الثلاثي البعد و سوف يتم تقسيمه تبعاً إلى عدد الصور المستخدمة (صورة وحيدة- صورتين - صور متعددة) وسوف يتم استعراض المبادئ العامة لكل حالة.

• التوثيق الثلاثي البعد باستخدام صورة وحيدة (single photo):

تعتبر هذه التقنية مفيدة جداً وخاصة في حالات المعالم التاريخية التي تعرضت بكاملها أو أجزاء كبيرة منها للتهدم وبحاجة إلى إعادة بناء أو استكمال ولا يوجد صور حديثة لها لمنقطة من عدة زوايا. حيث أن الفكرة الرئيسية للحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد من صورة وحيدة تقوم على:

• توجيه حواف الجسم وسطوحه بالتوازي والتعامد.

• ربط هذه السطوح والحواف من خلال نقاط التحكم [20].

من خصائص الإسقاط المنظوري أن الحواف المستقيمة تبقى مستقيمة ضمن مستوي الإسقاط (الصورة) لكن هذا الإسقاط لا يحافظ على التوازي بين الحواف المستقيمة المتوازية وذلك لأن منحى الحواف المتوازية على الواقع تتقاطع على الصورة بنقطة تدعى نقطة الفرار. من خلال الشكل (3-13) نلاحظ أن جميع الخطوط التي من المفترض أن تكون متوازية تتقاطع في نقطة فرار واحدة. لذلك توجيه سطح الواجهة يمكن أن يستنتج من اتجاهات حوافها (حافتين على الأقل)، كما أن معلومات التعامد تساعد في تحديد التوجيه في حالة عدم وجود حواف متوازية كافية [20].



الشكل (2-13): الحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد من صورة وحيدة [20]

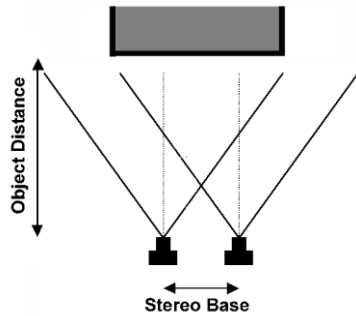
ومن ثم يتم ربط كل أربعة خطوط لتشكيل مستويات مرتبطة مع بعضها عن طريق المعالجة الرياضية للقيود الهندسية (التوازي، التعامد، تلاقي الخطوط المتوازية المنحى بنقطة فرار مشتركة) بالإضافة إلى العلاقات الطوبولوجية بين السطوح (الاحتواء، التجاور...) يمكن تمثيل السطوح وحساب إحداثيات الذرى المشكلة لكل سطح.

• التوثيق الثلاثي البعد باستخدام صورتين:

ويتم حسب الطريقتين التاليتين: التوثيق بواسطة الرؤية التجسيمية- التوثيق بواسطة زوج من الصور

التوثيق بواسطة الرؤية التجسيمية (Stereographic processing):

يتشكل النموذج الثلاثي الأبعاد من زوجين من الصور ملتقطتين للجسم إما باستخدام كاميرا ذات عدستين تقوم بالتقاط الصورتين بشكل متزامن كما في الشكل (3-14) أو عن طريق كاميرتين تلتقطان صورتين متراكبتين للجسم مع مراعاة شروط هندسية معينة [18].



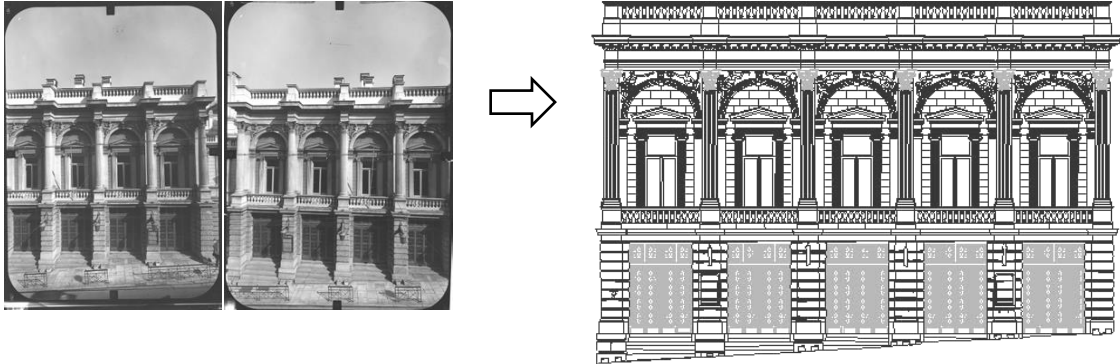
الشكل (3-14): الكاميرا المستخدمة في التقاط زوج من الصور انياً [18]

المبدأ الأساسي فيها يشابه الرؤية بواسطة العين البشرية حيث أن صورتين متقاطعتين ملتقطتين للجسم من الموقع نفسه وبنسب تداخل محددة يمكن أن يخلق رؤية تجسيمية ثلاثية الأبعاد لهذا الجسم.

و يقوم المبدأ الهندسي لهذه العملية على تحديد الإحداثيات الثلاثية الأبعاد لنقطة ما من خلال تقاطع شعاعين في الفراغ. و فيما يلي الشروط الهندسية الواجب مراعاتها لتمثيل الأجسام ذات شكل ثلاثي الأبعاد بالاعتماد على تقنيات التصوير الستيريو [20]:

- معظم أجزاء الجسم يجب أن تكون ظاهرة في الصور وتتقاطع الصور بنسبة تداخل عرضي 60%.
- اتجاهات محاور الكاميرات يجب أن تكون متوازية لكي نحصل على مشاهد تجسيمية جيدة.
- تستعمل عموماً الكاميرات الهندسية المعاييرة محددة الوسائط الهندسية الداخلية والخارجية ذات تشوه عدسة صغير.
- لضمان نتائج جيدة يفضل أن تكون نسبة المسافة بين مواقع الكاميرات إلى بعد الكاميرا عن الجسم بين 1:5 و 1:15.
- كما أن نتائج الاستخدام تتلخص ب:
- إيجاد مخططات ثنائية البعد للواجهات الأثرية المعمارية. كما هو موضح بالشكل (2-15)

- نماذج ثلاثية الأبعاد للمباني والمواقع الأثرية.

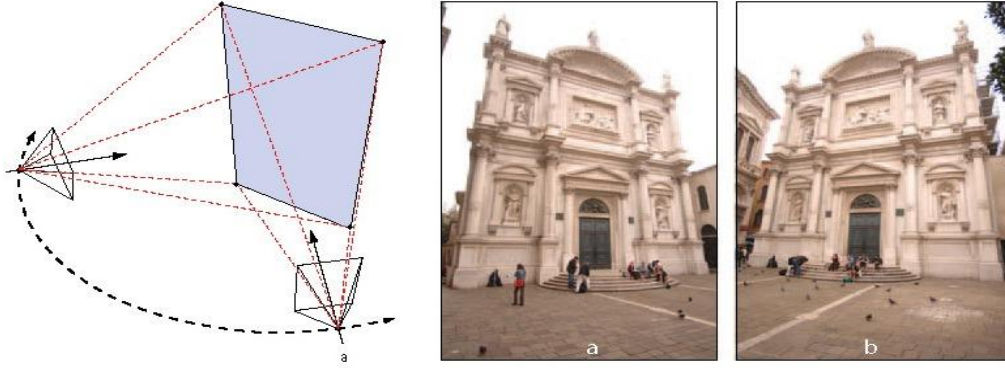


الشكل (2-15): صورتين ملتقطتين أنياً للحصول على نموذج ثنائي البعد لواجهة المسرح الوطني في أثينا [18]

التوثيق باستخدام زوج من الصور:

المبدأ الأساسي [18] فيها يقوم على أن كل نقطة ثلاثية الأبعاد تتحدد من تقاطع شعاعين فراغيين ،ولذلك فإن الأشعة الصادرة من موقعين مختلفين للتصوير متداخلين بنسبة محددة (تقريباً 60%) تتقاطع مع بعضها في نقطة ثلاثية الأبعاد من الجسم ،وهكذا يتم حساب الإحداثيات الثلاثية الأبعاد لجميع نقاط الجسم ويتشكل لدينا نموذج ثلاثي الأبعاد كما هو موضح ضمن الشكل (2-2)

16، وذلك حسب مبدأ الحساب الثلاثي الأبعاد المفصل ضمن الملحق (3) .

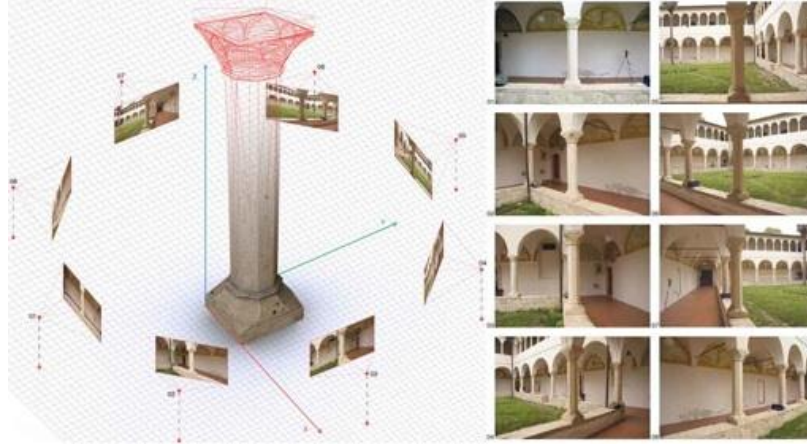


الشكل (2-16): التقاط زوج من الصور لتشكيل نموذج ثلاثي الأبعاد [18]

• التوثيق الثلاثي البعد باستخدام صور متعددة:

لن يكفي في الكثير من الأحيان استعمال زوج ستيريو وحيد من الصور لإعادة بناء مبنى أو موقع معقد يحوي على العديد من التفاصيل. لذا فإن عدداً أكبر من الصور يجب أن يستعمل لتغطية كامل المبنى أو الموقع.

يقوم المبدأ الأساسي [21] لعملية التوثيق الثلاثي البعد على حساب إحداثيات نقطة في الفراغ اعتماداً على مساقطها في الصور و ذلك بتمرير أشعة من المساقط و من مراكز الإسقاط بحيث تتقاطع في النقطة المراد حساب إحداثياتها. وهذا الأمر متعلق بشكل كبير بمواقع آلات التصوير، وهذا يعني أنه ليس من الضروري البحث عن أزواج صور متوازية، متقاربة، عمودية، أفقية، مائلة بل هو مزيج ملائم من الكاميرات والعدسات يتم عن طريق إيجاد حل متوافق لجميع عناصر توجيه الصور (معرفة الوسائط الخارجية) بعد معايرة الكاميرا (معرفة الوسائط الداخلية) كما هو موضح بالشكل (3-17). ثم يتم استخدام برمجيات خاصة للنمذجة تعتمد أما على تمثيل الحدود (Boundary Representation–B-rep) أو بناءً على الهندسة الحجمية (Constructive Solid Geometry CSG) أو على توليد غيوم نقطية كما سوف يتم تفصيله ضمن الفقرة التالية.



الشكل(3-17):انشاء نموذج حتمي للعمود من خلال مجموعة من الصور[21]

وفي كل من الحالتين السابقتين (استخدام صور متعددة أو صورتين) يتم انتقاء عدد من النقاط المشتركة بين التي يجب معرفة إحداثياتها حسب شكل الجسم وعدد المستويات فيه ومقدار التفاصيل الموجودة. حيث يتم تحديدها إما بطريقة آلية أو نصف آلية أو يدوية وذلك حسب نوع البرمجية المستخدمة[21]:

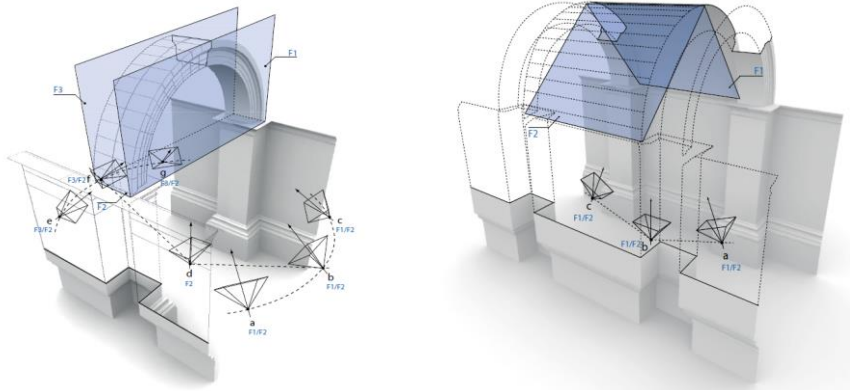
- الطريقة الآلية: يتم اختيار النقاط المميزة تلقائياً ضمن البرنامج دون تدخل المستخدم.
- الطريقة نصف الآلية: يتم اختيار النقطة على الصورة الأولى من قبل المستخدم ويقوم البرامج بتحديد النقطة المقابلة لها في الصور الأخرى ثم يقوم بحساب إحداثياتها في الفراغ.
- الطريقة اليدوية : يقوم المستخدم بتعيين مساقط النقطة في الصور ثم يقوم البرنامج بحساب الإحداثيات في الفراغ.

وبالتالي يمكن أن ينتج لدينا غيمة من النقاط في حال كان الجسم معقد الشكل (تمثال- زخرفة حجرية) أو عدة نقط فقط في حال شكل بسيط (واجهة ذات مستو واحد لا تحوي على مستويات متعددة أو بروزات....الخ). كما أن نتائج الاستخدام تتلخص في إيجاد مخططات ثنائية البعد للواجهات الأثرية المعمارية و نماذج ثلاثية الأبعاد للمباني والمواقع الأثرية.

إن معايير النقاط الصور في حال استخدام صور متعددة أو فقط زوجين من الصور هي[21]:

- يجب أن تكون معظم أجزاء هذه الأجسام ظاهرة في الصور وتتقاطع هذه الصور بنسبة تداخل عرضي 60% و ليس بالضرورة أن تكون محاور الكاميرات متوازية.

- في حالة الصور المتعددة يفضل أن نحصل على الأقل على ثلاث صور ملتقطة من ثلاث زوايا مختلفة لكل جزء أو مستوي من جسم كما في الشكل (3-18). وعدد الصور بشكل عام غير محدد ولكن يتبع لدقة التفاصيل المطلوبة وإمكانية الجهاز والبرمجية المستخدمة.



الشكل (3-18): مواقع آلات التصوير بالنسبة للشكل المعماري [14]

- في حالة الصور المتعددة أو زوج من الصور ليس هنالك نسبة محددة بين موقع الكاميرا وبعد الكاميرا عن الجسم. ويختلف البعد عن الجسم حسب طبيعة الموقع ودقة التفاصيل الموجودة ضمن الجسم.
- يجب الحصول على زوايا جيدة بين الصور: نحاول أن نجعل الزاوية بين محوري التصوير قريبة من 90 درجة.
- يجب تأمين فاصل مناسب بين الأفق والشاقول: من أجل الحفاظ على زوايا قريبة من القائمة بين الصور و يجب تأمين الفصل الجيد بين محطات جهاز التصوير أفقياً و شاقولياً. أي يجب ألا نجعل المحطات كلها في مستو واحد.
- يفضل ان تتشارك الصور بنسبة (zoom) واحدة، ولكن تفرض طبيعة الموقع أحياناً ودرجة التفاصيل الموجودة فيها أن يكون هنالك تغير بدرجة ال (zoom) لذلك يجب مراعاة هذا الأمر عند معايرة الصور حسب نوع البرمجية فإما أن تتم معايرة الصور بشكل منفصل أو أن يتم التأكد من تفعيل خيار أن الصور لا تتشارك بنسبة (zoom) واحدة ضمن برمجية العمل.
- يجب النقاط العديد من الصور واستخدام المناسب منها
- وبعد الحصول على الصور الأساسية يمكن القيام بما يأتي:
 - الاقتراب من العنصر للحصول على تفاصيل أكبر.

- الابتعاد كثيراً من أجل تطويق العنصر أو محيطه.
- التقاط صور بين المحطات المخطط لها سابقاً و التقاط صور أعلى و أسفل المحطات المخطط لها.
- يجب مراعاة التصوير ضمن فترة محددة من النهار منعا لحصول تناوب لوني بين الواجهات أو وجود ظلال تصعب معالجتها في مراحل لاحقة و يفضل أن تتم عملية التصوير عند وجود غيوم أو عند الصباح الباكر قبل الشروق.

3.1.5. خطوات العمل التوثيقي باستخدام المساحة التصويرية :

وبشكل عام للحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد باستخدام المساحة التصويرية لدينا عدد من الخطوات الرئيسية الموضحة ضمن الشكل (3-19) وتتضمن:



الشكل (3-19): مراحل العمل باستخدام تقنيات المساحة التصويرية

ولتوضيح فكرة العمل بشكل عام سوف يتم استعراض هذه الخطوات وفق تجربة توثيق نافورة دير سانت جابن [22]:

• المرحلة التحضيرية:

في مرحلة التحضير للعمل يتم اختيار الكاميرا المناسبة للعمل من حيث الدقة والنوعية، ويتم أيضاً في هذه المرحلة التحقق من معايرة الكاميرا بشكل صحيح. ،ويتم ضمن هذه المرحلة أيضاً التعرف إلى الموقع أو المبنى أو الجسم المراد نمذجته لوضع تصور عن كيفية التقاط الصور وتحديد نوعية البرمجية المستخدمة [22].

• العمل ضمن الموقع:

يتم ضمن هذه المرحلة أخذ عدد من القياسات اليدوية أو باستخدام محطة رصد متكاملة وذلك للتأكد من الدقة التي سوف يتم التوصل إليها، بالإضافة إلى لزوم هذه القياسات من أجل وضع القيود الهندسية اللازمة (قيد الزاوية والمسافة) للحصول على القياسات الصحيحة أثناء القيام بعملية النمذجة، كما يتم ضمن هذه المرحلة التقاط الصور وفق معايير التي تم ذكرها سابقاً.

ضمن التجربة العملية لتوثيق نافورة دير سانت جابن تم التقاط الصور بشكل يغطي جميع الأجزاء الداخلية والخارجية من الأفواس والقبب والأعمدة المزينة... الخ، وتم اعتماد 14 صورة لتغطية الشكل الخارجي و 8 صور للشكل الداخلي والذي ساعد على التقاط الصور بشكل جيد هو وجود

هذا المعلم ضمن فضاء مفتوح [22] والشكل (3-20) يوضح عدد مجموعة الصور الملتقطة.



الشكل (3-20) بعض الصور الملتقطة لنافورة دير سانت جابن [22]

• العمل المكتبي :

بعد زيارة الموقع يتم تحديد البرمجية التي سوف يتم استخدامها حسب طبيعة الموقع ودرجة التفاصيل الموجودة فيه، وفي أغلب الأحيان عندما يكون الموقع بمساحة كبيرة يتم تقسيم المشروع إلى عدة أجزاء يتم من خلاله نمذجة كل جزء على حدى. ثم يتم جمع هذه النماذج في النهاية ومعالجتها. تم اعتماد برمجية (image modeler) لتوثيق هذا المعلم بالاعتماد على مبدأ الهندسة الحجمية [22]. و ينقسم العمل المكتبي إلى قسمين النمذجة و الاكساء :

1. النمذجة: تشترك جميع برامج النمذجة بخطوات عامة يمكن تفصيلها كما يلي [23]:

○ التأكد من معايرة الكاميرا بشكل صحيح ،وفي حال كانت عملية معايرة الكاميرا تتم من خلال برمجيات النمذجة فيجب التأكد منها من خلال مراجعة رواسب أخطاء نقاط المعايرة حيث يتم إعطاء تقرير يبين قيم هذه الرواسب بالبكسلات ويحدد البرنامج النقطة ذات الراسب الأكبر وذات الراسب الأصغر مع الخطأ المتوسط التربيع الأكبر والأصغر على القياس لكل نقط(يجب أن يكون الراسب أقل من 2بيكسل). ويتم انتقاء النقاط المستخدمة في عملية المعايرة بحيث تكون مميزة و ظاهرة في أكثر من صورة ونحتاج إلى 8 نقاط للقيام بعملية المعايرة بين 3 صور ونحتاج إلى أربعة نقط إضافية عند زيادة أي صورة جديدة.

○ ثم نقوم بتحديد اتجاه المحاور الثلاثية الأبعاد (المحاور الإحداثية) إذا لم يتم ربط

المشروع بنقاط مراقبة. وفي حالة التجربة العملية تم تحديد النقاط المشتركة بين الصور بسهولة بسبب طبيعة البناء الحجرية ، كما تم تحديد اتجاه المحور z بشكل مطابق لأحد الأعمدة ليضمن الحصول على زاوية قائمة أما المحورين x و y تم تحديد اتجاهاتهما بشكل يلائم الشكل المثلث للنافورة، والشكل (3-21) يوضح نقاط المعايرة واتجاه المحاور. ثم تم إضافة قيود الهندسية مثل:

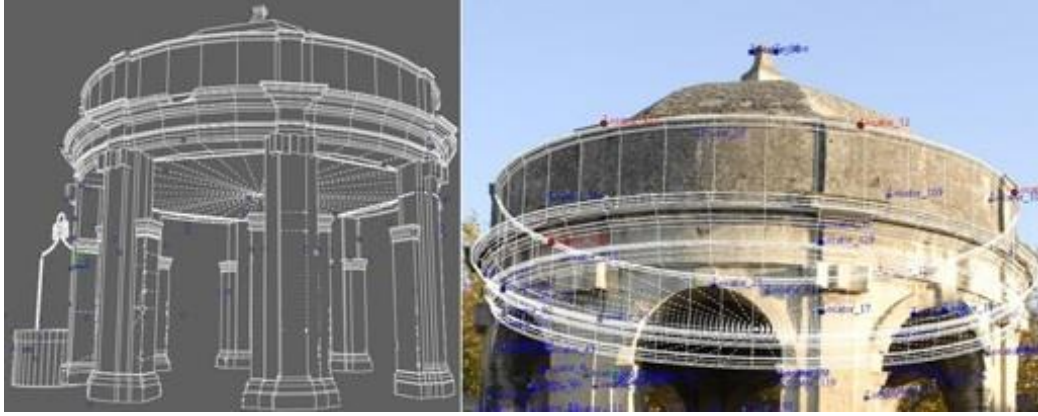
- قيد المسافة والذي يمكن تحديده من خلال القياسات المأخوذة من الموقع.
- وقيد الزوايا الذي يمكن تحديده من قياسات ضمن الموقع أيضاً.
- كما يمكننا إضافة الإحداثيات الفراغية الناتجة عن الأرصاد الحقلية في حال تم رصدها.



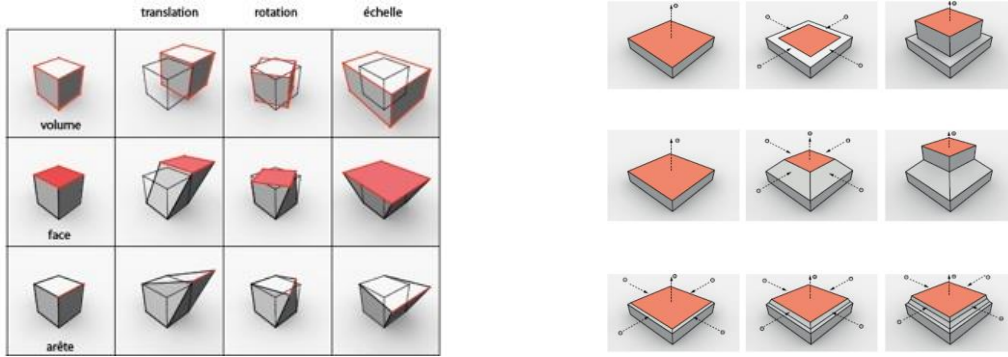
الشكل (3-21):نقاط المعايرة واتجاه المحاور x,y,z [22]

- التأكد من ظهور خطوط من خلال نقاط المعايرة تبين مواقع التصوير(تحديد الوسائط الخارجية للكاميرا) خطوط القطب (epipolar lines) للتأكيد على مواقع النقاط المشتركة.
- إضافة نقاط جديدة للمساعدة في عملية النمذجة ويختلف عددها حسب شكل الجسم ومقدار التفاصيل الموجودة فيه.
- البدء بعملية التشكيل الثلاثي الأبعاد للعناصر المشكلة للجسم حسب نوع البرمجية المستخدمة، والشكل (3-22) يوضح عملية الحصول على النموذج الثلاثي الأبعاد للنافورة. حيث تم استخدام العمليات المتاحة ضمن البرمجية مثل إضافة وجوه جديدة أو

تقسيم وجوه و إجراء عمليات رفع (extrude)، بالإضافة إلى عمليات التدوير والتحرك وتغيير المقياس... الخ والشكل (3-23) يوضح بعض العمليات المتاحة ضمن البرمجية والتي تمكننا من إنشاء النموذج حسب مبدأ الهندسة الحجمية.

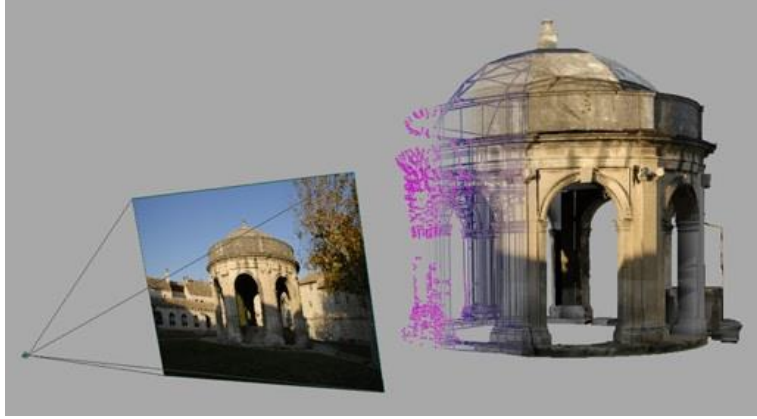


الشكل(3-22) النموذج الثلاثي الأبعاد النهائي(22)



الشكل(3-23): العمليات المتاحة ضمن البرمجية والتي تمكننا من إنشاء النموذج [21]

- الحصول على إكساء مناسب عالي الدقة من خلال الصور الملتقطة للجسم وتتم هذه العملية بشكل يدوي أو آلي حسب خيارات البرمجية المستخدمة، وضمن هذه التجربة تتم عملية الإكساء بشكل آلي يؤمن ربط الصور مع النموذج بعد تحديد الوجه الذي نريد إكساءه، واختيار الصور اللازمة، والشكل (3-24) يوضح اكساء النموذج النهائي، والفقرة التالية توضح مفهوم عملية الإكساء التي تتم من خلال برمجيات النمذجة.
- التأكد من مطابقة القياسات الناتجة مع الواقع: حيث يتم التأكد من دقة العمل وضمن هذا العمل التوثيقي لنافورة دير سانت جابن تم التوصل لدقة 1 ملم لكل 1 متر [22].

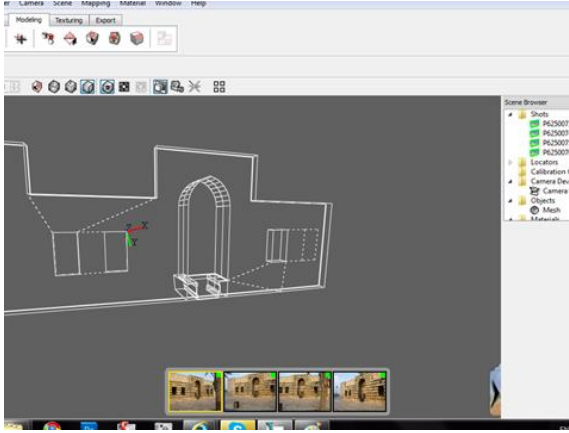


الشكل (3-24): يوضح اكساء النموذج النهائي [22]

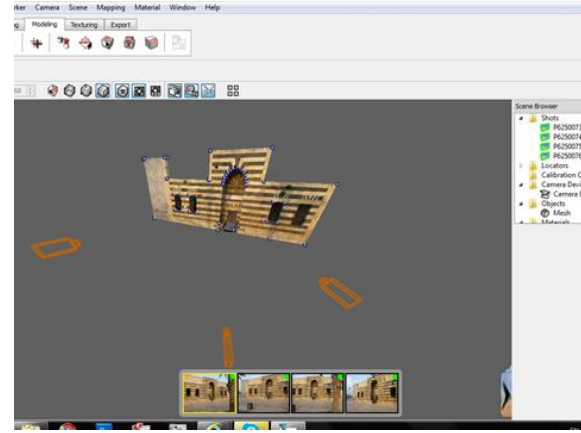
وكمثال آخر تم إنشاء نموذج كتلي للواجهات الخارجية لحمام يلبغا ضمن مدينة حلب باعتماد الخطوات السابقة وكانت حدود الدقة الناتجة هي 1,2 اسم والشكل التالي (3-25) يوضح الصور الملتقطة والنموذج الناتج.



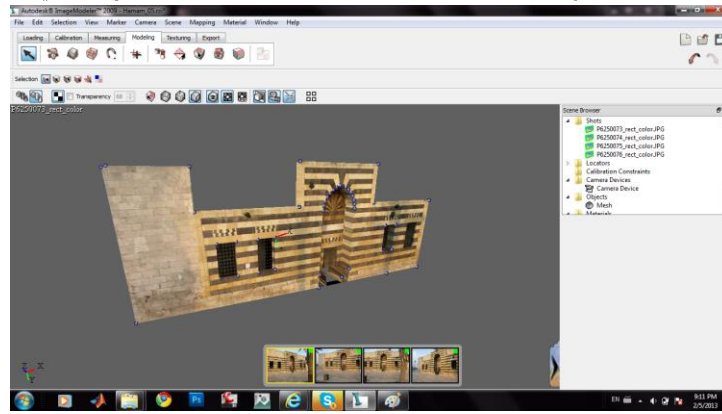
الصور الملتقطة للواجهات الخارجية



النموذج الكتلي الناتج

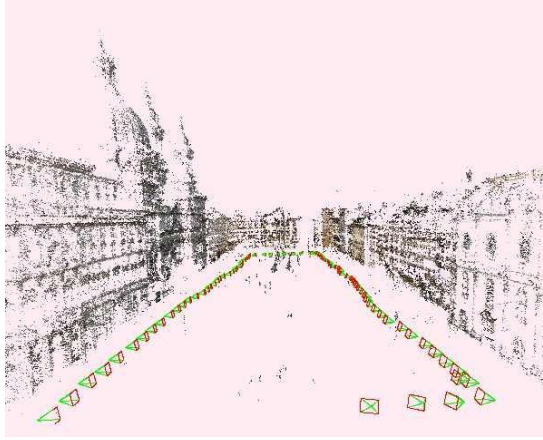


معايرة الكاميرا وظهور مواقع التصوير



النموذج الثلاثي الأبعاد المكسي الناتج

الشكل (3-25) خطوات تشكيل النموذج الثلاثي الأبعاد للواجهات الخارجية لحمام يلبغا - حلب (عداد الباحثة) أما بالنسبة لإمكانية الحصول على غيمة نقطية تحاكي الغيمة النقطية التي يمكن الحصول عليها من الماسح الليزري، فقد تم تصميم برمجية تحوي عدداً ضخماً من النماذج الأولية المحددة الوسائط والتي تتلاءم مع جميع أنواع آلات التصوير لتوليد غيوم نقطية يمكن استخدامها في عديد من المجالات مثل المجالات المعمارية والأثرية والجيولوجية... الخ، باعتماد في البداية على الخطوات الاعتيادية [24] بدءاً من إيجاد نقاط الربط المشتركة بين الصور ثم حساب التوجيه النسبي و المطلق من خلال هذه النقط ثم القيام بعملية ربط بين هذه الصور بواسطة برمجية المختارة مثل برمجية (MicMac) كما هو موضح بالشكل (3-26) أو برمجية (photo modeler scanner) [24].



الشكل (3-26): موقع مواقع التصوير بالنسبة لموقع (piazzanavona) والغيمة النقطية الناتجة عن معالجة الصور باستعمال برمجية (MicMac) [24]

ولإنشاء غيمة نقطية تحيط بالجسم المراد توثيقه حسب برمجية (photo modeler) يجب اتباع الخطوات التالية [24]:

- للحصول على أفضل النتائج لتشكيل نموذج ثلاثي الأبعاد دقيق لا بد من التقاط أزواج من الصور متداخلة ومتوازية (نسبة التداخل تزيد عن 30%) دون تغيير في ارتفاع الكاميرا أو زاوية التصوير.
- يتم إدخال الصور إلى البرمجية وتحديد النقاط المشتركة بين الصور والقيام بعملية المعايرة لتحقيق أفضل النتائج بحيث تكون رواسب المعايرة أقل من 2 بيكسل.
- القيام بعملية تحسين للنموذج ذلك من خلال حذف تشوه العدسة ضمن الصور ويتم ذلك عن طريق أخذ نتائج معاير الكاميرا (وسائط الكاميرا الداخلية) وإعادة تصحيح أو تعديل كل بيكسل ضمن الصورة لإزالة تشوه العدسة.
- اختيار منطقة محددة من الصورة لتشكيل غيمة نقطية وذلك إما من خيار (DsmTrim) أو من خلال تحديد كامل حدود الصور أو من خلال تحديد المنطقة من خيارات (Surface Tool)
- يتم تفعيل خيار تشكيل الغيمة النقطية حيث يقوم بالبرنامج بالالتقاط كل زوج من الصور والقيام بعملية معالجة لنسب التداخل بين أزواج الصور.
- تتم عملية إنشاء غيمة نقطية بشكل آلي من قبل البرنامج باستخدام خوارزمية (N.NPATCH) والتي تقوم بعمل مطابقة لونية بين أزواج الصور لتشكيل الغيمة المطلوبة ضمن المجال المحدد من قبل المستخدم.

2. الإكساء:

بشكل عام يتم إكساء النموذج النهائي بواسطة عملية تسمى (texture mapping) ، وذلك لإعطاء رؤية واقعية للنموذج الثلاثي الأبعاد من خلال ملاءمة الصور الملونة أو الصور بتدرجات اللون الفضي على وجوه النموذج الثلاثي الأبعاد [23].

وبمعرفة الوسائط الداخلية والخارجية وإحداثيات الصور لكل جزء مثلثي من سطح النموذج ، تتم ملاءمة كل جزء مثلثي من الصورة على نفس الجزء المثلثي المقابل من النموذج الثلاثي الأبعاد ، بعد أن يتم تحديد عدد الصور التي تحوي الجزء المثلثي نفسها من النموذج بدقة ، لتتم عملية الملائمة بشكل آلي وصحيح.

وتتم عملية الملاءمة وفق ثلاث خطوات :

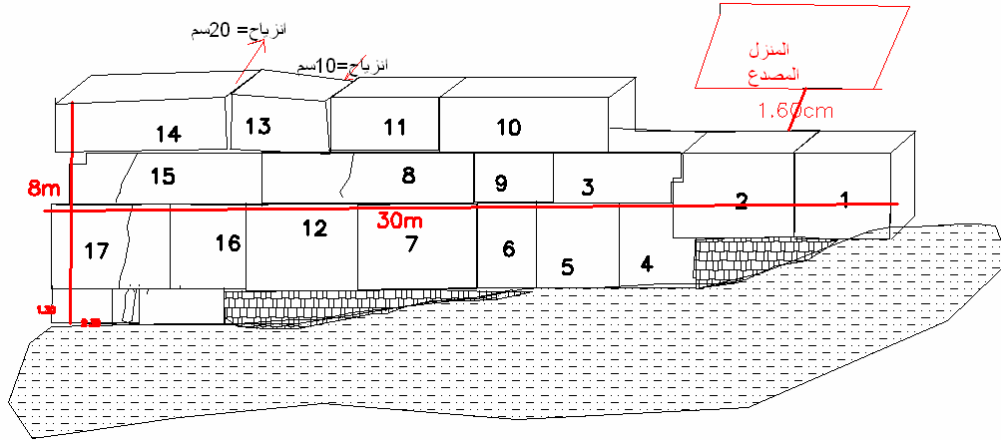
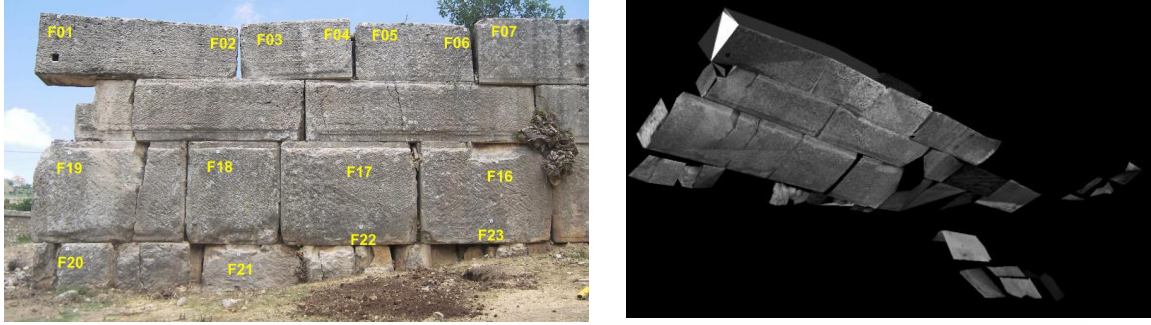
1. معالجة لتدرجات اللون الموجودة ضمن الصور وذلك لتحاكي ألوان البيئة الأصلية وذلك من خلال عملية فلترية لقنوات اللون المشكلة لكل صورة بشكل منفصل.
2. اختيار الصور ذات التكوين الهندسي الأمثل : حيث يتم اختيار الصور التي يظهر فيها الجزء الذي نرغب بإكسائه بمساحة أكبر لأنه يحوي معلومات إكساء أكبر وأدق وتتم هذه العملية بشكل آلي ضمن البرنامج المستخدم حتى يحصل إطباق نهائي للصور على كافة أجزاء النموذج الثلاثي الأبعاد المشكل.
3. يتم حساب قيم متوسطة الموزونة لقنوات اللون لجميع الصور التي تحوي أجزاء من الوجه نفسه الذي نقوم بعملية إكسائه ، وذلك لتقليص الاختلافات اللونية بين المثلثات المتجاورة و المشكلة لسطح النموذج و المأخوذة من صور مختلفة.

• المعالجة والتصدير:

بعد الحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد وبمقياس صحيح و بإكساء دقيق يتم خلال هذه المرحلة معالجة المشاكل المتعلقة بعملية الإكساء أي الأخطاء الموجودة ضمن الصور مثل وجود أشخاص - أشجار - عناصر الموقع، كما يتم إضافة بيئة مناسبة للنموذج ليتم إخراجها بشكل مناسب ضمن برامج الرفع الثلاثي الأبعاد مثل MAYA أو 3DMAX لوضع هذا النموذج ضمن:

- مواقع الزيارات الافتراضية على شبكة الإنترنت مثلاً.
- أو تصدير هذا النموذج إلى برامج التصميم بمساعدة الحاسب للحصول على نسخة رقمية .حيث يمكن استخراج مخططات معمارية أو إنشائية ثنائية البعد لجميع عناصر النموذج كما تم ضمن تجربة توثيق جدار أثري ضمن قلعة الحصن - صافيتا [5] الشكل (3-27) حيث

تمت عملية النمذجة الثلاثية الأبعاد لكامل الجدار 30 * 8,5م و الحصول على الصور باستخدام كاميرا رقمية نوع Kodak 8MP. و زرع نقاط ضبط وفق شبكة 2*2سم على طول الجدار وتمت عملية المعايرة والنمذجة بواسطة برمجية (photo modeler) والشكل التالي يوضح النموذج الثلاثي الأبعاد النهائي والمخطط الثنائي البعد الرقمي الذي يحوي كافة المعلومات الإنشائية التي تفيدنا في عملية الترميم (الإنزيحات- التشققات -التهدمات....الخ) الذي تم الحصول عليه بعد التصدير إلى برنامج (autocad) .

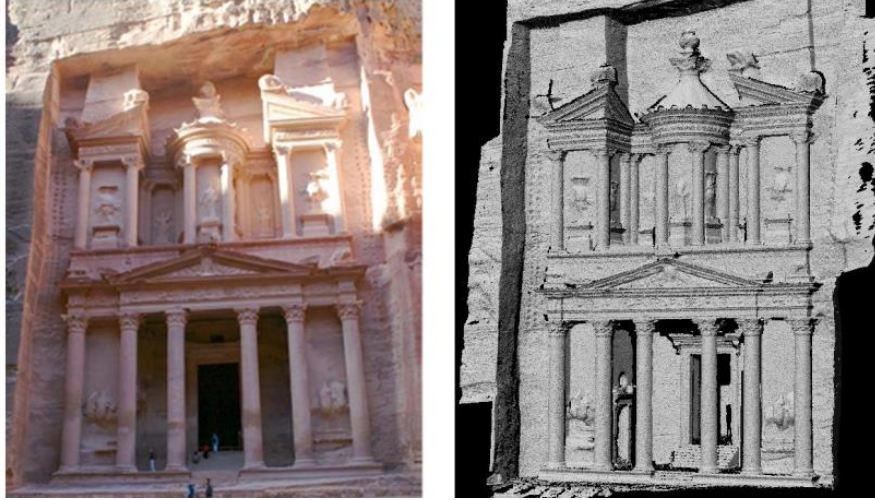


الشكل(3-27):صورة النموذج الأصلي والنموذج الثلاثي الأبعاد والمخطط الثنائي البعد التفصيلي الناتج عن

الحصول على صور اورثوفوتو مصدرة إلى برنامج (autocad) [5]

3.2. التوثيق المعماري باستخدام المسح الليزري:

لعبت تقنيات المسح الليزري دوراً أساسياً في عملية التوثيق المعماري والأثري ، حيث تعتبر من أهم التقنيات التي تستعمل في الحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد سواء من الأرض أو الجو، بسبب تمكنها من القياس السريع لعدد ضخم من النقاط الثلاثية الأبعاد الواقعة على سطوح العناصر المراد توثيقها أو نمذجتها على اختلاف حجم هذه العناصر ودرجة التفاصيل الموجودة فيها وموقعها (سواء كانت تمثال أو منحوتة أثرية أو موقعاً أثرياً كاملاً) ، وقد تم تطوير أجهزة المسح الليزري من أجل الحصول على المعلومات والبيانات الثلاثية الأبعاد المطلوبة ذات الدقات المتفاوتة التي تبدأ من رتبة المليمترات وبشكل سريع، كما هو موضح بالشكل (3-28)، بالإضافة إلى تطوير البرمجيات اللازمة لمعالجة هذه البيانات والمعلومات على اختلاف حجمها وتنوعها. ولهذا سوف نستعرض لمحة عامة عن الماسح الليزري من حيث أنواعه ومبدأ عمله واستخداماته في مجال توثيق التراث المعماري والأثري.



الشكل(3-28): غيمة نقطية تمثل واجهة في البتراء - الأردن ناتجة عن مسح الماسح

الليزري من 5 نقاط مختلفة[21]

3.2.1. تعريف الماسح الليزري:

يعتبر الماسح الليزري من أهم الأجهزة المستخدمة للحصول على نماذج ثلاثية الأبعاد سواءً من الأرض أو الجو، حيث يسمح بالحصول على القياسات الثلاثية الأبعاد مباشرة و بشكل سريع وذلك لمختلف الأجسام ضمن مختلف المواقع والبيئات وبدقات متفاوتة. ويعرف الماسح الضوئي[25]: بأنه الجهاز الذي يجمع نقاط ذات إحداثيات ثلاثية الأبعاد لأي منطقة محددة من سطح الجسم بشكل آلي وبنمط منظم وبمعدل عال من رتبة (مئات وآلاف النقاط كل

ثانية) وبنائج كاملة في وقت قصير، وهذه العملية يمكن أن تؤخذ من خلال تثبيت الجهاز على جسم متحرك مثل طائرة في حالة الرصد الجوي أو رصيف صناعي متحرك بالنسبة للرصد الأرضي أو تثبيت الماسح ضمن عدد من نقاط الرصد التي تؤمن تغطية الكاملة للجسم الممسوح كما هو موضح بالشكل (3-29).



الشكل (3-29): طرق تثبيت الماسح الليزري أثناء العمل في الموقع الأثري [25]

كما يعتبر المسح الليزري جهاز رصد آلي يعمل بدون عاكس يستخدم الأشعة الليزرية للحصول على القياسات الثلاثية الأبعاد ضمن حركة زاوية دقيقة ليشكل الجسم الممسوح كغيمة نقطية ثلاثية الأبعاد [26] وبشكل عام تعطي الغيمة النقطية عدداً كبيراً من النقاط نسبة إلى عدد اللازم لإتمام العملية بدلاً من نقاط متباعدة بشكل كبير كما في تقنيات المسح الطبوغرافي.

يتألف الماسح الليزري من الأجزاء التالية :

- قسم خاص بإصدار الأشعة الليزرية واستقبال الأشعة المنعكسة عن الجسم
- مرآة سريعة الدوران
- محركات الدوران الأفقي والشاقولي
- ثلاثية الأرجل للتمركز في نقطة محددة

وقد تم تصنيف أنواع الماسحات الليزرية حسب حجم العنصر المعماري أو الأثري المراد توثيقه والدقة المطلوبة ونطاق التشغيل المتاح كما في الجدول (4-1).

الجدول (3-1): نوع الماسح الليزري ونظام مسحه تبعاً للدقة ونطاق التشغيل [25]- [10] (إعداد الباحثة)

نطاق التشغيل	الدقة	مبدأ العمل	نظام المسح	الماسح الليزري
0,1 إلى 1م	50 ميكرون	تقوم الماسحات الليزرية التي تعتمد على مبدأ التثليث بإصدار أشعة الليزر التي تشكل بقعة أو نقطة على الجسم الممسوح، وتقوم الكاميرا الملحقة بالماسح بتحديد مكان البقعة	منصة الدوران rotation stage: تقوم بمسح الأجسام الصغيرة (التمثيل الصغيرة - قطع الموزاييك) التي تم أخذها من الموقع من خلال وضعها على	الماسحات الليزرية القائمة على التثليث (triangulation scanners)

		اعتمادا على البعد بين مصدر الأشعة والجسم. تسمى هذه الطريقة بالتثليث لأن نقطة أو بقعة الليزر ومصدر شعاع الليزر والكاميرا تشكل مثلث معرف الزوايا الذي نحصل من خلاله على القياسات المطلوبة	منصة الدوران وتثبيت الماسح لإنتاج بيانات تعطي نسخة طبق الأصل عن الجسم	
أقل من 0.5م	50 ميكرون		الذراع المتحركة arm mount : نقوم بمسح الأجسام التي لا يمكن نقلها من الموقع (التمثيل الثابتة - عناصر تزيينه ضمن الموقع) في هذه الحالة يتحرك الماسح ضمن مسار محدد والجسم يبقى ثابتا.	
0,1 إلى 25م	أجزاء من ملم		المرآة أو العاكس mirror/prism مسح سطوح صغيرة أو أجسام صغيرة ضمن موقعها	
من 2م إلى 100م	3-6ملم وصولا إلى اسم	هذا النظام يقوم على حساب الوقت الازم لرحلة نبض الليزر ونستفيد من هذا الوقت في حساب البعد بين الجسم والماسح وهذا النظام مناسب لتقنيات الترميم المعماري حيث يقوم بتوليد الألف النقط خلال دقيقة عن طريق انحراف أشعة الليزر عن الجسم الممسوح باستخدام مرآة أو عاكس	مناسب لمسح الواجهات الداخلية والخارجية ونستطيع من خلاله مسح 360 درجة أفقياً و180 عمودياً	الماسحات الليزرية القائمة على تحديد المسافة (terrestrial time of flight laserscanners)
من 2م إلى 100م عمودياً.	5ملم	يقوم على اختلاف زمن الإشارة بين نبض الليزر الصادر والوارد عن الجسم. ويكون عدد النقاط الملتقطة من رتبة المليون مما يقودنا إلى صعوبة في معالجة البيانات الناتجة بالنسبة للحاسب	مناسب لمسح الواجهات الداخلية والخارجية ونستطيع من خلاله مسح 360 درجة أفقياً و180 درجة شاقولياً	الماسحات الليزرية القائمة على مقارنة الطور: (comparison terrestrial phase laser scanners)
10م إلى 3500م	0.15م	ومبدأ العمل مشابه للمبدأين السابقين إلا أننا نضيف حساساً كملحق للماسح الليزري وذلك لحساب موقع وإحداثيات الطائرة أثناء عملية جمع المعلومات بالإضافة إلى استعمال تقنيات GPS	وتستخدم لاعطاء تشكيل أو نموذج لسطح الأرض. ونستفيد من هذا النوع من الماسحات في المسح الجوي للمواقع الأثرية وتكون النتيجة غيمة نقطية ثلاثية الأبعاد تماثل طبوغرافية الأرض نستطيع من خلالها الحصول على مخططات ثنائية البعد للموقع العام ذات أبعاد ومقياس صحيح	الماسح الليزري الجوي: (Airborne laser scanning)

3.2.2. المجالات الملائمة لاستخدام المساح الليزري:

• في المجال المعماري [6]:

الحاجة إلى نسخة رقمية عالية الدقة (من رتبة المليمترات) للجسم الممسوح باختلاف حجمه ودرجة تفاصيله لاستعمالها في:

- مجال التوثيق المعماري والأثري وأعمال الترميم الدقيق، كما هو موضح بالشكل (3-30).

- الحصول على مسح شامل للمواقع العامة للمباني أو المواقع الأثرية لتوظيفه في الدراسة التخطيطية، كما هو موضح بالشكل (3-31).

- الحصول على تحليل مكاني لا يمكن الحصول عليه من دون وجود كثافة عالية من الإحداثيات الثلاثية الأبعاد المرصودة مثال عن ذلك: الحصول على دراسة إنشائية لواجهة معمارية من خلال نموذج ثلاثي الأبعاد.

- تحويل النسخة الرقمية إلى نماذج رقمية ثلاثية الأبعاد تستخدم في مجال الجرافيك والزيارات الافتراضية ضمن مواقع الشبكة العالمية.

- استخدام نتائج المسح كمدخل من أجل نظم المعلومات الجغرافية التجارية من أجل معالجة لاحقة.

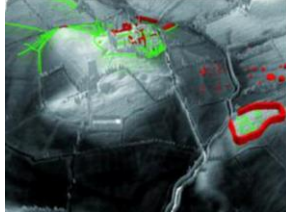
• في المجال الأثري [27]:

وتتلخص في الإمكانيات التالية:

• معرفة خواص الجسم المدروس مثل معدل الكثافة - طبقات المكون منها. مما يفيد بشكل كبير في الدراسات الأثرية، كما هو موضح بالشكل (3-32).

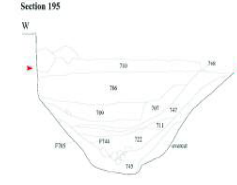
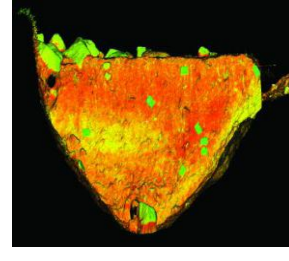
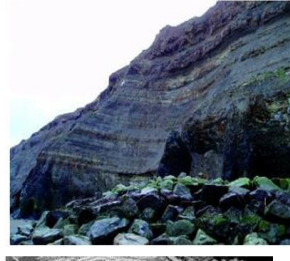
• مراقبة التغيرات الإنشائية والتصميمية التي تطرأ على الجسم بمرور الوقت بفعل عوامل مثل الجو والرطوبة.... الخ، كما هو موضح بالشكل (3-33).

• العمل ضمن مقاييس مختلفة على اكتشاف ميزات أثرية هامة غير ملحوظة سابقاً بحيث تكون هذه التقنية أداة تفيد بإعطاء ملاحظات على المنحوتات الفنية الصغيرة (مقاييس صغيرة) وكذلك تسمح بمعرفة تضاريس سطح الأرض لمنطقة مغطاة بالأشجار (مقاييس كبيرة)، كما هو موضح بالشكل (3-34).



الشكل (3-31): استخدام الماسح الليزري في مسح المواقع الاثرية جوا مقاطعة لينكوشير في انجلترا [27]

الشكل (3-30): استخدام الماسح الليزري في ايجاد تمثال شبيه لتمثال الإمبراطور كالجوليا [27]



الشكل (3-34): استخدام الماسح الليزري في مسح المواقع الاثرية جوا (مسح لتضاريس غابة دين في ويلشيري، انجلترا) [27]

الشكل (3-33): استخدام الماسح الليزري في مسح المواقع التي تتغير بفعل عوامل الجو (تقييم تهديد الكساد الساحلي في دير ويتبي، انجلترا) [27]

الشكل (3-32): من خلال الماسح تم الحصول على الشكل السابق مع معلومات حول معدل كثافة المواد للحفرية المكتشفة [27]

3.2.3. خطوات التوثيق المعماري باستخدام الماسح الليزري:

يتضمن التوثيق المعماري باستخدام الماسح الليزري عدد من الخطوات المحددة، وتختلف مبادئ العمل ضمن هذه الخطوات من مشروع توثيقي إلى آخر حسب نوع الماسح الليزري المستخدم وموقع العمل وإشكالياته بالإضافة إلى البرمجيات المستخدمة في معالجة النتائج

3.2.4. خطوات العمل باستخدام الماسح الليزري:

يبين الشكل (3-35) خطوات العمل بشكل عام وسوف يتم استعراض هذه الخطوات بالتفصيل حسب آلية العمل ضمن مشروع توثيق خان الشونة في مدينة حلب [7].



الشكل (3-35): مراحل العمل باستخدام تقنيات المسح الليزري

• المرحلة التحضيرية

في مرحلة التحضير للعمل يتم التعرف على جهاز الماسح الليزري المراد استخدامه في عملية المسح من حيث النوع وكيفية العمل، ويتم أيضاً في هذه المرحلة التحقق من وسائط الكاميرا الخاصة بإلغاء تشوه العدسات، وإجراء الحساب لمصفوفة تحويل إحداثيات قاعدة الكاميرا والتحقق من صحة هذه المصفوفة، وذلك لنقل الألوان من الصور إلى المشاهد بصورة صحيحة وسليمة، كما يتم ضمن هذه المرحلة التعرف على الموقع ومساحته والارتفاع العام، بالإضافة إلى وضع تصور أولي عن مكان نقاط الرصد والنقاط القاعدية.

ضمن مشروع توثيق خان الشونة تم استخدام الأجهزة التالية [7]:

• الماسح الليزري نوع RIEGL LMS- Z 420i

• الكاميرا ذات النوع NIKON D100

• محطة رصد Topcon GTS 6011

• العمل ضمن الموقع:

في جميع الحالات التي تتطلب عملية مسح يجب تأمين تغطية كاملة للجسم من ناحية البنية والموقع وأحياناً يتطلب الأمر وجود أكثر من ماسح ضمن الموقع، أو أن يتم المسح عن طريق نقل الجهاز إلى عدد من نقاط الرصد، وهذا الأمر يتطلب ربط إحداثيات ومواقع هذه المواسح أو النقاط بجملة من الإحداثيات عالمية أو محلية عن طريق تشكيل شبكة تثليث أرضية بالطرائق الحقلية العادية، وتعتبر هذه العملية ضرورية لحساب إحداثيات النقاط القاعدية، حيث أنه بالاعتماد على نقاط الربط القاعدية سيتم ربط النماذج المشكلة من الماسح الليزري مع بعضها البعض. وتتلق دقة ربط تلك النماذج بدقة النقاط القاعدية، والتي بدورها تعتمد على نقاط شبكة المثلاث، وبالتالي فإنه من المهم تحديد نقاط شبكة المثلاث بدقة عالية، وإن الدقة المطلوبة في نقاط شبكة

التثليث لأعمال التوثيق هي (1 cm) من الناحية المستوية و (1 cm) من الناحية الارتفاعية، هذا ويتم العمل أثناء ربط النماذج على جملة إحداثيات محلية، وذلك للأسباب التالية[7]:

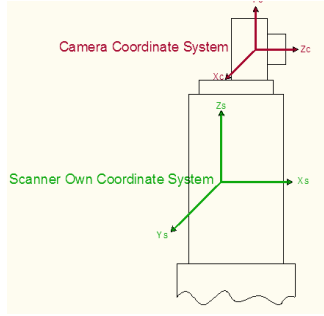
- اختزال إحداثيات النقاط الممسوحة مما يوفر الوقت وحجم التخزين وخصوصاً أن عدد النقاط يصل إلى مئات الآلاف في المسح الجزئي الواحد.
- يمكن الاستفادة من شبكة التثليث في حساب إحداثيات النقاط القاعدية التي سوف تفيد في توجيه النماذج الممسوحة.
- يتم ضمن هذه المرحلة عمل مسح شامل للموقع بواسطة المساح الليزري الذي تم اختياره ، وذلك وفق الدراسة التحضيرية لمكان نقاط الرصد والنقاط القاعدية وبعد إنشاء شبكة الربط.

• الأعمال المكتبية:

تتلخص بالخطوات التالية[7]:

حساب مصفوفة التحويل بين الكاميرا والمساح

تستخدم مصفوفة التحويل لنقل الألوان من الصور إلى المشاهد بشكل صحيح ودقيق. لهذا يتم حساب عوامل التحويل بين جملة إحداثيات الكاميرا المثبتة على الحامل الموجود فوق المساح (Camera Coordinate System) وجملة إحداثيات المساح الليزري (Scanner Own Coordinate System)، هذا و تدعى هذه العملية بمعايرة مصفوفة تحويل إحداثيات حامل الكاميرا (Mounting calibration) الشكل (36-3) [7].



الشكل (36-3)

إحداثيات الكاميرا بالنسبة للمساح[7]

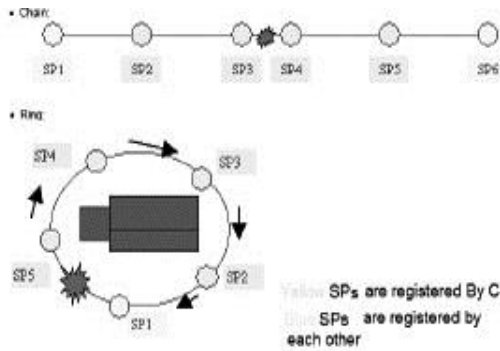
ربط النتائج Registration

عند القياس باستخدام المساح الليزري نحتاج عادةً إلى أخذ أكثر من غيمة نقطية حفاظاً على تجانس توزع النقاط على كامل النموذج، وهنا تبرز ضرورة ربط الغيوم معاً، أي توجيه هذه الغيوم بالنسبة لبعضها البعض، و بإمكاننا إتباع إحدى الطريقتين التاليتين لتوجيهها:

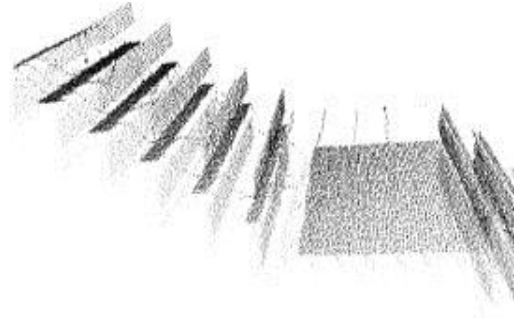
- ربط الغيوم اعتماداً على مجموعة من النقاط القاعدية الظاهرة على النماذج الممسوحة والمقاسة باستخدام المحطة المتكاملة ، بحيث يتم توجيه النماذج جميعها بالنسبة للجملة المحلية، وكنتيجة سيتم تحديد التوجيه بين هذه النماذج مع بعضها البعض.

- ربط الغيوم الممسوحة بالاعتماد على المناطق المشتركة فيما بينها، في هذه الطريقة نقوم باختيار عدد من النقاط الواضحة بكلا النموذجين الممسوحين ومن ثم حساب التحويل بين جمل الإحداثيات بين هذه النماذج .

عند ربط أكثر من نموذجين فإن الخطأ في ربط النماذج السابقة سينتقل إلى ربط جميع النماذج اللاحقة ، كما في الشكل(3-37) وذلك عند استخدام الطريقة الثانية، مما قد يؤدي إلى أخطاء كبيرة وواضحة في عملية الربط وخصوصاً عند الربط بشكل حلقة كما في الشكل(3-38)، لذلك في المشاريع التي تحتوي على عدد كبير من النماذج من المفضل استخدام طريقة النقاط القاعدية في الربط ، لأن أي خطأ في عملية الربط لا يؤثر بشكل مباشر في عملية الربط[7].



الشكل(3-38):انتشار الأخطاء مع الانتقال في الربط[7]



الشكل(3-37):أثر الخطأ في عملية الربط على المسافات البعيدة[7]

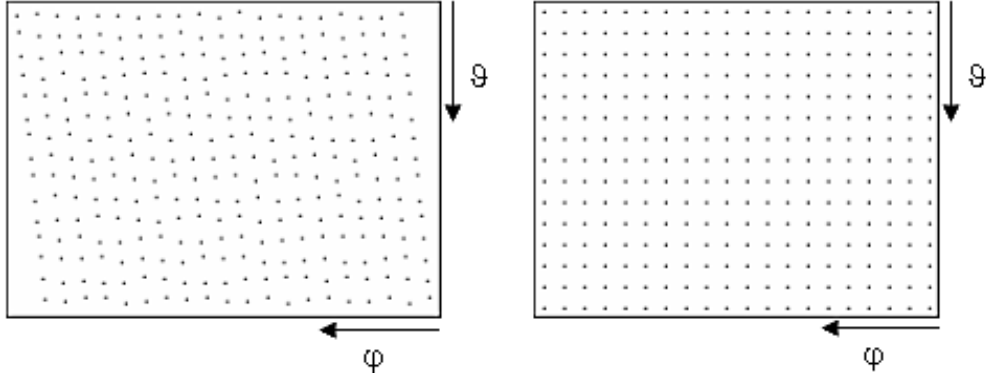
معالجة النتائج:

يصبح بالإمكان بعد الانتهاء من عملية الربط إجراء عملية المعالجة اللاحقة للنتائج ، بحيث يمكن بعد إجراء هذه المعالجة تصدير هذه المعطيات إلى برامج أخرى لاستثمارها، تتضمن هذه المعالجة الخطوات التالية [7] :

- إعادة تشكيل الغيوم النقطية الناتجة
 - تلوين الغيوم النقطية والإظهار النهائي للنقاط
 - دمج الغيوم النقطية الناتجة
 - تثليث الغيوم النقطية.
- وفيما يلي تفصيل لكل منها :

إعادة تشكيل الغيوم النقطية الناتجة Resample:

ضمن هذه المرحلة نقوم بإعادة تشكيل الغيوم للحصول على شبكة منتظمة من النقاط في النموذج الممسوح، حيث أن نتيجة المسح تكون على شكل خطوط حلزونية كما هو في الشكل (3-39)، وذلك بسبب دوران الماسح الليزري أثناء عملية القياس، تتم الاستفادة من عملية إعادة تشكيل النماذج بشكل أساسي عند المسح المتتالي، حيث تقاس نفس النقطة أكثر من مرة، مما يؤدي إلى التخفيف من الضجيج الناتج عن المسح، مما ينعكس إيجاباً على دقة النقاط، كما أنه بهذه الطريقة يمكن إلغاء القياسات التي من الممكن ظهورها نتيجة لحركة الأجسام أمام الماسح أثناء القياس، حيث يتم أثناء المعالجة حذف الأجسام القريبة واعتبار النقاط الأبعد هي النقاط التي تعبر عن الجسم المقاس، كما أنه ممن الممكن الاستفادة من إعادة تشكيل النماذج عند المسح الوحيد بالتخفيف من الضجيج عند عمل شبكة بأبعاد تقسيم أكبر من الدقة المطلوبة [7].



الشكل (3-39): إعادة تشكيل النماذج [7]

تلوين الغيوم النقطية والإظهار النهائي للنقاط.

ويتم ذلك عن طريق استخدام برمجيات متخصصة في تلوين نواتج المسح الليزري ويتم ضمن هذه المرحلة استخدام مصفوفة تحويل بين الكاميرا والماسح ويمكن أن تظهر أخطاء في عملية التلوين ناتجة عن أخطاء في المصفوفة أو اختلاف زوايا النظر (إضاءة داخلية تؤدي إلى انعكاس الضوء على بعض المناطق من الجسم مما يؤدي إلى إعطاء ألوان مغايرة للواقع) كما هو موضح في الشكل (3-40) [7].



الشكل (3-40): النموذج بعد تلوين النقاط. [7]

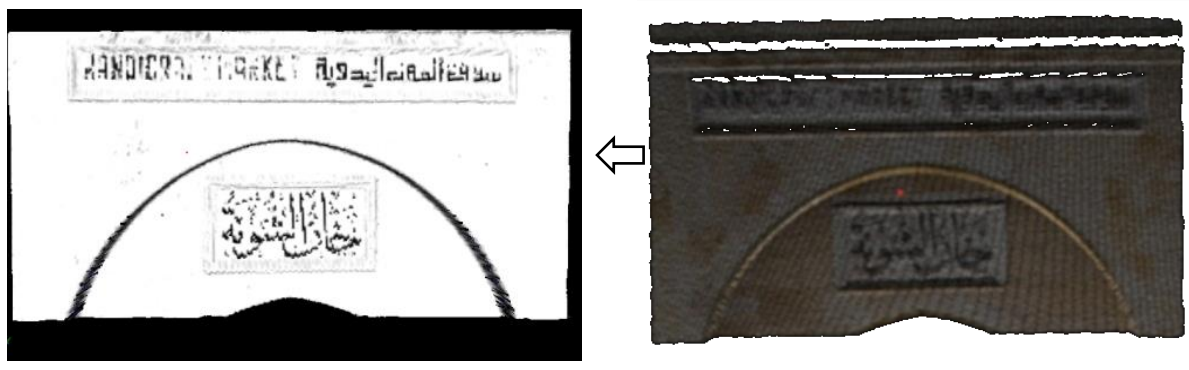
دمج الغيوم النقطية الناتجة وتثليثها:

بعد حساب مصفوفات التوجيه ، يمكن دمج النماذج معاً في نموذج واحد والشكل (3-41) يوضح النموذج النهائي ، ولتشكيل نموذج رقمي يتم تثليث الغيمة النقطية الناتجة عن الدمج عن طريق عمل شبكة مثلثات من الغيمة النقطية الناتجة (شبكة تثليث غير المنتظمة TIN) باستخدام البرمجية المناسبة والتي تقوم على عمل شبكة مثلثات بين النقاط، أما الشكل (3-42) يوضح الغيمة النقطية قبل وبعد تحويلها إلى شبكة مثلثات [7] .

وأيضاً نحتاج إلى عدد من العمليات بعد توليد شبكة وذلك لملء الفراغات الناتجة عن معلومات ناقصة. ونستطيع الحصول من خلال هذا الناتج على مخططات ثنائية البعد ومقاطع وبروفيلات وهذا الأمر يتطلب خبرة ومهارة عالية لأنها ليست عملية آلية بل تتطلب تدخل الدارس للحصول على المخططات اللازمة.



الشكل (3-41): النموذج النهائي لخان الشونة [7]

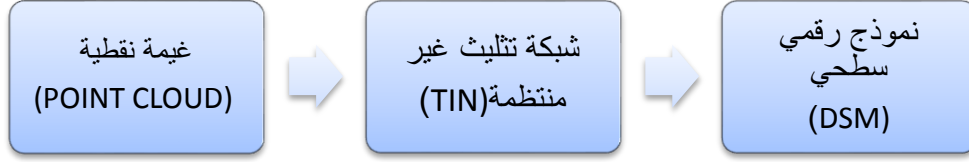


الشكل(3-42): من غيمة نقطية إلى شبكة تثلث [7]

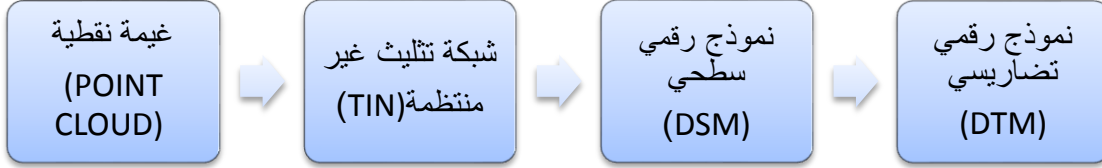
أما في حالة المسح الجوي وسواءً كان المسح متحركاً أو ثابتاً يجب أن تتم معايرة الكاميرا بشكل صحيح وذلك لضمان دقة النقاط التي تم مسحها، والخطوة الأولى تتضمن تصنيف نقاط الغيمة الناتجة عن عملية المسح باستعمال الخوارزميات النصف آلية، ويتم تصنيف النقاط بناءً على طبيعة مواد البناء وشدة انعكاس الشعاع الليزري وطبيعة ارتداده، بعد ذلك يتم تحويل شبكة المثلثات الغير منتظمة الناتجة عن الغيمة النقطية (TIN) إلى شبكة مربعات (Interpolated Grid) للحصول على نموذج رقمي سطحي (DSM) بحيث يمثل كل عنصر ضمن الشبكة بارتفاع في تضاريس الأرض كما هو مبين في الشكل (3-43) ويعتبر استعمال تقنية (GIS) مع هذه الشبكة أمراً أساسياً [29] ثم بعد ذلك يتم تحويل النموذج إلى نموذج رقمي لتضاريس الأرض (DTM) والشكل(3-44) و (3-45) يوضحان خطوات الحصول على النموذج النهائي السطحي أو التضاريسي.



الشكل(3-43):من نموذج سطحي رقمي (DSM) إلى نموذج تضاريسي رقمي (DTM) [29]



الشكل (3-44): خطوات الحصول على نموذج رقمي (أعداد الباحثة)



الشكل (3-45): خطوات الحصول على نموذج تضاريسي (اعداد الباحثة)

الإكساء (Texture)

وبعد ذلك يتم تلوين التثلث أو ما يسمى Texture (إكساء بواسطة الصور) يجب أن تكون الصور خالية من تشوه العدسات، ونلاحظ أنه بنتيجة الإكساء تبدو النماذج أفضل من الناحية الجمالية، كما أنها تبدو مشابهة للواقع بشكل أكبر كما هو موضح بالشكل (3-46)، ومن المفترض أن يكون المنتج النهائي للنموذج على هذا الشكل، إلا أن وجود أخطاء في عملية إنشاء المثلثات قد يجعل بعض أجزاء المشهد تبدو باللون الأسود [7].



الشكل (3-46): واجهة خان الشونة بعد عمل اكساء (Texture) (7)

لا بد عند الانتهاء من تنفيذ هذه الخطوات من التأكد من دقة النموذج الذي تم الحصول عليه وذلك من خلال استعمال القياسات المساحية التي تم الحصول عليها ضمن الموقع وفي هذه التجربة تم الحصول على دقة للنموذج النهائي تساوي إلى 2.7 سم

4. الفصل الرابع: اعتبارات استخدام تقنيات المساحة التصويرية والمسح الليزري في العمل التوثيقي:

وسوف يتم استعراض هذه الاعتبارات والمقارنة بينها وفق ما يلي:

• الأجهزة المستخدمة:

وسوف يتم التعرض لأسس اختيار آلات التصوير والمساحات الليزرية من حيث: النوع والكلفة والبرمجيات الضرورية لتفعيل هذه الأجهزة بشكل صحيح.

• الدقة :

وسوف يتم المقارنة بين كل من الدقة التي من الممكن التوصل إليها في حال استخدام أحد التقنيتين و العوامل التي تؤثر على زيادة الدقة في كل من الحالتين.

• الكلفة:

تتم المقارنة بين كلفة كل من الأجهزة والبرمجيات المستخدمة في كل من التقنيتين.

• السرعة:

سوف تتم مقارنة بين التقنيتين على أساس الوقت اللازم لإنجاز العمل التوثيقي (العمل الحقلي والمكتبي) ضمن حدود المساحة الواحدة .

• مؤهلات كادر العمل :

و في هذه الحالة تتم المقارنة على أساس مؤهلات كادر العمل المطلوبة للعمل ضمن هذه التقنيات والتي تمكنه من إنجاز العمل بشكل علمي و صحيح.

• طبيعة الموقع:

وضمن هذا البند يتم التعرض للإشكاليات والصعوبات التي يمكن أن يفرضها موقع العمل عند استخدام إحدى هذه التقنيتين.

لهذا سوف يتضمن هذا الباب فصلين الأول نشرح فيه عناصر او مفردات المقارنة ثم نورد في الفصل الأخير تجربة عملية للتوصل إلى نتائج المقارنة النهائية.

4.1. اعتبارات استخدام تقنيات المساحة التصويرية في العمل التوثيقي :

4.1.1. نوع آلة التصوير أو الكاميرا المستخدمة:

تعتبر آلات التصوير الرقمية الأداة الرئيسية في عملية التوثيق باستخدام المساحة التصويرية حيث تصنف آلات التصوير إلى آلات تصوير مترية و غير مترية، لكل منها مجموعة من السلبيات والإيجابيات يجب مراعاتها عند اختيار آلة التصوير [32].

الكاميرات المترية : هي الكاميرات محددة الوسائط الداخلية (البعد المحرقى- تشوه العدسة -أبعاد الحساس- مركز العدسة) بشكل دقيق من قبل الشركة الصانعة. و كانت الكاميرات المترية القديمة تحوي على شبكة نقاط مراقبة داخل الكاميرا لإرجاع الفيلم أو الصورة المطبوعة إلى وضعها الأصلي أثناء التصوير. و بعد انتشار التصوير الرقمي لم يعد هناك حاجة لشبكة النقاط الداخلية.

الكاميرات غير المترية : هي الكاميرات الرقمية التجارية المتوفرة بأشكال متعددة و بتقنيات مختلفة تبعاً للمستخدم من كاميرات تجارية بسيطة مرورا بكاميرات نصف احترافية إلى كاميرات احترافية ملحق (4). وتكون الوسائط الداخلية للكاميرا غير معرفة في هذه الحالة.

و للاختيار بين الكاميرا المترية وغير المترية يجب مراعاة الاعتبارات التالية:

- **الكلفة**: يعتبر سعر الكاميرا المترية مرتفعاً نسبياً مقارنة بالكاميرات الغير المترية، وسوف نتعرض للكلفة بالتفصيل في بند الكلفة.

- **البرامج المستخدمة**: تقوم الشركة الصانعة للكاميرات المترية بتزويد المستخدم ببرامج تعمل فقط على الصور الملتقطة من كاميرا نفسها و تسمح بمعالجة خاصة للصور تتعلق بالكاميرا و لا تتوفر في بقية البرامج. أما في حالة الكاميرا غير المترية لا يوجد برنامج محدد يتم استخدامه للعمل على الصور الملتقطة الأمر الذي يضطر المستخدم لانتقاء برمجية عامة تناسب عمله.

- **إمكانية التكبير و التصغير (zoom)**: الكاميرا المترية لا تحوي على إمكانية التكبير و التصغير كون البعد البؤري للعدسة ثابت. بينما يتوفر في الكاميرات غير مترية الاحترافية إمكانية التكبير و التصغير وذلك تبعاً لحجم الجسم الملتقط الأمر الذي يفيد في عدم التقيد بالمسافة بين الجسم المنمذج والكاميرا. على سبيل المثال يمكن من نقطة واحدة رصد لقطين: الأولى صورة عامة للواجهة والثانية باستعمال عدسة ثانية لالتقاط التفاصيل المعمارية. لكن في هذه الحالة سوف نضطر للمعايرة في كل مرة نغير فيها zoom.

- **طريقة المعايرة** : في حالة الكاميرا المترية تكون الوسائط الداخلية للكاميرا مدخلة مسبقاً وليست بحاجة لمعايرة. أما في حالة الكاميرات الغير مترية لا يمكن اعتماد الصور

الملتقطة في عملية النمذجة ثلاثية الأبعاد إلا بعد معايرة دقيقة للوسائط الداخلية للكاميرا (33) و ذلك بسبب تغير البعد البؤري للعدسة مع كل عملية فتح و إغلاق للكاميرا.

4.1.2. دقة العمل بتقنيات المساحة التصويرية:

تعرف دقة الصورة ملحق(5) بعدد البيكسلات في الملم المربع ضمن الحساس ملحق(4) وكلما زاد عدد البيكسلات كلما زادت دقة الصورة ووضوحها، ولكن زيادة دقة الصورة بشكل مبالغ فيه يؤدي إلى زيادة في حجم الصورة مما يمكن أن يسبب بطئاً وصعوبة في التعامل مع برمجيات النمذجة وهذا التعريف يقودنا إلى مصطلح أدق وهو الدقة التمييزية: وهي عدد البيكسلات اللازمة لتمييز الجسم بشكل واضح ويعبر عنها بوحدة البيكسل الأمر الذي يتحدد بالمسافة اللازمة لتمييز الجسم بشكل مناسب[8]، الشكل(4-1) يوضح دور الدقة التمييزية عند رسم التفاصيل المعمارية. الدقة التي يمكن التوصل لها عند العمل بهذه التقنية تبدأ من ملم وحتى 5 سم[9]، وتعتبر دقة الصورة الناتجة عن الكاميرا الرقمية أحد العلامات المهمة في اختيار الكاميرا أثناء عملية التوثيق حيث تشكل دقة الصورة العامل الأكبر في تحديد دقة النموذج و التفاصيل المراد استخلاصها من الصور ، إضافة إلى جودة إكساء المنتج النهائي من عملية النمذجة. و تجدر الإشارة إلى أن دقة الصورة تتغير حسب بعد وقرب الكاميرا عن الجسم المصور حيث تزداد بازدياد القرب عن الجسم والعكس صحيح. لهذا فعندما تكون المسافة ثابتة (أي عندما لا نستطيع الاقتراب من الجسم) و أن دقة الكاميرا ضعيفة فسوف نحتاج هنا إلى كاميرا أخرى ذات حساس أكبر. كذلك تعني دقة الصورة وضوح الوانها. و هذا الأمر يتعلق بأمور عديدة و منها مساحة البيكسل الواحد ضمن الحساس و جودة العدسات. فمساحة البيكسل تؤثر طردياً على نقاوة الصورة كون نسبة الضجيج تقل مع ازدياد سطح البيكسل. أما جودة العدسات فتؤثر من ناحية إعادة تركيز الأشعة في نقطة واحدة (البيكسل) و عدم تشتتها و بالتالي على نقاوة الصورة[8].



الشكل(4-1) :دقة الصورة في تمييز التفاصيل(زخرفة من مذبح كنيسة سمعان - حلب) - (اعداد الباحثة)

4.1.3. كلفة العمل بتقنيات المساحة التصويرية:

تعود كلفة العمل بشكل أساسي إلى كلفة الكاميرا المستخدمة وكلفة البرمجيات اللازمة لعملية

المعايرة والنمذجة :

- كلفة آلة التصوير أو الكاميرا: وتتحدد بسعر الكاميرا وملحقاتها (البطارية - العدسات - الحامل) الذي يتحدد حسب نوعها سواءً كانت مترية أو غير مترية، مثلاً سعر الكاميرا المترية من نوع rollei ذات دقة 3.2 يبلغ من \$7,000 و حتى \$10,000 مع البرنامج الملحق بها، بينما الكاميرا غير المترية التجارية من نفس الحساس يبلغ سعرها من \$100 إلى \$250 وذلك بتاريخ سنة 2012 [35]. و الاحترافية منها يبلغ سعرها \$500-1000 وبشكل عام يمكن استخدام أي كاميرا متوفرة شريطة أن تتم المعايرة بشكل صحيح وتكون الدقة الكاميرا مناسبة للعمل حسب ما تم ذكره ضمن البند السابق.
- سعر البرمجيات المستخدمة : وتتحدد بسعر البرمجيات اللازمة للمعايرة (إذا كانت الكاميرا غير مترية) بالإضافة إلى سعر البرمجيات اللازمة لإنشاء النموذج الثلاثي الأبعاد وتعتبر كلفة هذه البرمجيات منخفضة بشكل عام حيث يبلغ سعر كل من برنامج image modeler أو photo modeler بحدود من 200 وحتى 375 \$ بتاريخ 2012 (33)، وهذه البرمجيات كفيلة بالقيام بعملية المعايرة والنمذجة معاً.





4.1.4. سرعة العمل بتقنيات المساحة التصويرية:

- الزمن اللازم لإنجاز عملية التوثيق باستخدام المساحة التصويرية يتحدد حسب ما يلي [30]:
- **العمل الحقلّي** : ويتبع إلى حجم الجسم أو الموقع الذي نريد توثيقه، وتتضمن مراحل العمل الحقلّي أخذ قياسات يدوية أو بواسطة محطة رصد متكاملة و تصوير كامل الموقع بحيث نغطي كل التفاصيل وبنسب تداخل محددة.
 - **العمل المكتبي** : إن الدقة المختارة لعملية التصوير تلعب دوراً في تحديد حجم الصور، بالإضافة إلى أن زيادة حجم الصور وعددها (حسب حجم الموقع وحسب كمية التفاصيل) يؤدي إلى زيادة في عدد ساعات العمل التي تلزم لمعالجة الصور و لإظهار النموذج بشكل كامل.

يبين الجدول التالي عدد ساعات العمل ضمن المكتب وعدد الصور الملتقطة بالنسبة للمساحة الكاملة للموقع.

جدول (1-4): عدد ساعات العمل الحقلية والمكتبية وعدد الصور بالمنطقة والمساحة العامة للجسم [30][21]
(اعداد الباحثة)

النموذج الثلاثي الأبعاد	صور الجسم	وصف النموذج
		النتيجة: نموذج ثلاثي الأبعاد للواجهات الخارجية وصور مقومة المساحة: 20x15x15 m عدد الصور الملتقطة: 160 صورة عدد ساعات المعالجة: 8 ساعات
		النتيجة: نموذج ثلاثي أبعاد للواجهات الداخلية المساحة: 20x30x15m عدد الصور الملتقطة: 200 صورة عدد ساعات المعالجة: 4 ساعات
		النتيجة: نموذج ثلاثي أبعاد لعنصر معماري المساحة: 30x150 cm عدد الصور الملتقطة: 150 صورة عدد ساعات المعالجة: 3 ساعة
		النتيجة: نموذج ثلاثي أبعاد لعنصر متحفي المساحة: 15x5x20 cm عدد الصور الملتقطة: 50 صورة عدد ساعات المعالجة: 1,5 ساعة

		<p>النتيجة: نموذج ثلاثي أبعاد لواجهة مبنى وصورة مقومة المساحة: 60x18 m عدد الصور الملتقطة: 40 صورة عدد ساعات المعالجة: 2 ساعة</p>
		<p>النتيجة: نموذج ثلاثي أبعاد لحفرية أثرية وصورة مقومة المساحة: 15x2 m عدد الصور الملتقطة: 180 صورة عدد ساعات المعالجة: 4 ساعة</p>

4.1.5. مؤهلات كادر العمل بتقنيات المساحة التصويرية:

ويتم تحديد هذه المؤهلات تبعاً للمؤهلات المطلوبة للتعامل مع أجهزة التصوير ولمعالجة البيانات الناتجة عن استخدام أجهزة التصوير للتوصل إلى النموذج الثلاثي الأبعاد النهائي وفيما يلي تفصيل عن ذلك [18]:

- **الرفع الطبوغرافي:** يتطلب مهندس مساحة أو مختص في المساحة للقيام بإنشاء شبكة تثليث محلية تستند عليها نقاط المراقبة المفترض زرعها في الموقع.
- **آلات التصوير:** يتطلب العمل التوثيقي باستخدام تقنيات المساحة التصويرية معرفة في مجال المساحة التصويرية (معايرة الكاميرا - وضعية النقاط الصور - البعد عن الجسم المصور - عدد الصور اللازمة.....الخ) بينما لا يتطلب التعامل مع آلة التصوير أو الكاميرا المستخدمة سواء كانت مترية أو غير مترية تخصصاً ولكن توفر خبرة احترافية في النقاط الصور يكون أفضل.
- **البرمجيات:** تتطلب عملية التوثيق والنمذجة الثلاثية الأبعاد استخدام برمجيات محددة ، سواءً كانت هذه البرمجيات مستخدمة لعملية المعايرة أو لإنشاء النموذج الثلاثي الأبعاد. مع أن التعامل مع هذه البرمجيات سهل ولا يتطلب تعمق كبير لكن ذلك يوجب معرفة خطوات العمل وفهم أدنى لبعض المصطلحات المتعلقة بالمساحة التصويرية و النمذجة الثلاثية الأبعاد. وإن عملية النمذجة في هذه البرامج تشابه إلى حد كبير التعامل مع برامج الرسم بمعونة الحاسب مثل AUTOCAD- 3D MAX- MAYA.

4.1.6. إشكاليات العمل ضمن الموقع:

تفرض طبيعة الموقع مجموعة من الإشكاليات تختلف من موقع إلى آخر ويمكن أن تؤثر على سير العمل من حيث الوقت اللازم لإنهاء العمل أو من حيث الدقة النهائية. كما تفرض صعوبة في المعالجة النهائية للنموذج مما يؤثر على الأكساء و الإظهار النهائي للموقع. و يمكن أن تتمثل الصعوبات فيما يلي:

- وجود أجسام متحركة (أشخاص) أو ثابتة (أشجار - نباتات متسلقة - مقاعد جلوس) تظهر عند النقاط الصور وتتم معالجتها ضمن برامج متخصصة بذلك.
- عدم وجود مسافة كافية للتصوير (شارع أو وجيبة ضيقة) لا تساعد على إظهار الواجهة أو العنصر المعماري بشكل كامل مما يسبب وجود تشوه كبير في الصور (التشوه المنظوري) يؤثر على الدقة النهائية للصور وصعوبة في معالجتها، بالإضافة إلى زيادة عدد الصور اللازم لتغطية الجسم بشكل كامل مما يسبب زيادة في عدد ساعات العمل.
- إن ارتفاع بعض المباني قد يسبب صعوبة في التصوير الأمر الذي يستدعي التصوير من مبان مجاورة أو استعمال رافعة لإتمام عملية التصوير.
- إن التباين اللوني الذي يظهر نتيجة الإنارة الطبيعية للموقع ويختلف من جهة لأخرى يؤثر على جودة الأكساء النهائي (اختلاف اللون - وجود الظلال). كما أن تغير موقع الظلال أثناء التصوير لا يسمح بأن تكون فترة التصوير طويلة مما يضطرنا للتصوير في ساعة معينة عدة أيام تبعا لحجم المشروع.
- أثناء العمل الحقل لسنا بحاجة إلى تيار كهربائي أو مولدات كما تعتبر معدات العمل خفيفة وسهلة النقل.

4.2. اعتبارات استخدام تقنية المسح الليزري في العمل التوثيقي :

تم تصنيف هذه الاعتبارات وفق التالي:

4.2.1. نوع الماسح الضوئي المستخدم :

يتحدد نوع الماسح الضوئي المستخدم وفق الاعتبارات التالية [28]:

• حجم العنصر أو الجسم:

يتحدد نوع الماسح حسب حجم العنصر المراد مسحه مثلاً: تستخدم الماسحات الضوئية القائمة على التتليث لمسح العناصر و الأجسام الصغيرة، بينما تستخدم الماسحات التي تقوم على تحديد المسافة أو مقارنة الطور لمسح الأجسام الأكبر من ذلك مثل الواجهات الداخلية و الخارجية، كما

تم توضيحه بالجدول رقم (4-1).

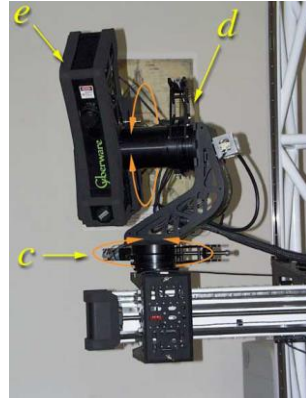
• نطاق التشغيل:

إن نطاق التشغيل أو المدى المجدي المتاح لرصد المبنى أو الموقع الأثري يعتبر عاملاً مهماً أيضاً، حيث أن نطاق تشغيل المساحات التي تعتمد على تحديد المسافة أو مقارنة الطور تصل إلى 100م بينما المساحات الليزرية التي تقوم على التثليث الحد الأعلى لنطاق تشغيلها يساوي إلى 25م، كما تلعب الدقة المطلوبة دوراً في تحديد نوع الجهاز المستخدم كما تم توضيحه بالجدول رقم (4-2).

• حقل الرؤية :

لدينا نوعان من المساحات:

المساحات الثابتة (ذات رؤية جهاز تصوير) ليس لها محاور ذات محركات للدوران، ومساحات ذات محورين (ذات رؤية بانورامية) كما في الشكل (5-2) التي تفيد في إعطاء مجال رؤية أوسع ونستفيد منها في حالة المسح الداخلي ضمن المباني الأثرية أو لمسح الأجسام والمنحوتات الصغيرة [31].



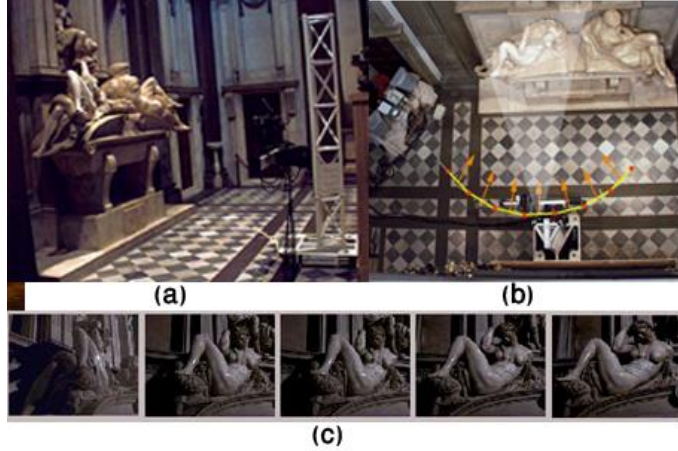
الشكل (4-2): "يوضح محور الحركة الشاقولي b ويوضح محور الحركة الأفقي d محور

الدوران الشاقولي و c محور الدوران الأفقي و e رأس المساح [31]

• الأجهزة الملحقة بالماسح الضوئي :

إلى جانب المعلومات الهندسية التي يمكن الحصول عليها من الجسم الذي تم مسحه بواسطة الماسح الليزري، يعتبر إكساء العنصر أمراً مهماً في حال أردنا الحصول على نموذج ثلاثي أبعاد واقعي ملون لأن المساحات الليزرية تعطي مشاهد ثلاثية الأبعاد بتدرجات اللون الرمادي وذلك لأن الحساسات الموجودة في الماسح غير قادرة على التقاط الألوان، و لذلك تتم إضافة أجهزة تصوير معلومة الدقة والوسائط الداخلية ذات مسارات مدروسة وشروط إضاءة محددة تمكننا من

الحصول على نتائج مسح وتصوير مشتركة وبألوان واقعية [30] كما في الشكل (3-4).



الشكل (3-4): a يوضح كاميرا التصوير الملحقة بالماسح والشكل (b) يوضح مسار الكاميرا بشكل قوس أما الشكل (c) يوضح عدد من الصور الملتقطة لإكساء النموذج [31]

4.2.2. دقة العمل باستخدام تقنيات المسح الليزري :

نعتبر عن الدقة التمييزية بحجم البقعة ضمن منطقة الانعكاس، ولذلك يجب تفحص كيفية تركيز الحزمة في حال وجود مسافات متغيرة (تضييق أو توسيع الزاوية بين النقط) و مقدار التزايد الزاوي (الزاوية بين كل نقطتين متتاليتين بالنسبة لمركز الماسح)، وتعتمد الدقة التمييزية على عنصرين أساسيين حسب [27]:

• طول قاعدة الماسح الليزري (length of the scanner base)

• أبعاد الجسم (object distance).

وقد بينت الدراسات العملية أن الدقة التي يمكن الحصول عليها باستخدام الماسح الليزري تتراوح من أجزاء مليمترات إلى 2-3 سم [9]، ولكن وجود درجات تعقيد في معظم العناصر الهندسية والمعمارية الممسوحة يتوجب العمل ضمن دقات مختلف. ففي بعض الأحيان و ضمن الموقع نفسه نحتاج إلى مسح واجهة حجرية وكذلك نحتاج إلى مسح مجموعة من العناصر التزيينية والزخارف الحجرية مما يسبب عدم تجانس نتائج العمل ويؤثر على دقتها النهائية.

4.2.3. كلفة العمل باستخدام تقنيات المسح الليزري:

تعتبر كلفة جهاز المسح الليزري مرتفعة مقارنة مع كلفة أجهزة التقنيات الأخرى حيث يتراوح سعر جهاز RIEGL-Z420I الموجود في كلية الهندسة المدنية- جامعة حلب 100000 \$ وذلك في عام 2007، لذلك ينصح عند شراء هذا الجهاز التأكد من إمكانية استخدامه بشكل متكرر ولحالات ودراسات مختلفة ، ولكن على الرغم من ارتفاع الكلفة بشكل عام إلا أن هنالك كمية ونوعية

المعلومات لا يمكن استخلاصها إلا من استخدام تقنيات المسح الليزري بالإضافة إلى التطبيقات المختلفة الأخرى التي تستوجب استخدامه مثل (مراقبة تطور الجسم بشكل ثلاثي الأبعاد واستنتاج خصائصه - استخدامه ضمن الدراسات الأثرية).

4.2.4. سرعة العمل باستخدام تقنيات المسح الليزري :

يتحدد الوقت اللازم لإنجاز عملية المسح و المعالجة بعدة عوامل منها [26] :

- مساحة الجسم أو الموقع المطلوب مسحه بالدرجة الأولى.
- عدد محطات الرصد اللازمة لتغطية الموقع أو الجسم بشكل كامل، مع أخذ بعين الاعتبار توفى مناطق مشتركة بين الغيوم النقطية الناتجة.
- كثافة الغيمة النقطية وسرعة القياس: على الرغم من سرعة الماسح الضوئي في الحصول على المعلومات الثلاثية الأبعاد المطلوبة إلا أن عملية المسح قد تستغرق زمناً طويلاً عندما نحتاج إلى كثافة غيمة نقطية كبيرة من أجل رفع الدقة التمييزية للعنصر، حيث أن الحصول على 100 نقطة في الثانية يعتبر معدلاً بطيئاً أما معدل 1000 في الثانية يمكن أن يكون مناسباً من حيث السرعة، و يبين الجدول (5-2) العلاقة بين المساحة العامة للموقع أو الجسم وعدد محطات الرصد وعدد ساعات العمل اللازمة للمعالجة.

الجدول (4-2): العلاقة بين حجم العناصر الممسوحة (مبنى - واجهة - تمثال) والوقت اللازم لإنجاز عملية المسح الحقلية والمعالجة المكتبية [26]

الجسم الممسوح	المساحة	عدد محطات الرصد	الوقت اللازم للمسح الحقلية	الوقت اللازم للمعالجة المكتبية
تمثال برونزي	ارتفاع 80سم	11	يوم	10 أيام
قارب روماني خشبي	3*15م	30	8 أيام	45 يوماً
واجهة الخزانة في بتر-الأردن	ارتفاع 40 م	3	1.5 ساعة	اسبوع
تل المدفن في ويرتيبيرغ	مساحة 10 هكتار	-	5 ساعة	5 أيام

4.2.5. مؤهلات كادر العمل بتقنيات المسح الليزري:

وتتدرج ضمن قسمين أساسيين: التعامل مع جهاز المسح، بالإضافة إلى التعامل مع البرمجيات اللازمة لمعالجة المعلومات الناتجة عن عملية المسح.

•الجهاز:

يتطلب التعامل مع أجهزة المسح الليزري (كيفية العمل - اختيار نوع الماسح الملائم للعمل) تخصص ومؤهلات علمية محددة ضمن الدراسة المساحية والطبوغرافية و التصويرية.

•البرمجيات:

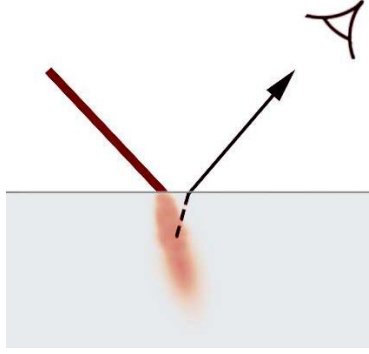
تتطلب كل مرحلة من مراحل المسح الليزري برمجيات محددة ومعروفة لمعالجة المعلومات التي تم جمعها من الماسح الليزري. و يستند اختيار البرامج المستخدمة على عدد من العوامل تتعلق : بكمية المعلومات و نوع الغيمة النقطية المطلوبة وخبرة ومهارة المستخدم وهذه البرامج تقسم إلى: برامج التحكم بالماسح الليزري وبرامج معالجة غيمة النقط وبرامج ملائمة الأوليات الهندسية (مكعب - موشور... إلخ) مع غيمة النقط بالإضافة إلى برامج تلوين الغيوم النقطية وبرامج الإكساء النهائي للنموذج[6].

تقوم مثل هذه البرمجيات بإعطاء مشاهد ثلاثية الأبعاد يمكن التحكم بها عن طريق تكبيرها وتصغيرها وتغيير ألوانها أو اقتطاع أجزاء منها كما أن هذه البرمجيات صممت لكي تتعامل مع قياسات ثلاثية الأبعاد لغيوم نقطية ذات حجوم كبيرة ،وتجدر الإشارة إلى أن البرمجيات المتوفرة حالياً مثل (برمجيات الرسم بمعونة الحاسب) لا يمكن أن تتعامل مع الغيوم النقطية، لذلك لابد من أن يكون المستخدم متخصصاً بهذه البرمجيات من حيث اختيار البرمجية وكيفية العمل عليها للحصول على نتائج مرضية عالية المستوى[6].

4.2.6. إشكاليات العمل ضمن الموقع:

هنالك عدة مشاكل تتعلق بطبيعة مواد البناء ضمن الموقع وهي[6]:

- لا يستطيع الماسح الليزري التعامل بشكل دقيق مع مواد مثل الزجاج أو المرايا أو أي مادة عاكسة .
- صعوبة التعامل مع بعض المواد الأخرى نتيجة خواصها البصرية مثل الرخام أو المرمر حيث أن حزمة الليزر تنعكس عن المادة وجزء منها يمتص من قبل المادة مما يسبب إزاحة لموقع الحزمة المنعكسة تبلغ في بعض الأحيان 40 ميكرون مما يؤثر على دقة القياسات الهندسية ،الشكل(4-4).



الشكل (4-4): توضح امتصاص جزء من أشعة الليزر من قبل المادة [6]

- الخشونة غير المتجانسة للسطوح التي يصطدم بها الليزر وهذا يسبب ظاهرة تشويش في الإشارة تؤثر على قيم المسافات المقاسة وهذا ما يسمى بظاهرة التشويش الأبيض.
- تعتبر المساحات الضوئية غير فعالة في مسح الحافات الحادة وخطوط التقاطع بين الأشكال والمستويات بينما تعتبر المساحات الليزرية فعالة جداً في حالة السطوح الناعمة مثل المنحوتات والتماثيل .
- من خلال دراسة النتائج العملية للماسح الليزري تبين أن كثافة الغيمة النقطية تتناقص عند زاوية المسح التي تزيد عن 45 درجة، يعزى هذا إلى تشتت شعاع الليزر تبعاً للسطح العاكس. لذا يوصى استخدام الماسح الضوئي بحيث تكون الحزمة الليزرية الصادرة من الجهاز تصنع زاوية أصغر ما يمكن مع الجسم، لذلك نواجه صعوبة في الحصول على نتائج دقيقة في حال وجود أجسام ذات ارتفاع كبير [26]
- صعوبة نقل الجهاز ضمن الموقع الأثري، لذلك من الأسهل الحصول على أجهزة صغيرة الحجم وخفيفة، ولكن معظم المساحات المتوسطة وطويلة المدى لا تزال ضخمة نسبياً ومن غير الممكن نقلها يدوياً، بالإضافة إلى أن مكان بعض المواقع الأثرية يتسم ببيئة عمل أو ظروف مكانية صعبة لذلك يجب الانتباه إلى كيفية نقل الماسح الليزري ضمن الموقع أثناء العمل.
- صعوبة الحصول على مصدر الطاقة أثناء العمل بالماسح الليزري في المواقع الأثرية حيث أنه في معظم المباني الأثرية يتم استخدام مساحات تعمل بالبطاريات لصعوبة الحصول على مولدات كهربائية بالإضافة إلى ضرورة مد كبلات خاصة بهذه المولدات.

5. الفصل الخامس: نتائج عملية المقارنة بين طرق التوثيق المعماري والأثري:

5.1. التجربة العملية والنتائج:

ضمن هذه التجربة [32] سوف يتم استعراض عملية توثيق كنيسة سان نيكولاس الواقعة في قرية فيلا في إسبانيا والتي يعود تاريخ بنائها إلى عام 1134 م وذلك باستخدام كل من تقنية المسح الليزري والمساحة التصويرية وذلك للإجابة على السؤال الأساسي : أي تقنيتين مناسب وفعال أكثر للعمل التوثيقي.

تتراوح أبعاد الكنيسة 30 م من الجهة الشرقية الغربية و 22 م من الجهة المقابلة بارتفاع 12 م للمبنى و 24 م للبرج الذي يتألف من ثلاث أقسام ويعود ذلك إلى أن الكنيسة بنيت بفترات مختلفة. وبشكل العام البناء حجري بسيط بأسقف خشبية يحوي على مدخلين رئيسيين. من الجهة الشمالية الشرقية نلاحظ أن المباني المجاورة قريبة جداً من الكنيسة، وبشكل عام جزء كبير من الواجهات مغطاة بسبب كثافة الأشجار في الجوار، أما في الناحية الغربية نلاحظ وجود شارع ضيق مزدحم بالسيارات المركونة و يوضح الشكل (5-1) بناء الكنيسة بشكل عام.



الشكل(5-1) :البناء العام لكنيسة سان نيكولاس[32]

5.1.1. مرحلة استخدام تقنية المسح الليزري:

تم استعمال ماسح ليزري ذو مدى متوسط مزود بكاميرا ملونة ذات دقة متوسطة لتؤمن التغطية المناسبة للمساحات التي يتم رصدها هذا الجهاز من نوع (Trimble GS200) بالمواصفات التالية:

رأس قابل للدوران بالإضافة إلى أن المرايا العاكسة الداخلية قابلة للدوران أيضا مما يؤمن زاوية مسح 360 درجة أفقية و60 درجة شاقولية، مما يقلل عدد محطات الرصد اللازمة لمسح الموقع بالكامل وقد تم الوقوف عند 8 محطات رصد لتأمين تغطية كاملة للمبنى واستغرقت مدة المسح 6 ساعات للحصول على 5 ملايين نقطة عند كل محطة رصد. وتم تعبير الجهاز للحصول على دقة

3 ملم لمسافة 30 م. علما أن مدى الجهاز المجدي 50 م:

تم تنفيذ الخطوات التالية :

- معالجة للغيوم النقطية الناتجة مما يؤمن الفلتر البصرية والهندسية لإزالة العناصر التي تسبب الضوضاء، بالإضافة إلى تقطيع هذه الغيمة أيضا بتدخل المستخدم لحذف العناصر التي لم تحذف بواسطة الفلتر، واستغرقت 2 ساعة.
- تسجيل ودمج ومعالجة الغيوم النقطية الناتجة عن عملية المسح بشكل نصف آلي. واستغرقت 2 ساعة والدقة الناتجة هي 1.3 سم.
- إسقاط الصور الناتجة عن ربط الكاميرا مع الماسح على الغيمة النقطية الناتجة ولذلك لتأمين الاكساء عالي الدقة للموقع، واستغرقت هذه المرحلة 8 ساعات.
- تم الحصول على النموذج النهائي ، المقاطع ، الصور العمودية... الخ ، والنموذج النهائي موضح بالشكل (2-5)، وقد تمت الخطوات السابقة بالاعتماد على برمجية (RealWorks Survey 5.1). إن العملية بشكل كامل استغرقت 300 ساعة للحصول على النموذج المطلوب.

5.1.2. مرحلة استخدام تقنية المساحة التصويرية:

- تم استعمال كاميرا (Nikon D70) ذات دقة عالية. تم النقاط 106 صورة تغطي المبنى بشكل كامل. واستغرقت هذه العملية 4 ساعات، بالإضافة إلى استخدام برمجية (PhotoModeler) التي تمت بواسطتها جميع الخطوات بشكل سهل وغير معقد. و الخطوات هي:
- تمت المعايرة ضمن البرمجية للحصول على قيم الوسائط الداخلية (البرمترات) للكاميرا من خلال تحديد النقاط المشتركة ضمن الصور ، و لتنفيذ معايرة الكاميرا بشكل صحيح تم استعمال شبكة مستطيلة ثنائية البعد مؤلفة من 4 نقط تحكم و107 نقطة ربط واستغرقت عملية المعايرة 2 ساعة.
 - وقد تمت مقارنة نتائج المعايرة عن طريق برمجية (PhotoModeler) مع برمجية (Matlab) وقد أظهرت نفس النتائج بالنسبة لقيم البعد المحرقي و النقطة الأساسية أما بالنسبة للتشوه العدسات فقد كانت النتائج متقاربة نسبياً.
 - وضع القيود الهندسية للزوايا المتعامدة والخطوط المتوازية و ضبط المقياس العام للجسم من خلال القياسات المأخوذة من الموقع.
 - يتم ظهور خطوط من خلال نقاط المعايرة تبين مواقع التصوير (تحديد الوسائط الخارجية

للكاميرا).

- تحديد خطوط القطب (epipolar lines) للتأكيد على مواقع النقاط المشتركة.
- التشكيل الثلاثي الأبعاد للعناصر المشكلة للجسم باستخدام أشكال بدائية مثل المكعب-الإسطوانة...الخ.
- الحصول على صور عمودية صحيحة ضمن شاشة الإسقاط المحددة والحصول على شبكة (tin).
- الحصول على إكساء مناسب عالي الدقة من خلال الصور الملتقطة للجسم والشكل (3-5) يوضح النموذج النهائي.
- أن عملية النمذجة لجميع عناصر المبنى مع اكسائها استغرقت 150 ساعة من العمل



الشكل (3-5) النموذج النهائي الناتج عن استخدام المساحة التصويرية [32]



الشكل (2-5) النموذج النهائي الناتج عن استخدام المسح الليزري [32]

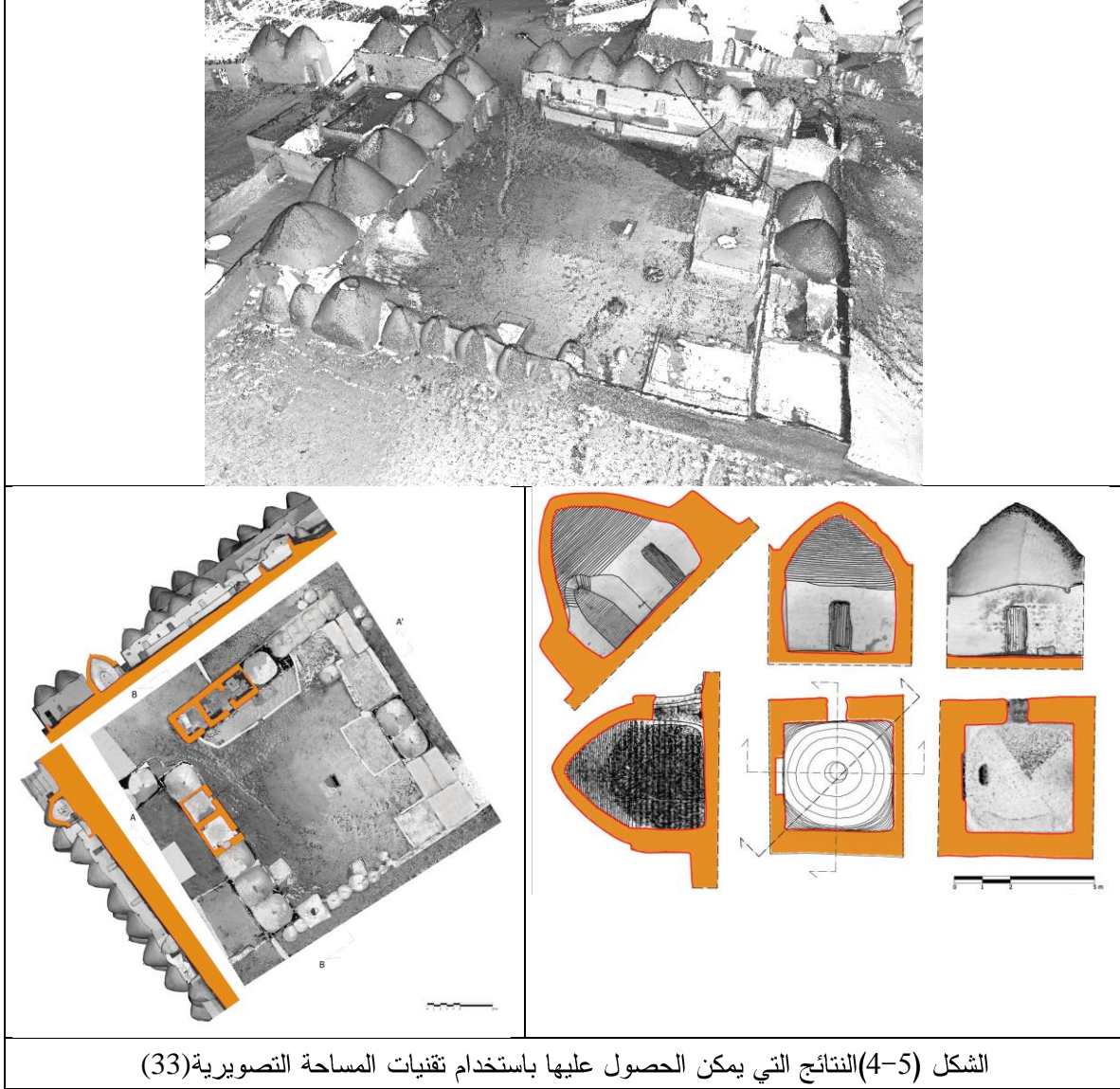
5.2. النتائج:

يمكن تلخيص النتائج ضمن الجدول التالي (1-5) [32]:

إمكانيات التفاعل مع برمجيات أخرى	الكلفة	الوقت	الدقة	التقنية المستخدمة
جيدة	300 يورو في اليوم	150 ساعة	3.4سم	المساحة التصويرية
متوسطة	1500 يورو في اليوم	300 ساعة	1.3سم	المسح الليزري

- كما هو مبين بالنتائج السابقة تعتبر استخدام تقنية المسح الليزري أكثر دقة من تقنية المساحة التصويرية ولكن بالجهة المقابلة تمكننا من التوصل إلى نتائج عمل مقبولة وبكلفة بسيطة وبإمكانيات تفاعل مع مختلف البرامج عند استعمال تقنية المساحة التصويرية.
- وتكون النتائج التي يمكن التوصل إليها باستخدام تقنية المساحة التصويرية هي مخططات ثلاثية البعد أو ثنائية البعد تحوي جميع التفاصيل المعمارية والإنشائية المطلوبة (مساقط - مقاطع أفقية

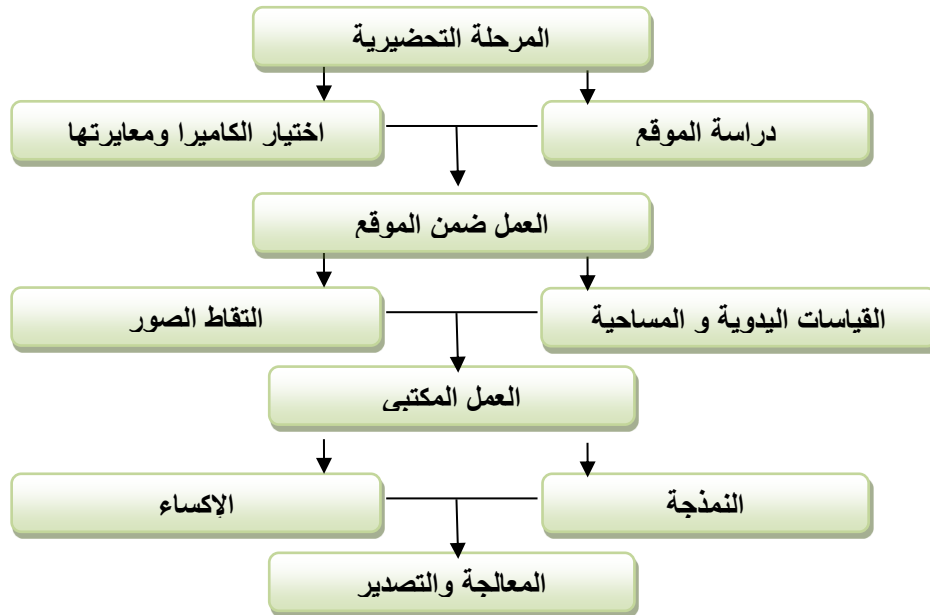
وشاقولية - بروفيلات) كما هو موضح بشكل (4-6) [33].



الشكل (4-5) النتائج التي يمكن الحصول عليها باستخدام تقنيات المساحة التصويرية (33)

نتائج الباب الثاني:

- يمكن الحصول على وثائق ثنائية البعد وتوليد نماذج ثلاثية الأبعاد دقيقة متعددة الاستعمال عن طريق استخدام تقنيات المساحة التصويرية بشكل يوفر الوقت والجهد اللازم لأخذ قياسات كاملة ضمن الموقع لأي جسم نقوم بتوثيقه سواءً كان التوثيق الذي نقوم به جواً أو أرضاً .
- تتبع الطريقة التي يتم استخدامها للحصول على التوثيق المطلوب لأي جسم باستخدام تقنيات المساحة التصويرية إلى النتيجة التي نريد التوصل إليها (ثنائية أو ثلاثية البعد) وإلى عدد الصور الذي يلزم لتغطية الجسم المراد توثيقه بجميع تفاصيله وبشكل كامل (صورة وحيدة - زوج من الصور - صور متعددة).
- تعتبر الخطوات التي نقوم بها لتوليد هذه النماذج سواء كانت هذه النماذج ناتجة عن معالجة غيمة نقطية أو عن اتباع مبدأ الهندسة الحجمية أو تمثيل الحدود هي خطوات محددة ضمن مجموعة من المراحل الموضحة ضمن الشكل (5-6) والتي يمكن القيام من قبل غير المختصين بعد الإلمام بمبادئ المساحة التصويرية والبرمجيات المستخدمة ضمنها.

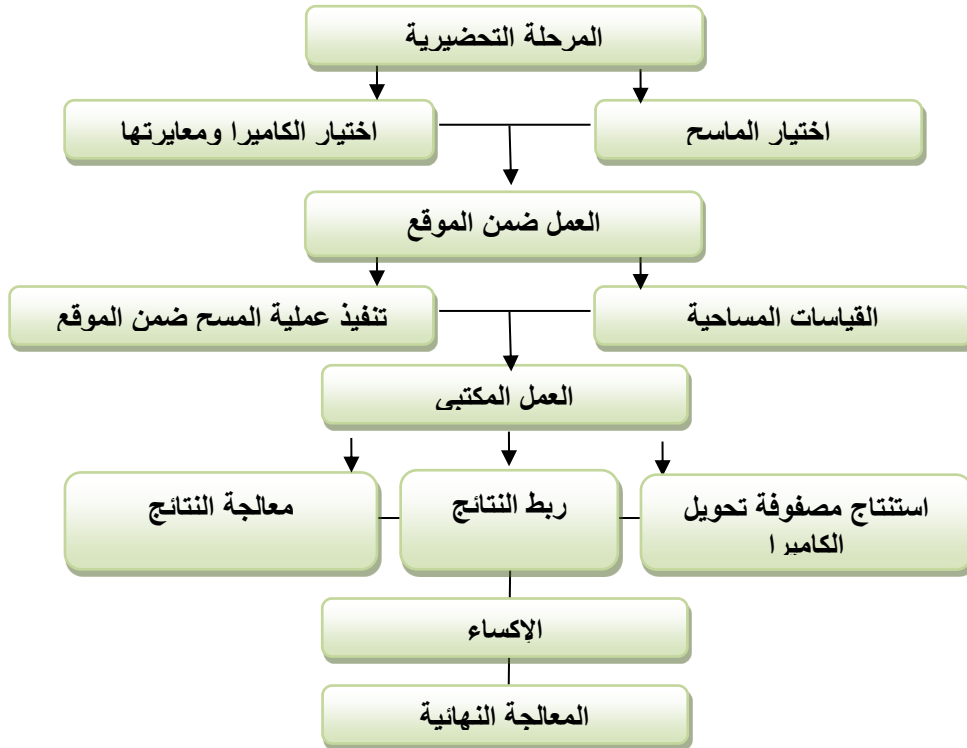


الشكل (5-6): خطوات العمل باستخدام تقنيات المساحة التصويرية (اعداد الباحثة)



- إن استخدام تقنيات المسح الليزري في عملية التوثيق المعماري والأثري يعتبر من أكثر التقنيات تطوراً هذا المجال.
- نستطيع استخدام تقنيات المسح الليزري في مجال الدراسات المعمارية والأثرية ومجال

حساب الإحداثيات الثلاثية البعد سواءً من الجو أو الأرض، بالإضافة إلى إنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد بدقة كبيرة تبدأ من أجزاء من المليمترات انتهاء بـ3 سنتيمترات .

- يتبع اختيار نوع الماسح الليزري المستخدم لعدة عوامل وهي
حجم الجسم ومقدار التفاصيل-الدقة المطلوبة-نطاق التشغيل المتاح
- إن خطوات العمل بتقنيات المسح الليزري هي خطوات برمجية معقدة تطلب تخصصاً في مجال الدراسة المساحية كما تطلب خبرة عمل كبيرة في مجال المسح الليزري ويعود ذلك إلى وجود عدد كبير من المشاكل التي يمكن التعرض لها سواء ضمن عملية المسح او ضمن معالجة النتائج مثل (أخطا الربط- أخطاء في إظهار نقاط الغيمة) والشكل التالي يلخص خطوات العمل بالمسح الليزري(5-7).



الشكل (5-7) خطوات العمل بالمسح الليزري(اعداد الباحثة)

- الجدول التالي يلخص النتائج الكلية التي تم التوصل لها بعد استعراض اعتبارات العمل   الجدول (2-5): تلخيص للمقارنة بين تقنية المساحة التصويرية والماسح الليزري (اعداد الباحثة)

تقنيات المسح الليزري	تقنيات المساحة التصويرية	الاعتبارات العامة	
غير متوفرة في الأسواق	متوفرة في الأسواق	توفر الأجهزة	الجهاز المستخدم
توجد أجهزة ملحقه (كاميرا)	توجد أجهزة ملحقه (العدسات والثلاثية)	أجهزة ملحقه	
يوجد برمجيات ملحقه بالجهاز	يوجد (في حالة الكاميرا المترية)	برمجيات ملحقه بالجهاز	
من املم وحتى 3سم	من 1 ملم وحتى 5سم	حدود الدقة	الدقة
غير ثابتة تختلف حسب نوع الجهاز ودقته وحجم الجسم ودرجة التفاصيل الموجودة ضمه	غير ثابتة تختلف حسب دقة الكاميرا والبعد عن الجسم ودرجة التفاصيل الموجودة ضمنه	ثابتة أو متغيرة	
مرتفعة	غير مرتفعة	كلفة الجهاز	الكلفة
مرتفعة	غير مرتفعة	كلفة البرمجيات	
لا يحتاج إلى وقت طويل	لا يحتاج إلى وقت طويل	العمل الحقل	السرعة
تحتاج المعالجة إلى وقت طويل	لا تحتاج المعالجة إلى وقت طويل	العمل المكتبي	
بحاجة إلى كادر عمل متخصص بالعلوم المساحية والطبوغرافية	يحتاج إلى كادر عمل ملم بمبادئ المساحة التصويرية	متخصص أو غير متخصص	مؤهلات كادر العمل
ليس بحاجة	بحاجة	إنارة الموقع	طبيعة الموقع
الأجهزة المستخدمة صعبة النقل	الأجهزة المستخدمة سهلة النقل	نقل الأجهزة	
يوجد إشكالية في تعامل مع مواد البناء	لا يوجد إشكالية في تعامل مع مواد البناء	التعامل مع مواد البناء	
يحتاج	لا يحتاج	الحاجة إلى تيار كهربائي	
نموذج ثلاثي الأبعاد مكسي ناتج عن معالجة مجموعة من الغيوم نقطية	نموذج ثلاثي الأبعاد مكسي ناتج أما على ارتباط حجوم هندسية أو مجموعة سطوح أو غيوم نقطية	النتائج النهائية للعمل	نتائج العمل
الخطوط والروابط بين أشكال غير دقيقة [32]	الخطوط والروابط بين أشكال دقيقة [32]	دقة الخطوط والروابط بين الأشكال	
معلومات لونية غير دقيقة	معلومات لونية دقيقة	دقة المعلومات اللونية	

صعوبة استخدام المعلومات الناتجة ضمن شبكات الواقع الافتراضي والخرائط الرقمية	سهولة استخدام المعلومات الناتجة ضمن شبكات الواقع الافتراضي والخرائط الرقمية	فعالية النموذج ضمن الواقع الافتراضي	
فعال في مجال الدراسات الأثرية	غير فعال في مجال الدراسة الأثرية(دراسة طبيعة المواد- معدل الكثافة...الخ)	فعالية النموذج في المجال الأثري	

وبالتالي:

- نستطيع استعمال جميع آلات التصوير في عمليات التصوير الفوتوغرامتري طالما نستطيع تخزين الصورة في النهاية على الحاسب وتحديد الخصائص الهندسية للكاميرا (معايرتها) ، لذلك ضمن منهجية العمل ينصح باستعمال كاميرا مترية في حال توفرها لكن يمكن العمل مع كاميرا غير مترية تملك عدسة ذات بعد محراقي ثابت عالية الجودة بهدف تقليل الكلفة وسهولة الاستخدام وإمكانية التحكم بدقة الصورة تبعاً للتفاصيل المراد إظهارها لكن يجب الانتباه إلى تغيير التكبير و التصغير zoom لأنه يغير البعد البؤري للعدسة.
- أما بالنسبة لأجهزة المسح الليزري فتعدد أنواع هذه الأجهزة حسب دقتها ونطاق تشغيلها وحقل رؤيتها لا يمكن التوصية بجهاز محدد للعمل التوثيقي إذ يختلف نوع الماسح المطلوب حسب نوع الجسم الذي نقوم بنمذجته سواء كان هذا الجسم منحوتة أو تمثال أو مبنى أو موقع أثري كامل.
- للتوصل إلى الدقة ملائمة للعمل ضمن برمجيات النمذجة يجب استعمال كاميرا تبدأ من دقة 8 ميغا بايت. ويتم تحديد دقة العمل حسب حجم العمل المطلوب ودرجة التفاصيل الموجودة فيه وقوة الأجهزة الموجودة للعمل. أما بالنسبة للماسح الليزري فتختلف الدقة أيضاً حسب نوع الماسح وحسب حجم العمل ومقدار تفاصيل الموجودة فيه بالإضافة إلى أن تجانس العمل يلعب دوراً كبيراً في الدقة الناتجة.
- تعتبر كلفة العمل بتقنيات المساحة التصويرية هي كلفة بسيطة و ذلك بسبب الخيارات المتنوعة لآلات التصوير التي يمكن استعمالها وخاصة الكاميرات غير مترية منها كما تعتبر كلفة البرمجيات المخصصة لهذا العمل كلفة بسيطة جداً، على عكس الماسح الليزري حيث تعتبر الكلفة (الجهاز والبرمجيات المستخدمة) مرتفعة جداً وليست ضمن إمكانيات جميع المستخدمين.
- الوقت الازم لإنجاز العمل بتقنيات المساحة التصويرية والماسح الليزري يتعلق بسرعة

العمل الحقلية والمكتبي الأمر الذي يتعلق بدوره بحجم العمل ودقة التفاصيل الموجودة فيه وعدد الصور أو محطات الرصد التي تتطلب المعالجة ، و بشكل عام تعتبر تقنيات المساحة التصويرية أسرع من تقنيات المسح الليزري .

• يعتبر الإلمام بتقنيات المساحة التصويرية (التعامل مع آلات التصوير- التعامل مع برمجيات النمذجة) والاختصاص بتقنيات المسح الليزري أمراً ضرورياً لإنجاز العمل بشكل علمي ودقيق وحل المشاكل التي يتم التعرض لها سواء كانت مشاكل تتعلق بالبرمجيات المستخدمة أو بالمشاكل التي يمكن أن نتعرض لها ضمن الموقع.

النتائج النهائية:

- 1- يلعب التراث الحضاري دوراً ثقافياً واقتصادياً و اجتماعياً في مسيرة تطور أي مجتمع، لذلك يعد من الضروري الحفاظ على هذا التراث من أسباب التدهور التي تنحصر بغياب الوعي بالقيم التراثية لدى الإنسان والمجتمع، وعدم القيام بعملية الحفاظ بشكل علمي مدروس.
- 2- تتم عملية الحفاظ على التراث الحضاري وفق عدة مراحل وهي: التوثيق- الدراسة والتحليل - الترميم- إعادة التأهيل. ولكن تعتبر التوثيق المعماري والأثري الخطوة الأولى والأهم في عملية الحفاظ على التراث الحضاري لما لهذه الخطوة من تأثير على الخطوات اللاحقة.
- 3- تتعدد طرق التوثيق المعماري والأثري (الطرق اليدوية- المسح الطبوغرافي- المساحة التصويرية - المساح الليزري)، ولكن تعد كل من المساحة التصويرية والمساح الليزري هي الطرق الأنسب للحصول على نمذجة ثنائية وثلاثية البعد دقيقة للمباني والمواقع الأثرية.
- 4- عند استخدام مفهوم النمذجة الثلاثية الأبعاد يجب اعتماد المبدأ المناسب تبعاً لدرجة التفاصيل الموجودة ضمن الجسم الذي تتم نمذجته
- 5- تعد الطرق الإجرائية هي الأنسب للمهندس المعماري لأن هذه الطريقة تتطلب فهم للشكل المعماري والعناصر المشكلة له، بالإضافة إلى سهولة التعامل مع البرمجيات المستخدمة.
- 6- يعد استخدام تقنيات المسح الليزري من أكثر التقنيات تطوراً في مجال الحصول على معلومات ثلاثية الأبعاد، إلا أن الحاجة إلى كوادر عمل كبيرة متخصصة بالعلوم المساحية، بالإضافة إلى الكلفة المرتفعة لاستخدام هذه التقنية يحول دون استخدامها في عملية التوثيق المعماري والأثري.
- 7- تعد المساحة التصويرية من أنسب الطرق للحصول على وثيقة ثنائية أو ثلاثية البعد بسبب الدقة المقبولة والتي تضاهي في بعض الأحيان دقة المساح الليزري التي يمكن التوصل إليها، بالإضافة إلى الكلفة المقبولة لهذه التقنية وتوفر الأجهزة والبرمجيات السهلة التعامل بالنسبة لغير المختصين بالعلوم المساحية.

8- قبل البدء باستخدام تقنيات المساحة التصويرية ضمن العمل التوثيقي لا بد من الإلمام بمبادئ المساحة التصويرية والتي تشمل الإسقاط المنظوري والتحويل الهيموغرافي، بالإضافة إلى كيفية حساب الإحداثيات الثلاثية البعد.

9- للحصول على نتائج ثنائية البعد بالاعتماد تقنيات المساحة التصويرية يجب استخدام مبدأ الصور المصححة لتوثيق مستوي وحيد، أو مبدأ الصور المقومة لتوثيق عدد من المستويات ضمن الجسم الواحد.

10- لتنفيذ نموذج ثلاثي الأبعاد لأي مبنى أو موقع باستخدام تقنيات المساحة التصويرية لا بد من القيام بقياسات يدوية أو مساحية ضمن الموقع، ويعتبر استخدام القياسات المساحية أفضل لضبط النموذج بشكل صحيح ودقيق.

11- أثناء العمل بتقنيات المساحة التصويرية ينصح باستعمال الكاميرا الغير مترية عوضاً عن الكاميرا المترية ويعود ذلك لانخفاض كلفتها وإمكانية التحكم بدقة الصورة تبعاً للتفاصيل المراد إظهارها، بالإضافة إلى الحرية في اختيار البرمجيات المستخدمة ضمن العمل.

12- لا بد عند استخدام تقنيات المساحة التصويرية الإلمام بكيفية معايرة الكاميرا تحديد(الوسائط الداخلية - الوسائط الخارجية)، وينصح باستخدام خيارات المعايرة الموجودة ضمن برمجيات النمذجة الثلاثية البعد لغير المختصين مثل (Photo modeler-Image modeler) .

13- يجب مراعاة شروط التصوير ضمن الموقع، فعند استخدام مبدأ الهندسة الحجمية أو تمثيل الحدود لا بد من تأمين تغطية كاملة للموقع بالصور والحصول على نسبة تداخل 60% بينها أما للحصول على غيمة نقطية ينصح بأن تكون محاور التصوير متوازية ومتداخلة بنسبة تزيد عن 30% دون تغيير ارتفاع الكاميرا أو زاوية التصوير.

14- وعند استخدام أي مبدأ لا بد أثناء عملية التصوير من عدم زيادة دقة الصور بشكل مبالغ فيه أو زيادة عدد الصور لأن ذلك يسبب بظاً في المعالجة، بالإضافة إلى القيام بعملية التصوير في الصباح الباكر قبل الشروق أو في حال وجود غيوم منعاً لحصول تناوب لوني.

- ينصح عند القيام بعملية النمذجة اختيار البرمجية التي تناسب المبدأ المستخدم :

▪ استخدام برمجية Image modeler : للحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد حسب مبدأ الهندسة الحجمية.

▪ استخدام برمجية Photo modeler: للحصول على نموذج ثلاثي الأبعاد حسب مبدأ الهندسة السطحية، أو للحصول على نموذج ثلاثي أبعاد من خلال توليد غيمة

نقطية.

■ استخدام برمجية Mic mac: للحصول على نموذج ثلاثي أبعاد من خلال توليد غيمة نقطية.

15-للحصول على نموذج ثلاثي البعد واقعي ، يجب تصحيح الصور التي تحوي على أشكال أو أجسام لا تنتمي للنموذج المطلوب مثل الأشخاص أو الأشجار قبل البدء بعملية الإسكاء .

16- لإعطاء واقعية للنموذج الناتج ، لا بد من تصدير النموذج قبل عرضه ضمن فعاليات الواقع الافتراضي إلى برامج مثل 3D MAX أو MAYA لإضافة بيئة مناسبة للعمل بشكل ثلاثي الأبعاد مثل الأشجار وعناصر فرش الموقع العام.

17-للحصول على وثيقة ثنائية البعد يجب تصدير النموذج الثلاثي الأبعاد(ذو الأبعاد والنسب الواقعية) إلى برامج الرسم الهندسي (VECTOR- AUTOCAD)، لنتمكن من الحصول على نسخة رقمية بعد القيام بعملية تحويل شعاعية.

التوصيات

تم تقسيم هذا البند إلى قسمين أساسيين: التوصيات الموجهة إلى المؤسسات التعليمية و التوصيات الموجهة إلى مؤسسات الدولة.

التوصيات الموجهة إلى المؤسسات التعليمية:

وتتلخص فيما يلي:

- التركيز ضمن المناهج التعليمية على أهمية التراث الحضاري بالنسبة للإنسان والمجتمع وخاصة التراث المعماري وعلى كيفية الحفاظ عليه.
- التركيز ضمن المناهج التعليمية على عملية الحفاظ وكيفية القيام بها بشكل علمي وصحيح.
- ضرورة التركيز على أهمية عملية التوثيق المعماري والأثري كخطوة أولى في عملية الحفاظ وإعادة تأهيل المواقع المعمارية والأثرية في سبيل إعداد مدرّبين ومتخصصين معماريين في هذا المجال.
- ضرورة إدخال مفهوم النمذجة الثلاثية الأبعاد وأهميته في مجال التوثيق المعماري والأثري ضمن المناهج التعليمية .
- أهمية التعريف بالطرق الحديثة بعملية التوثيق المعماري (المساحة التصويرية- المسح الليزري) ومجالات استخدامها وخطوات العمل بها.
- القيام بورشات عمل مشتركة بين المؤسسات التعليمية (المعمارية والمدنية) تهدف إلى إبراز أهميه المجال التوثيقي والتعريف بأحدث ما توصلت إليه جميع هذه الجهات في هذا المجال.
- القيام بورشات عمل مشتركة بين المؤسسات التعليمية (المعمارية والمدنية) تهدف إلى إنشاء مكتبة معمارية خاصة بنمذجة العناصر والأشكال المعمارية الأثرية وتصنيفها حسب العصر الذي تنتمي إليه.

التوصيات الموجهة إلى مؤسسات الدولة(مديرية الآثار والمتاحف - الأوقاف -البلدية) :

وتتلخص فيما يلي:

- إعطاء عملية التوثيق المعماري والأثري أهمية أكبر وذلك من خلال :
- التأكيد على أهمية التوثيق المعماري والأثري باستخدام النمذجة الثلاثية الأبعاد في تنشيط السياحة الأثرية بالإضافة إلى دورها الكبير في الدراسات التوثيقية والترميمية.
- عدم استعمال تقنيات التوثيق التقليدية (الطرق اليدوية) و طرق المسح الطبوغرافي في

- عملية التوثيق المعماري والأثري والاكتفاء باستخدامها كتقنيات مساعدة.
- استعمال تقنيات المساحة التصويرية في توثيق المباني والمعالم الأثرية كتقنية تعطي الدقة والسرعة المطلوبة بكلفة مقبولة تتناسب مع الميزانيات المخصصة لعملية التوثيق.
 - القيام بدورات تأهيلية للعاملين ضمن قطاعات الدولة في مجال النمذجة والتوثيق المعماري والأثري لتأهيل شعب متخصصة في هذا المجال، تقوم هذه الدورات ب:
 - التعريف بالنمذجة الثلاثية الأبعاد ومجالات استخدامها.
 - تعريف العاملين بتقنيات المساحة التصويرية ومبادئها الأولية.
 - تعريف العاملين على مراحل العمل باستخدام تقنيات المساحة التصويرية من خلال إجراء تجارب ميدانية تحت إشراف متخصصين في هذا المجال.

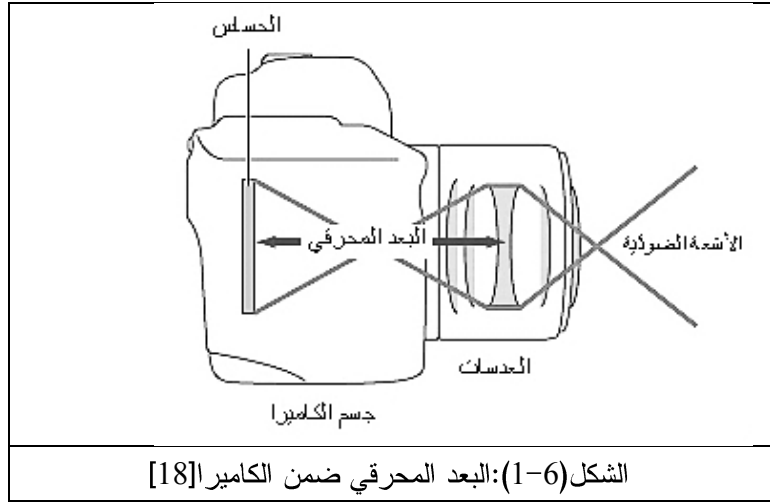
الملاحق

ملحق (1): الوسائط الداخلية والخارجية للكاميرا

نعني بالكاميرا أو آلة التصوير المعاييرة بأنها معروفة الوسائط الداخلية والخارجية وفيما يلي تلخيص لهذه الوسائط [18].

• الوسائط الداخلية: وتتحدد بما يلي:

- البعد المحرقي (focal length): هو المسافة بين المركز البصري للعدسة ومستوي الصورة و يتغير البعد المحرقي أثناء عملية التكبير والتصغير (focusing) كلما كبر البعد المحرقي كلما أصبح مجال الرؤية أصغر أي أكثر توضيحاً ، وكلما صغر البعد المحرقي كلما زاد عدد النقاط التي يتم إسقاطها على مستوي الصورة. أما حقل الرؤية : فهو المسافة أمام وخلف مستوي الصورة التي تعطي تكبير مقبول وعندما تقوم العدسة بتكبير الجسم ضمن هذه المسافة فإن كل الأجسام التي تقع ضمن هذه المسافة سوف تكبر بشكل واضح والأجسام التي لا تقع ضمن هذه المسافة والتي هي خارج نطاق التكبير لن تظهر بشكل واضح كما هو موضح بالشكل (6-1).

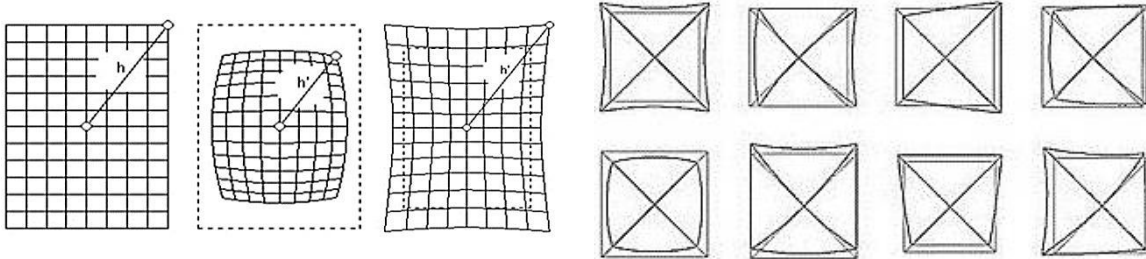


- النقطة الأساسية (principal point) : تمثل إسقاط المركز البصري للعدسة (مركز إسقاط الصورة) على مستوي الصورة (مستوي الحساس).

- تشوه العدسة (lenses Distortion): يلاحظ على أطراف الصورة أن الخطوط المستقيمة في الواقع تبدو في الصورة بشكل خطوط منحنية. وتقل هذه الظاهرة كلما اقتربنا من مركز الصورة. ينتج هذا التشوه الذي يدعى بالتشوه الشعاعي بسبب كروية العدسة وتزداد مع زيادة كروية العدسة. يوجد نموذجين رياضيين لهذا التشوه يتبع للبعد

عن مركز الصورة :

○ النموذج الأول: التشوه المركزي (linear distortion): ويكون التشوه على المحور x مساوياً للتغير على المحور y ، ومقعر أو محدب كما في الشكل (2-7)
○ النموذج الثاني: التشوه الغير مركزي (Decentering Distortion): هذا النوع من التشوه يعتبر غير متساوي القيم بالنسبة لمركز الصورة حيث يعتبر التشوه على المحور x غير مساوي للمحور y ، والشكل (3-7) يوضح بعض أشكال التشوه غير المنتظم.



الشكل (2-6): أشكال التشوه الغير المركزي [18] الشكل (3-6): أشكال التشوه المركزي [18]

- أبعاد الحساس (film back size): الحساس بشكل عام هو عبارة عن شريحة مستطيلة الشكل ويتم من خلاله التقاط الأشعة الضوئية المنعكسة من الجسم والمارة من خلال العدسة، لدينا نوعين من الحساسات: CCD (Charge Coupled Device) و CMOS (photo transistor with "on pixel" electronics)

• الوسائط الخارجية

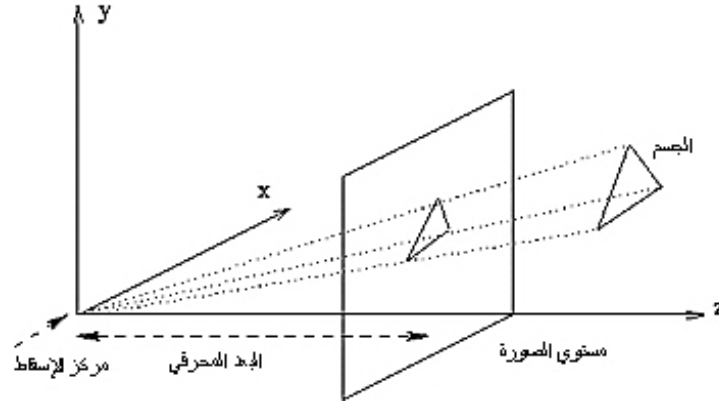
فهي الوسائط التي تحدد مكان وتوجيه الكاميرا بالنسبة لجملة إحداثيات معروفة ومحددة سواءً أكانت محلية أو مربوطة بالشبكة العامة. يتم تقدير هذه الوسائط من خلال إيجاد التحويل الذي يشمل الانتقال والدوران بين إحداثيات الكاميرا وجملة الإحداثيات. ويتم تحديد التوجيه الخارجي للكاميرا من خلال البرمجية المختارة في عملية النمذجة أثناء عملية الانتقاء الآلي أو اليدوي للنقاط المشتركة ضمن الصور. يتألف التوجيه الخارجي من مرحلتين :

- التوجيه النسبي : ربط عناصر التوجيه الخارجية من آلة تصوير واحدة عن طريق ربط نظام إحداثيات صورة بأخرى.
- التوجيه المطلق : و يقوم على ربط نظام إحداثيات جميع الصور مع إحداثيات الموقع أو الإحداثيات العالمية.

ملحق (2): الإسقاط المنظوري والتحويل الهيموغرافي

يعتبر الإسقاط المنظوري عبارة عن إسقاط مركزي من مستوي الجسم إلى مستوي الصورة آخر غير مواز له .حيث تلتقي أشعة الإسقاط في نقطة واحدة تسمى مركز الإسقاط وبالتالي يعوض هذا التحويل عن التشوهات الناتجة عن ميلان محور التصوير، وعندما يكون مستوي الجسم موازياً تماماً لمستوي الإسقاط يصبح تأثير الإسقاط المنظوري متعلقاً فقط بعامل المقياس. نتائج الأسقاط المنظوري:

- بالنسبة للخطوط في الأجسام الثلاثية تبقى خطوط ثنائية الأبعاد
- المسافات والزوايا لا تبقى بالشكل نفسه
- الإسقاط المنظوري لا يحافظ على توازي المستقيمات باستثناء المستقيمات الموازية للفصل المشترك بين المستويين (مستوي الإسقاط ومستوي الصورة)

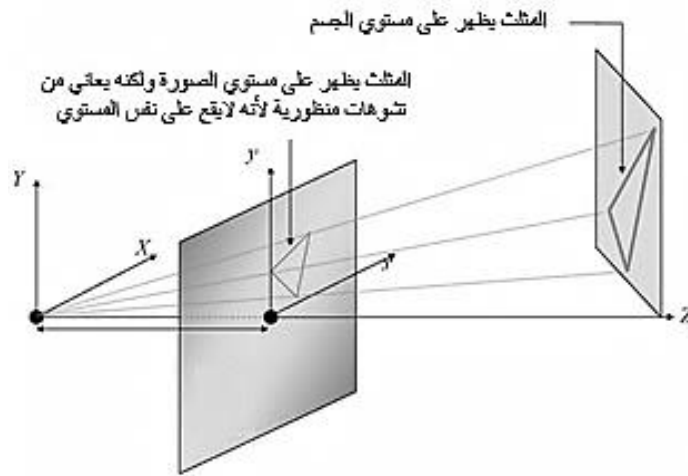


الشكل (4-6): الإسقاط المنظوري [18]

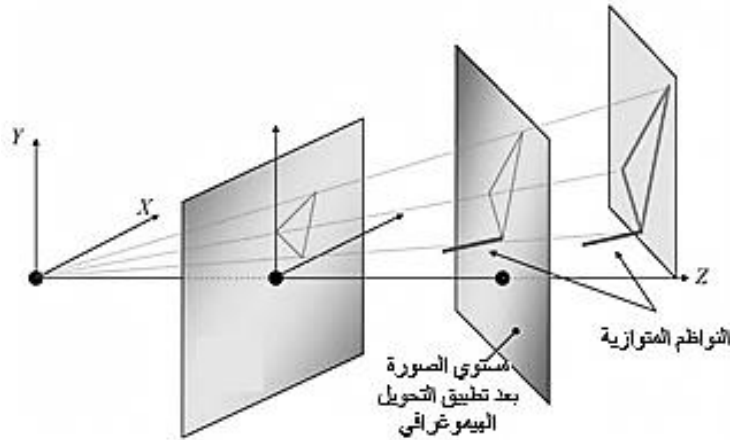
بينما يعتبر التحويل الهيموغرافي بأنه عملية تحويل مستوي الصورة إلى مستوي صورة موازي للمستوي الذي قمنا بتصويره والانتقال من الإسقاط المنظوري إلى الإسقاط المتوازي. ومصفوفة التحويل هي عبارة من مصفوفة 3×3 تحوي على 8 مجاهيل ولذلك عند تطبيق المصفوفة نحتاج إلى على الأقل أربعة نقط معروفة الإحداثيات على مستوي الصورة . تقوم المصفوفة H بتحويل X (إحداثيات نقاط الصورة) إلى X RECT (إحداثيات جملة الصورة المقومة الموازية للمستوي المدروس)، وذلك بجعل الناظم على مستوي الصورة المقوم موازي للناظم على مستوي الصورة في الواقع.

نلاحظ أن المثلث في الشكل (5-6) الذي يظهر في مستوي الصورة لا يشابه المثلث المدروس في المستوي الحقيقي (الزوايا غير متساوية مع مقابلاتها والأضلاع غير متناسبة مع مقابلاتها). أما في

الشكل (6-6) أن الناظم على مستوي الصورة المدروس غير موازي لمستوي الصورة وبعد تطبيق مصفوفة التحويل الهيموغرافي نجد أن الناظم على مستوي الصورة أصبح موازيا للناظم على مستوي الصورة الحقيقي.



الشكل (5-6):مستوي الصورة قبل تطبيق التحويل الهيموغرافي [18]

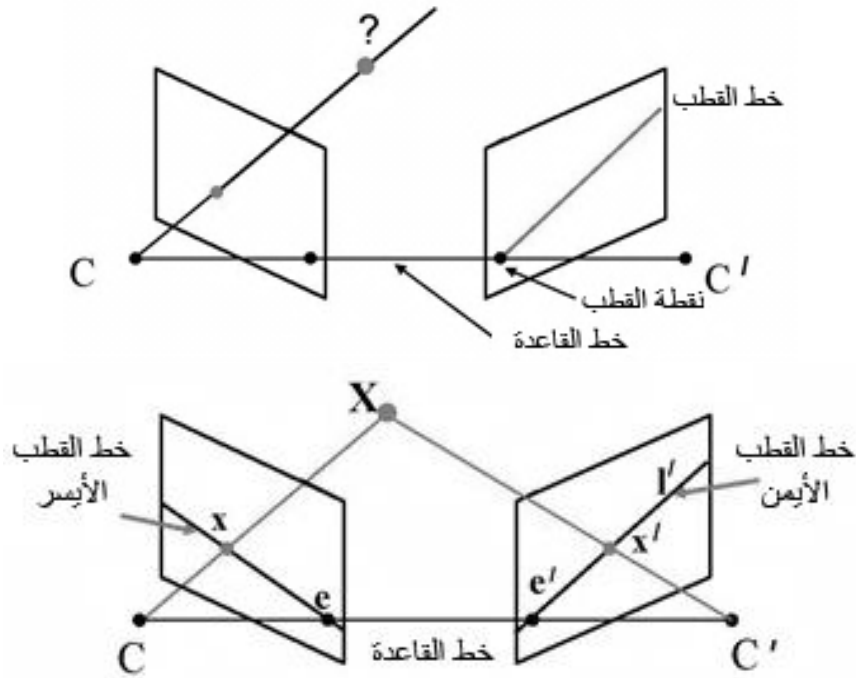


الشكل (6-6):مستوي الصورة بعد تطبيق التحويل الهيموغرافي [18]

الملحق(3):حساب الإحداثيات الثلاثية الأبعاد:

يتم حساب الإحداثيات الثلاثية الأبعاد للنقاط وفق المبدأ التالي:

لدينا مركزي الإسقاط للكاميرتين c و c' يمر شعاع الضوئي لنقطة غير معلومة الإحداثيات من المركز c . يسمى الخط الواصل بين مركزي الإسقاط بخط القاعدة (baseline) ويتقاطع خط القاعدة المار من c مع مستوي الصورة الثانية في نقطة القطب (epipole) التي يمر منها خط القطب (epipolar line) الذي يكون موازيا للشعاع الضوئي المار من مركز الإسقاط c وبالتالي نستطيع تحديد إحداثيات النقطة x من خلال الشعاع المار من c' والمتقاطع مع خط القطب الشكل(6-7)



الشكل(6-7) كيفية حساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد[18]

ملحق (4) آلات التصوير:

• أقسام آلات التصوير الرئيسية:

بشكل عام تتكون من [21]:

- العدسات (lences): ويمكن أن تكون عدسة وحيدة أو عدسة مركبة ذات البعد المحرقي متغير.

- الغالق (Shutter) : وإما أن يكون يدوي أو الكتروني.

- محدد التصوير (view finder): تستخدم لتحديد الصورة.

- الحساس (Sensor): هو مجموعة من ملايين حساسات فلاتر الألوان أو البيكسلات التي تحول الفوتونات الضوئية لإلكترونات.

- مضخم (amplifier) : لتضخيم الإشارة الناتجة عن الحساس

- مسجل إشارة رقمي لتخزين الصورة بشكل رقمي

- معالج لتحويل البيانات إلى صورة مرئية

- أي أداة لتخزين بيانات - قابلة للفصل عادة (بطاقة ذاكرة)

- مصدر للطاقة أو وحدة تخزين: بطاريات عادية أو بطارية القابلة للشحن

تمر الأشعة الضوئية المنعكسة من الجسم من خلال العدسة إلى الحساس مروراً بالمرشحات يتشكل لدينا خيال للجسم على الحساس ثم يقوم الحساس والملحقات التابعة له بتحويل هذا الخيال إلى شكل رقمي (بيكسلات) يخزن على وحدة التخزين أو الفيلم .

• أنواع آلات التصوير [18]:

تعريف الكاميرا الرقمية:

هي كاميرا تلتقط صور بشكل الكتروني بدلاً من استخدام الأفلام، وتأتي أغلب الآلات من هذا النوع مرفقة بشريحة ذاكرة تختلف أحجامها باختلاف أنواعها لتخزين كم أكبر من الصور، وتسمح كل الكاميرات الرقمية بعرض الصور و حذف الغير مرغوب فيها قبل طباعتها وبالتالي تختصر عملية التحميض.

الفرق بين الكاميرا الرقمية والكاميرا الفلمية:

لا فرق سوى في طريقة استقبال و الاحتفاظ بالصورة الملتقطة، ففي كاميرا الفيلم تنطبع الصورة المتكونة من ومضة الضوء المارة بالعدسة على شريط مطلي بمواد كيميائية أهمها نترات الفضة الحساسة للضوء يتم تظهيرها، بعد ذلك نبقعها في مواد كيميائية تتم طباعتها على ورق التصوير.

لم تكن عملية كهذه تحتاج كهربائية في آلة التصوير والعملية عبارة عن تفاعل كيميائي، وكان يتم تدوير الفيلم لاستقبال اللقطة التالية بواسطة ذراع ميكانيكي .

أما آلة التصوير الرقمية التي لا تعمل دون طاقة كهربائية فتستقبل الصورة من خلال مكشاف ضوئي حيث تستقبل ملايين فوتونات وتعالجها إلكترونياً تمهيداً لتخزينها داخل الكاميرا على شكل صورة ذاكرة رقمية مؤلفة من وحدة تسمى البيكسل .

أتاح وجود معالج إلكتروني داخل الكاميرا إمكانية القيام بالكثير من العمليات على الصورة الملتقطة كالتدوير والحذف، كما مكن من تطبيق المؤشرات قبل التصوير كالتصوير الأبيض والأسود و لعل أهم مزايا الكاميرا الرقمية السرعة، فمع التصوير الرقمي يمكن التقاط الصورة و تخزينها على الحاسوب في أقل من دقيقة لاستخدامها في تطبيقات مختلفة بعد معالجتها بالبرمجيات المناسبة.

أنواع الكاميرات الرقمية:

• كاميرات بسيطة (compact):

وهي كاميرات الرقمية العادية ، معظم الناس يستخدمون هذا النوع حيث يتميز بعدد قليل جداً من الكاميرات بميزات قبل سرعة الفالق و فتحة العدسة أما القسم الأكبر لا يسمح بالتصوير إلا بوضع الاتوماتيكي ، بحيث لا يحتاج صاحب الكاميرا إلى ضبطها قبل عملية التصوير .

• كاميرات فائقة الصغر (ultra compact):

تسمى كاميرات الجيب وهي نوع آخر من كاميرات كومباكت و لكنها صغيرة الحجم و تحمل مواصفات كاميرات العادية.

• كاميرات متطورة (advanced):

وهي نوع متطور من الكاميرات من حيث الحجم و الإمكانيات فهي أكبر حجم، و بالتالي تعطي تحكم بالكاميرا أفضل وتحتوي على مواصفات أعلى مثل :

عدسات ذات زووم عالي ، و يتميز بالقدرة على التحكم اليدوي الكامل في الكاميرا مثل تحكم بفتحة العدسة و سرعة الغالق، كما يحتوي على خاصية منع الاهتزاز .

• الكاميرات الاحترافية (Professional):

هي كاميرات أكثر احترافية و سعرها أعلى وتقدم صور عالية الدقة و هناك تحكم كامل في كاميرا بدرجة أعلى من كاميرات شبه احترافية، وتتراوح أبعاد الحساس بين 6 بكسل إلى 17 ميجابيكسل

ملحق(5):الصورة الرقمية[8]:

إن مختلف عناصر الجسم تعكس الضوء بنسبة تتفاوت حسب درجة اللون ،وبذلك تتمايز وتظهر عناصر الجسم المصور عن طريق قياس كمية الضوء المنعكس من الجسم وترميزه للمعلومات ضمن خلايا وهي عناصر الصور (بيكسلات) . وبالتالي الصور الرقمية ليست إلا مصفوفة من الأرقام التي تعبر عن لون محدد لكل عنصر منها، و رقم السطر و رقم العمود يدل على مكان اللون في الصورة.

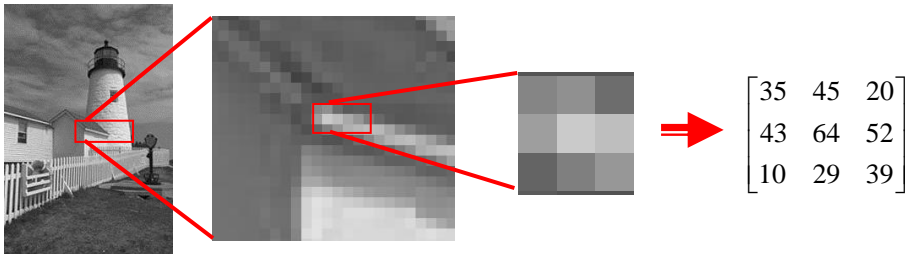
تمر الأشعة الضوئية المنعكسة من الجسم من خلال العدسة إلى الحساس مرورا بالمرشحات وبالتالي يتشكل لدينا خيال للجسم على الحساس ثم يقوم الحساس والملحقات التابعة له بتحويل هذا الخيال إلى شكل رقمي(بيكسلات) يخزن على وحدة التخزين أو الفيلم .

•أنواع الصور الرقمية حسب قنوات اللون:

تعرف القناة بمجال من الطيف الضوئي الذي يقوم الحساس باستشعاره وبالتالي تنقسم الصور إلى:

- صور ثنائية(Binary Image) :هي عبارة عن مصفوفة تحوي على قيم 0 اللون الأسود والقيمة 1 اللون الأبيض

- صور رمادية (ray levels Image) :هي عبارة عن مصفوفة واحد(قناة واحدة) تحوي على عناصر تتراوح قيمتها بين 0 و 255 تعطي تدرجات اللون الرمادي



الشكل(6-8): الصور الرمادية[8]

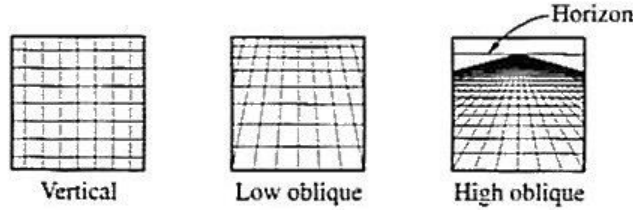
- صور ملونة (Color Image):وتضم ثلاث قنوات أحمر و أخضر و أزرق RGB حيث قيم كل قناة (مصفوفة) تحوي على عناصر تتراوح بين [0, 255] تدل على التدرج اللوني ضمن كل قناة حسب حيث أن كل بيكسل مؤلف من ثلاث مكونات: XR- [0 255] XB- [0 255] XG.- [0 255].



الشكل (6-9): الصور الملونة [8]

أنواع الصور حسب ميلان محور التصوير: وهي ثلاثة أنواع

- الصور العمودية (Vertical image): وهي الصور التي يكون فيها المحور الرئيسي شاقولياً أو قريباً من الشاقول ، وتعتبر الصور عمودية إذا لم يتجاوز ميل المحور الرئيسي لها خمس درجات عن الشاقول.
- الصور المائلة (Oblique image): وهي الصور التي يكون فيها المحور الرئيسي مائلاً عن الشاقول بأكثر من خمس درجات ، لكن خط الأفق لا يظهر على الصورة
- الصور البانورامية (panoramic image): وهي الصور التي يكون فيها المحور الرئيسي مائلاً و يظهر الأفق على الصورة.



الشكل (6-10) الصور حسب ميلان محور التصوير [8]

المراجع العربية:

- 1- اتفاقية اليونسكو لحماية التراث الثقافي والطبيعي التي عقدت في المؤتمر العام في دورة السابعة عشر عام 1972.
 - 2 - المالكي، قبيلة فارس، 2004 - التراث العمراني والمعماري في الوطن العربي. منشورات جامعة بغداد، ص: 12-30.
 - 3- الجهاز القومي للتنسيق الحضاري، 2009- أسس ومعايير التنسيق الحضاري للمباني والمناطق التراثية. وزارة الثقافة، القاهرة، ص: 50-64.
 - 4- رمضان، محمود، 2002 - الاستخدام الأمثل للصور الفضائية والجوية في إدارة المشاريع الهندسية في سوريا، منشورات جامعة حلب، حلب - سوريا
 - 5- الخليل، د. عمر، ديب، د. فايز، 2012: توثيق المنشآت الأثرية باستخدام النمذجة ثلاثية الأبعاد متعددة الصور، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية المجلد الثامن والعشرون - العدد الثاني، ص 91-95
 - 6- الخليل، محمد، 2002-المسح الضوئي الليزري الثلاثي الأبعاد في توثيق التراث المعماري، مجله هندسة المساحة، عدد 12، منشورات نقابة المهندسين، حلب-سوريا، ص: 40-43
 - 7--حسن. محمد، قطيني. حازم، كامل. طارق، 2011: استخدام الماسح الليزري في توثيق خان الشونة بمدينة حلب، مجله هندسة المساحة، عدد 28، منشورات نقابة المهندسين، حلب-سوريا، ص: 98-101
 - 8- بشير، بشار، 2006- تطوير خوارزمية لتحسين الدقة التمييزية للصور الرقمية، قسم الهندسة الطبوغرافية كلية الهندسة المدنية، مجله هندسة المساحة، عدد 5، منشورات نقابة المهندسين، حلب-سوريا، ص: 33-38
- المراجع الأجنبية:

9-SCHERER M. , 2002-ABOUT THE SYNTHESIS OF DIFFERENT METHODS IN SURVEYING. PROCEEDINGS OF XVIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF CIPA, POTSDAM, GERMANY.

10 - INTERNATIONAL WORK SHOP OF SCANNING FOR CULTURE HERITAGE RECORDING, SEPT2002, PROCEEDING OF CIPA WG6 ' CORFU, GREECE.

- 11 -HICHRI N., STEFANI C., DE LUCA L., VERONA P., 2013- **3D VIRTUAL RECONSTRUCTION AND VISUALIZATION OF COMPLEX ARCHITECTURES**. INTERNATIONAL ARCHIVES OF REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, VOLUME XL-5/W., TRENTO – ITALY.
- 12- MÜLLER P., VEREENOGHE T., WONKA P., 2006- **PROCEDURAL 3D RECONSTRUCTION OF PUUC BUILDINGS IN XKIPCHÉ** . THE 7TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, ARCHAEOLOGY AND CULTURAL HERITAGE, ARIZONA ,STATE UNIVERSITY.
- 13 -PENARD L., PAPANODITIS N., PIERROT-DESEILLIGNY M., 2005- **3D BUILDING FACADE RECONSTRUCTION UNDER MESH FORM FROM MULTIPLE WIDE ANGLE VIEWS**. ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY , REMOTE SENSING AND, VOL. 36(5/W17), VENICE, ITALY .
- 14-SCHINDLER K., BAUER J., 2003: **A MODEL-BASED METHOD FOR BUILDING RECONSTRUCTION**. ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND, VOL. 36(5/W17), VENICE, ITALY .
- 15 - AKBAYLAR M., HAMAMCIOĞLU.,TURAN , 2007 - **DOCUMENTATION OF A VERNACULAR HOUSE WITH CLOSE-RANGE DIGITAL PHOTOGRAMMETRY**. INTERNATIONAL CIPA SYMPOSIUM, ATHENS, GREECE.
- 16 -GRUSSENMEYER P., GUILLEMIN S. 2009 - **PHOTOGRAMMETRY AND LASER SCANNING IN CULTURAL HERITAGE DOCUMENTATION**. COMPUTER SCIENCES AND REMOTE SENSING LABORATORY ,PHOTOGRAMMETRY AND GEOMATICS GROUP, INSA STRASBOURG
- 17-POLLEFEYS M. 2009 - **VISUAL 3D MODELING FROM IMAGES**. UNIVERSITY OF NORTH CAROLINA, CAROLINA, USA
- 18- HANKE K., GRUSSENMEYER P. 2002 - **ARCHITECTURAL PHOTOGRAMMETRY: BASIC THEORY, PROCEDURES, TOOLS**. ISPRS COMMISSION TUTORIAL, CORFU, GREECE
- 19-KUKOLJ D., MIHAJLOVIC D., 2009, **EXPERIENCES AND PROCEDURES ON MAKING TECHNICAL DOCUMENTATION FOR THE OBJECTS OF HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE**. UNIVERSITY OF BELGRADE, SERBIA

20-ANDRÉ F., FRANK A., 2008- **POTENTIAL AND LIMITATION FOR THE 3D DOCUMENTATION OF CULTURAL HERITAGE FROM A SINGLE IMAGE.** FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND GEOSCIENCES, SECTION OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, DELFT

21- DE LUCA L., 2009- **LA PHOTOMODELISATION ARCHITECTURALE : RELEVÉ, MODELISATION, REPRESENTATION D'ÉDIFICES À PARTIR DE PHOTOGRAPHIES.** GROUPE EYROLLES, FRANCE.

22- MORENO F., 2008- **PHOTOMODELING OF THE FOUNTAIN IN THE SAINT-JEAN CLOISTER.** ARCHITECTURAL IMAGE-BASED-MODELING WEB PORTAL. COPYRIGHT 2009 UMR CNRS/MCC 694 MAP-GAMSAU

23-BERNARDINI F., RUSHMEIER H., MARTÍN I.M., MITTLEMAN J., AND TAUBIN G., 2002- **BUILDING A DIGITAL MODEL OF MICHELANGELO'S FLORENTINE PIETA.** IEEE COMP. GRAPH. AND APPLIC, FRANCE

24- PIERROT M., CLERY I., 2009: **APERO, AN OPEN SOURCE BUNDLE ADJUSTMENT SOFTWARE FOR AUTOMATIC CALIBRATION AND ORIENTATION OF SET OF IMAGES.** INVARIANT KEYPOINTS INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER VISION, VOLUME 60, NUMBER 2, PP 91-110, FRANCIS, LONDON.

25-BÖHLER W., MARBS A., 2004- **A COMPARISON OF 3D SCANNING AND PHOTOGRAMMETRY FOR GEOMETRIC DOCUMENTATION IN CULTURAL HERITAGE.** FACHHOCHSCHULE MAINZ, PAGES 86, GERMANY.

26-ADEL HADDAD, N., 2010- **FROM GROUND SURVEYING TO 3D LASER SCANNER: A REVIEW OF TECHNIQUES USED FOR SPATIAL DOCUMENTATION OF HISTORIC SITES.** DEPARTMENT OF CONSERVATION SCIENCE, QUEEN RANIA INSTITUTE OF TOURISM AND HERITAGE, JORDAN

27- JONES, D., 2007- **3D LASER SCANNING FOR HERITAGE,** ENGLISH HERITAGE PUBLISHING. NEW CASTLE UNIVERSITY, ENGLAND

28-international work shop of scanning for culture heritage recording, septembr 2002, Proceeding of cipa wg6, corfu, greece

30-PIERROT M., DE LUCA L., 2012 - **AUTOMATED IMAGE-BASED PROCEDURES FOR ACCURATE ARTIFACTS 3D MODELING AND ORTHOIMAGE GENERATION ARCHAEOLOGICAL EXCAVATION.** XXII ISPRS CONGRESS, MELBOURNE,

AUSTRALIA

31-EVOYM.,2002- **THE DIGITAL MICHELANGELO PROJECT: 3D SCANNING OF LARGE STATUES.** ISPRS COMMISSION TUTORIAL, CORFU, GREECE.

32- AGUILERA G., LAHOZ J., 2008- **LASER SCANNING OR IMAGE-BASED MODELING? A COMPARATIVE THROUGH THE MONETIZATION OF SAN NICOLAS CHURCH.** PROC.OF INTERNATIONAL WORKSHOP ON RECREATING THE PAST -VISUALIZATIONAND ANIMATION OF CULTURAL HERITAGE, AYUTTHAYA, THAILAND.

32-BRIESE CH., PFEIFER N., 2009- **APPLICATIONS OF THE ROBUST INTERPOLATION FOR DTM .**INSTITUTE OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,PE 27-29,VIENNA, AUSTRIA.

33- TUCCI G., BONORA V., NOBILE A.,2009- **INNOVATIVE SURVEY ETHODS FOR THE DIGITAL DOCUMENTATION OF VERNACULAR ARCHITECTURAL HERITAGE IN SYRIA.**UNIVERSITY OF FLORENCE, DEPT. OF RESTORATION AND CONSERVATION OF ARCHITECTURAL HERITAGE, 50121 FLORENCE, ITALY

المواقع:

34-TTP://WWW.PHOTOMODELER.COM/PRODUCTS/PHOTOMODELER/ABOUT
_CAMERAS.HTM

35-WWW.TRIMBLE.COM

36- www.rollie.org

Abstract

It is an indisputable reality that the most important step for transmitting cultural heritage to posterity is a sensitive documentation. Up to the present there have been many developments in documentation of cultural heritage by developing technology, and contemporary documentation techniques have progressed speedily. In time, modern methods have become preferable to conventional methods in architecture generally, in the existent state and in preparation of 3D measured drawing projects of historical edifices. Digital and 3D data, rich visual images obtained by digital close-range photogrammetry and 3D scanner projects. because, these methods supply much ease, precision and time-saving in measured drawing projects when compared with conventional methods .so ,this paper provide a definition of the most development methods in architectural and archaeological documentation using three-dimensional modeling ,and define the best method for the architect to obtain 3D model for any historical building or monument.

University of Aleppo
The Faculty of Architect
Department of Rehabilitation Of Islamic City



Architectural and Archaeological Documentation using Three-dimensional Modeling

Thesis submitted for master degree in rehabilitation of Islamic city

Prepared by
Eng. Riham Eiad Akili

Supervised by
Dr. Lamis Herbly Dr. Hasan Jbrimi

Sep.2013

University of Aleppo
The Faculty of Architect
Department of Rehabilitation Of Islamic City

Architectural and Archaeological Documentation using Three-dimensional Modeling

Thesis submitted for master degree in rehabilitation of Islamic city

Prepared by
Eng.Riham Eiad Akili

Sep.2013