النمذجة الإجرائية ثلاثية الأبعاد للمدن في بيئة أنظمة المعلومات الجغرافية باستخدام ESRI CityEngine

د.م. حنان كامل درويش * د.م. فادي عزالدين شعبان **

الملخص

تمثل أنظمة المعلومات الجغرافية (GIS) واحدة من أهم تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد للمدن، والتي أصبحت مهمة جداً وضرورية لتمثيل المدن المعاصرة وإجراء التحليلات المختلفة، بهدف إيجاد الحلول للمشاكل المطروحة ضمن إطار نموذج افتراضي للواقع. بالإضافة لدور الـ 3D– GIS الكبير في التخطيط العمراني وتنظيم المدن. على الرغم من وجود عدد كبير من البرامج القادرة على التعامل مع الكائنات ثلاثية الأبعاد، غير أن الكثير من هذه التطبيقات يحتاج إلى تقنيات عالية وأدوات متطورة من أجل تمثيل وتحليل الكائنات بالأبعاد الثلاثة. تتميز كائنات النماذج ثلاثية الأبعاد الممثلة في الـ (GIS) بارتباطها بمجموعة من البيانات الوصفية التي يتم استدعاؤها بسهولة، وهذا ما لا يتوفر في برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد الأخرى. يهدف البحث المقدم إلى تسليط الضوء على أهمية النمذجة الإجرائية ثلاثية الأبعاد للمدن في بيئة الـ GIS باستخدام البرنامج (ESRI CityEngine). سنقدم مجموعة من قواعد التوليد المعماري (CGA) المبرمجة بلغة النمذجة الإجرائية لتوليد مجموعة من النماذج الواقعية ثلاثية الأبعاد القادرة على تمثيل كافة عناصر المدن وبناها التحتية، ومن ثم تصدير كافة الكائنات إلى موقع ويب يسمح بخلق منصة واحدة شاملة تمثل نظام لدعم اتخاذ القرار وتسهيل إدارة المشاريع المتعلقة بإدارة المدن. سيتم التطبيق في محافظة طرطوس وذلك من خلال تصميم ونمذجة منطقة سكنية مقترحة، وتشمل الدراسة تطبيق قواعد البرمجة الإجرائية لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد لهذه المنطقة تُظهر أهمية استخدام أنظمة المعلومات الجغرافية في نمذجة وتمثيل المدن.

الكلمات المفتاحية: GIS، النمذجة ثلاثية الأبعاد، النمذجة الإجرائية، CityEngine،CGA ، مشهد ويب.

* مدرس في قسم الهندسة الطبوغرافية –كلية الهندسة المدنية –جامعة البعث – حمص – سورية.

** مدرس في قسم الهندسة الطبوغرافية –كلية الهندسة المدنية –جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

Procedural 3D Modeling of Cities in Geographic Information Systems Environment Using ESRI Cityengine

Dr.Eng. Hanan DARWISHE* ****Dr.Eng Fadi CHAABAN**

Abstract

Geographic Information Systems (GIS) present one of the most important 3D modeling techniques of cities, which has become a very important and necessary for representing of contemporary cities, and doing different analyses, with the aim of finding solutions to the problems raised through a virtual model of reality. In addition, 3D GIS play an important role in urban planning. Despite the presence of a large number of programs capable of dealing with 3D objects, many of these applications require high technologies and advanced tools for the representation and analysis of 3D objects. The objects of 3D models represented in GIS can be associated with a set of queryable attributes, and this is not available in other 3D modeling software. This Research aims to highlight the importance of procedural 3D modeling of cities in GIS environment using ESRI CityEngine. A set of CGA (computer generated architecture) rules - programmed by procedural modeling language in CityEngine- will be presented to generate realistic 3D models that can represent all elements of cities and its infrastructure. Then, all the objects will be exported to a Web Scene viewer, which allows the creation a comprehensive platform to present a system to support decision-making, and facilitate project management related to the management of cities. The research methods will be applied to Tartous governorate through designing and modeling of proposed residential area. This study will include CGA rules applied to create a 3D model of proposed area, it will show the importance of GIS in modeling and representation of cities.

Key Words: GIS,3D modeling, Procedural modeling, CityEngine, CGA, WebScene

* Assistant Professor, Department of Topographical Engineering, Faculty of Civil Engineering, AlBaath University, Homs, Syria.

** Assistant Professor, Department of Topographical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

1 مقدمة

في وقتنا الحاضر، أصبحت النمذجة ثلاثية الأبعاد للمدن رائجة جداً، ووفقاً لذلك هناك دائماً حلول جديدة لجعل هذه العملية تتم بشكل أسرع وأرخص. والسبب في تزايد شعبية النمذجة (3D) للمدن هو المجموعة الواسعة لمجالات استخدام نماذج المدن (3D)، والتي يمكن استخدامها ليس فقط لأغراض البحث والتعليم في مجال التخطيط العمراني والتصميم وتنظيم المدن، ولكن أيضاً في الواقع الافتراضي وصناعة الأفلام والألعاب [1]، ولأغراض السياحة والرحلات الافتراضية، كما في أنظمة الملاحة، أنظمة النقل الذكية وفي نمذجة الضوضاء.... الخ. بالإضافة إلى وجود عدد كبير من المشكلات المكانية غير القابلة للحل إلّا من خلال تمثيلها ونمذجتها بالأبعاد الثلاثة.

يوجد عدد كبير من البرامج القادرة على التعامل مع مجموعة واسعة من المشاكل المكانية، ابتداءً من المنهجيات البسيطة المستخدمة في وصف الكائنات المكانية وعلاقتها مع بعضها البعض وانتهاءً بالتحليلات المعقدة جداً والنمذجة ثلاثية الأبعاد. ومع ذلك، الكثير من هذه التطبيقات تحتاج إلى أدوات متطورة من أجل تمثيل وتحليل الكائنات بالأبعاد الثلاثة [2]. من بين جميع أنواع أنظمة التعامل مع المعلومات المكانية، أثبتت أنظمة المعلومات الجغرافية أنها الأكثر تطوراً وأنها تمتلك القدرة على التعامل مع مجموعة كبيرة من البيانات الجغرافية (الرسومية والوصفية) وعلى نطاق واسع، بالإضافة إلى قدرتها العالية على الربط بين الكائنات الجغرافية وتوفير وسائل لتحليلها [2]. يشهد مجال نظم المعلومات الجغرافية حالياً تحولاً كبيراً في تكنولوجيا العرض الثلاثي الأبعاد، خصوصاً مع قدوم أجهزة كمبيوتر أكثر قوة من أي وقت مضى. إنّ أفضل طريقة لنمذجة المدن الكبيرة وكافة محتوياتها، في وقت قصير، وبتكلفة منخفضة هي النمذجة الإجرائية القائمة على استخدام القواعد والخوارزميات لإنشاء النماذج (3D) [3]. تُستخدم النمذجة الإجرائية في برنامج (ESRI CityEngine) لإنشاء وخلق نماذج للمناطق الحضرية اعتماداً على مجموعة من القواعد التي تدعى قواعد التوليد المعماري ضمن الكمبيوتر CGA (Computer Generated Architecture). CGA هي لغة برمجية نصية مناسبة لتوليد الكائنات المعمارية بالأبعاد الثلاثة[1]. أظهرت الدراسات السابقة ميزات البرنامج (CityEngine) في نمذجة المدن.

حيث قام عدد من الباحثين باختبار قدراته في النمذجة الإجرائية وفي توليد نماذج ثلاثية الأبعاد واقعية لكتل المباني في الحرم الجامعي، حيث قام [4] بتمثيل تجمع الكليات لجامعة (Jaume I) في إسبانيا، وتوصل إلى أن البرنامج قوي جداً في النمذجة ثلاثية الأبعاد انطلاقاً من بيانات ثنائية البعد (2D). وكذلك عمل [5] على نمذجة الحرم الجامعي في إحدى جامعات الهند اعتماداً على التصوير الرقمي والنمذجة الإجرائية في الـ (CityEngine)، واستنتجوا أن هذه الطريقة سهلة جداً لخلق (3D) واقعي لأي حرم جامعي أو كليات تعليمية، وأن هذا الأسلوب هو أيضاً مناسب جداً لنمذجة أي منطقة حضرية، حيث كان التوفير في التكلفة والوقت من أهم مزايا هذه الطريقة. اختبر[6] أيضاً النمذجة الإجرائية لتمثيل ونمذجة المباني الريفية في بلدة تقع جنوب ميونخ وكانت النتائج واعدة. قام [7] بإظهار قدرة النمذجة الإجرائية على توليد نماذج عشوائية للأبنية استناداً إلى مجموعة من البيانات الجغرافية. وعمل [8] على اختبار برنامج الـ (CityEngine) كأداة لعرض بيانات السجل العقاري، وتبين معهم بأن استخدام النمذجة القائمة على القواعد توفر وسيلة فعالة لبناء نماذج هندسية ذات نسيج محدد، بدلاً من الاعتماد على العمل المتعب والكثيف للنمذجة اليدوية.

2 هدف البحث وأهميته

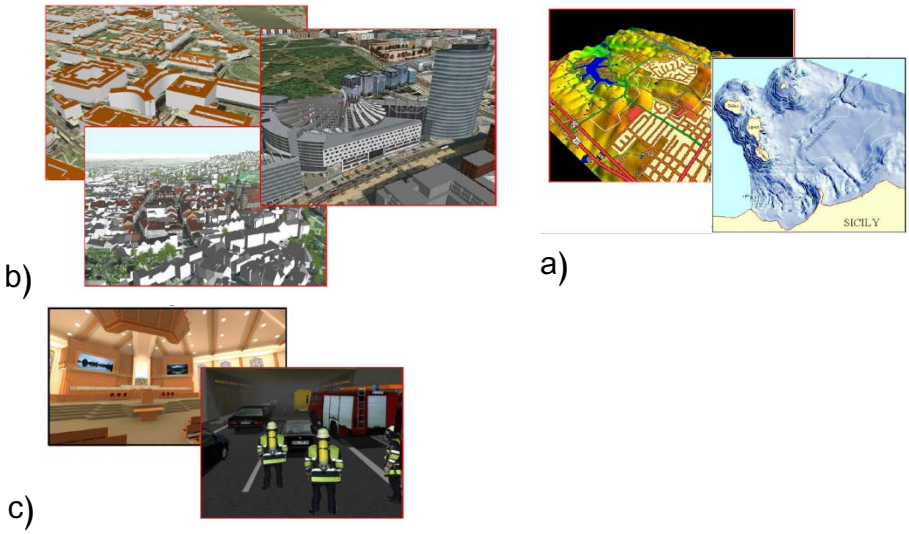
الهدف الرئيسي من هذه الورقة البحثية هو اختبار النمذجة الإجرائية في تمثيل المدن بالأبعاد الثلاثة وإظهار أهميتها وقدرتها على محاكاة الواقع. بالإضافة إلى إنشاء مكتبة للكائنات الممثلة للعناصر الأساسية للمدن (الأبنية، المحلات التجارية، الطرق، الحدائق، أعمدة الإنارة، ... وغيرها من البنى التحتية)، وذلك من خلال برمجة مجموعة من قواعد التوليد المعماري (CGA)، بحيث يمكن إعادة استخدام هذه القواعد في نمذجة المدن والاعتماد عليها وتغيير البعض من خصائصها من قبل مستخدمين آخرين بما يتناسب مع الحالة الخاصة بهم. والمقصد من ذلك هو أيضاً التعرف إلى البرنامج (CityEngine) ومعرفة إمكانياته وقدرته الكبيرة في توليد نماذج الـ (3D) "لمدينة حقيقية". وذلك انطلاقاً من مجموعة من البيانات المتوفرة (بيانات نظم المعلومات الجغرافية (2D) التقليدية) والمخزنة في قاعدة البيانات الجغرافية (Geodatabase File).

تكمن الأهمية الخاصة للبحث في توفير أدوات ذات كفاءة عالية للمساهمة في إدارة إعادة الإعمار في سورية والتي تعتبر من أهم التحديات التي يواجهها أصحاب القرار العاملين في هذا المجال، ويتمثل التحدي بأداء هذه المهمة بطريقة اقتصادية وفعالة. وتعتبر عملية اتخاذ القرار عند إعادة بناء منطقة واسعة النطاق عملية معقدة وتتطلب التعامل مع كمية هائلة من البيانات وتحليل السيناريوهات المختلفة واختيار المناسب منها. حيث يمكن تطبيق المنهجية المتبعة في البحث والاستفادة منها لبناء نظام دعم قرار ذكي قادر على إدارة عملية إعادة الإعمار في سورية، يساعد على ربط الخطط بالواقع العملي ويسهل اتخاذ القرار وإدارة المشاريع وتنفيذها بدقة واحترافية، كل ذلك من خلال بناء قاعدة بيانات (3D) شاملة نستطيع من خلالها تمثيل ونمذجة المدن افتراضياً.

3 مواد وطرائق البحث

3.1 النماذج ثلاثية الأبعاد

يمكننا تصنيف النماذج ثلاثية الأبعاد إلى ثلاثة أنواع [9]: نماذج بمقياس صغير (Small Scale Models) كالنماذج الرقمية للتضاريس (DEM) بأشكال تخزينها المختلفة كخطوط التسوية (Contours) والصيغة المصفوفية (GRID) أو في شبكة مثلثات (TIN) والمستخدمة في التحليل الطبوغرافي (كحساب الانحدارات وخطوط الرؤية...الخ). نماذج بمقياس متوسط (Medium Scale Models) وتكون على مستوى المدن في تمثيلها وتستخدم في تخطيط المدن وتصميمها وفي عمليات الاستجابة السريعة لحالات الطوارئ. وأخيراً نماذج بمقياس كبير (Large Scale Models)، وتكون على مستوى البناء والغرف وتستخدم في تصميم الديكور وبعض التحليلات وألعاب الفيديو (الشكل 1).



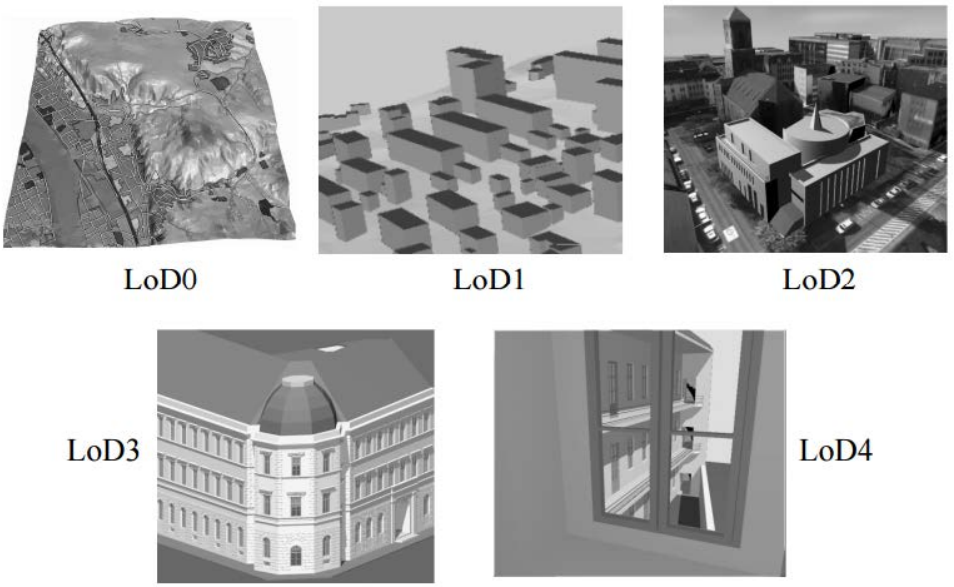
الشكل 1: أنواع النماذج ثلاثية الأبعاد: نماذج بمقياس صغير(a)، مقياس متوسط (b)، وكبير (c)

كما تقسم النماذج ثلاثية الأبعاد حسب مستوى التفاصيل (LOD = Level of Detail) إلى خمسة مستويات [10] (الشكل 2):

المستوى 0 من التفاصيل (LOD 0): وتتمثل بالنماذج ذات المقياس الصغير وتكون على مستوى الإقليم ويطلق عليها أيضاً نماذج ذات بعدين ونصف (2.5 D).

المستويات 1,2,3 من التفاصيل (LOD 1, LOD 2, LOD 3): وتتمثل بالنماذج ذات المقياس المتوسط، المستوى 1 من التفاصيل (LOD 1) يسمح بتمثيل الأبنية ككتل من خلال بثقها حسب ارتفاعها دون أي تفاصيل خارجية للمبنى، المستوى 2 من التفاصيل (LOD 2) يمثل المستوى السابق من التفاصيل ويضاف عليه نسيج المبنى الخارجي وبنية السقف، يمكن من خلال المستوى 3 من التفاصيل (LOD 3) تمثيل المباني مع أدق التفاصيل الموجودة على الواجهات.

المستوى 4 من التفاصيل (LOD 4): وتتمثل بالنماذج ذات المقياس الكبير والتي تختص بالتصميم الداخلي للشقق ونمذجة الكائنات الموجودة فيها.



الشكل 2: أنواع النماذج ثلاثية الأبعاد حسب مستوى التفاصيل (LOD = Level of Detail) (المصدر: [10])

تم تطوير عدد كبير من تقنيات التمثيل ثلاثي الأبعاد للمدن، حيث يوجد طرق سريعة لتكوين أبنية ثلاثية الأبعاد اعتماداً على الصور الحقيقية لهذه الأبنية، لكن هذه الطريقة محدودة الاستخدام وذلك لنقص الدقة المكانية للتفاصيل، على الرغم من أنها تعطي مظهر واقعي للمدن ولكنها غير مناسبة للتحليل المكاني ثلاثي الأبعاد.

بعض الطرق تعتمد على إنشاء الأبنية ثلاثية الأبعاد بدقة وبشكل منفرد أي كل مبنى لوحده، لكن هذه الطريقة تقريباً مستحيلة إذا كان الهدف إنشاء مدينة من 20000 بناء أو أكثر. كما توجد أيضاً طرق بديلة تعتمد على صور الاستشعار عن بعد عالية الدقة، مثل صور الليزر (LIDAR) لتحديد ارتفاع الأبنية، حجمها ومكانها، ومن ثم تستخدم الأتمتة لجعل إنشاء المدن الكبيرة حقيقي وممكن، ولكن هذه الطريقة ذات كلفة عالية مقارنةً مع غيرها من الطرق.

من هنا تأتي أفضلية استخدام النمذجة الإجرائية والتي تمكن من خلق المدن بالأبعاد الثلاثة افتراضياً ضمن جهاز الكمبيوتر، بوقت قصير وبفعالية.

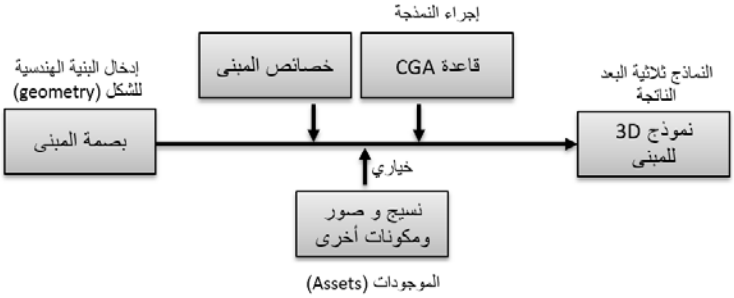
3.2 النمذجة الإجرائية (Procedural Modeling) وقواعد التوليد المعماري (CGA)

سنقدم في هذا القسم مفاهيم النمذجة الإجرائية بالتعرف على قواعد التوليد المعماري (CGA) المُعتمدة على قواعد الشكل (shape grammar)، والتي يمكن أن نعرفها بأنها لغة برمجة تمكن من توليد مكونات معمارية (3D) [11]. يستخدم برنامج (CityEngine) نهج النمذجة الإجرائية لتوليد النماذج تلقائياً أو بشكل أتوماتيكي من خلال مجموعة من قواعد التوليد المعماري المبرمجة مسبقاً. يتم تعريف وبرمجة هذه القواعد من خلال نظام يعتمد على قواعد الشكل ويمكّن من تشكيل وخلق نماذج معقدة ذات معاملات يمكن تغييرها.
أول من طبق فكرة استخدام قواعد الشكل لبناء نماذج (3D) للمدن الباحثان (Parish & Müller) [1] حيث قاما عام 2001 بتنفيذها على بيانات ثنائية البعد (2D) من أجل تحويلها إلى شكل ثلاثي الأبعاد (3D) وإكسائها بنسيج محدد، وبيّنوا كيفية وإمكانية نمذجة مدينة كاملة بعدة دقائق دون الحاجة لنمذجة كل مبنى على حدا.
فكرة النمذجة قائمة على القواعد التي يتم تنعيم التصميم فيها بشكل متكرر من خلال خلق المزيد من التفاصيل في كل مرة. ويوضح (الشكل 3) آلية تطبيق قاعدة CGA على بصمة مبنى: على الجانب الأيسر يظهر الشكل الأولي ثنائي البعد الممثل للمبنى وعلى الجانب الأيمن يتم عرض النموذج المُولّد الناتج عن تطبيق القاعدة، حيث نلاحظ تطور النموذج وزيادة تفاصيله في كل مرة.

الشكل 3: آلية تطبيق قاعدة CGA وتنعيم التصميم بشكل متكرر من خلال خلق المزيد من التفاصيل في كل مرة ([12])

ويمكن تقسيم عملية توليد النموذج ثلاثي الأبعاد إلى مجموعة من الخطوات (الشكل 4)، تبدأ بإدخال الشكل الهندسي لبصمة المبنى المراد عمل النموذج (3D) له، من ثم إدخال خصائص المبنى الأساسية، كإدخال ارتفاع المبنى والطوابق وغيرها من الخصائص. تأتي بعدها عملية تطبيق قاعدة التوليد المعماري المبرمجة مسبقاً للمبنى، والقادرة على تمثيل المبنى وخصائصه الأساسية كتفاصيل الواجهات وإكساؤها مثلاً، وتتم هنا الاستعانة بمجلد

الموجودات (Assets) الحاوي على نسيج وصور ومكونات أخرى تتعلق بالمبنى. ويكون الناتج النهائي تمثيل للمبنى بالأبعاد الثلاثة.



الشكل 4: خطوات توليد نموذج 3D عن طريق النمذجة الإجرائية

ولتوضيح آلية عمل قواعد التوليد المعماري سنأخذ مثال عن كيفية برمجة بناء بسيط من خلال برمجة قاعدة (CGA) بالاعتماد على قواعد التقسيم (split grammar). في البدء يتم تحديد خصائص المبنى في بداية الملف (كما يمكن وضعها في أي مكان من ملف القاعدة): كارتفاع الطابق الأرضي وباقي الطوابق، عرض كل جزء من الواجهة، ارتفاع المبنى، لون جدران الواجهة وإكساؤها .....وغيرها من الخصائص، كما يلي:

```
attr groundfloor_height = 4
attr floor_height = 3.5
attr tile_width = 3
attr height = 11
attr wallColor = "#fefefe"
```

هذه الخصائص سيتم استخدامها في كامل الملف، ويمكن تغييرها من خلال نافذة مستقلة عن ملف القاعدة، تسمح بعملية إدخال هذه الخصائص. أول خطوة في نمذجة أي مبنى هي بثق المبنى حسب ارتفاعه وتشكيل الكتلة الممثلة لحجمه، لإجراء هذه العملية نستخدم عملية الانبثاق (extrude operation) ضمن قاعدة الـ (Lot rule) المبينة فيما يلي:

```
Lot -->
Extrude (height)
Building
```

يتم فيما بعد تقسيم كتلة المبنى إلى واجهة أساسية وواجهات أخرى، تتعلق عملية التقسيم بالمبنى قيد الدراسة، فمن الممكن أن تكون الواجهات مختلفة عن بعضها البعض، وفي هذه الحالة يتم التقسيم حسب عدد الواجهات المختلفة، نستخدم العملية (Component Split Operation) ضمن القاعدة (Building rule) التالية لتقسيم المبنى إلى عناصر (الواجهة الأساسية، الواجهات الأخرى، السقف):

```
Building -->
Comp (f) { front : FrontFacade | side : SideFacade | top: Roof}
```

يتم فيما بعد العمل على كل عنصر من العناصر على حدا، بتقسيمه وزيادة التفاصيل عليه ليكون قادراً على تمثيل الشكل الحقيقي للمبنى. يوضح (الشكل 5) على سبيل المثال كيفية تقسيم الواجهة الأساسية للمبنى إلى طوابق، ومن ثم تقسيم كل طابق إلى أجزاء من الواجهة وكل جزء إلى مكوناته كالجدران، النوافذ والأبواب. وتتم عملية التقسيم من خلال استخدام عملية التقسيم (Split operation) في اتجاه محدد، حيث توضح العبارة التالية كيفية التقسيم إلى طوابق:

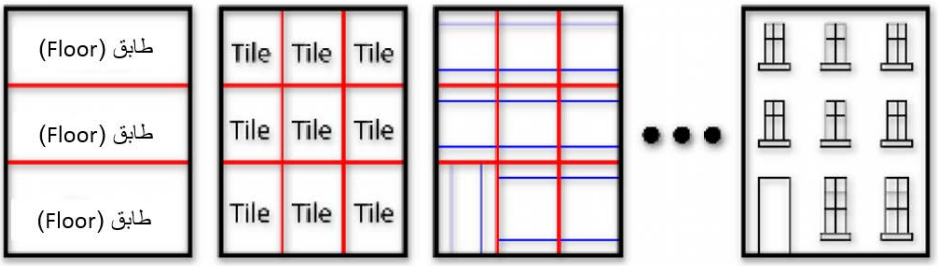
```
FrontFacade -->
Split (y) { groundfloor_height : Groundfloor | { ~floor_height:
Floor }* }
```

وتبين العبارة التالية كيفية تقسيم الطابق الأرضي إلى أجزاؤه الأساسية:

```
Groundfloor -->
Split (x){ 1: Wall |{ ~tile_width: Tile }*| ~tilewidth:
EntranceTile | 1: Wall }
```

أما العبارة التالية فتوضح كيفية تقسيم الجزء الحاوي على الباب:

```
EntranceTile -->
Split (x){ ~1 : SolidWall  | 2 : split(y){ 2.5: Door | ~2:
SolidWall }
| ~1 : SolidWall }
```



الشكل 5: نمذجة واجهة بناء بطريقة CGA بالاعتماد على قواعد التقسيم (split grammar)

3.3 البرنامج (CityEngine)

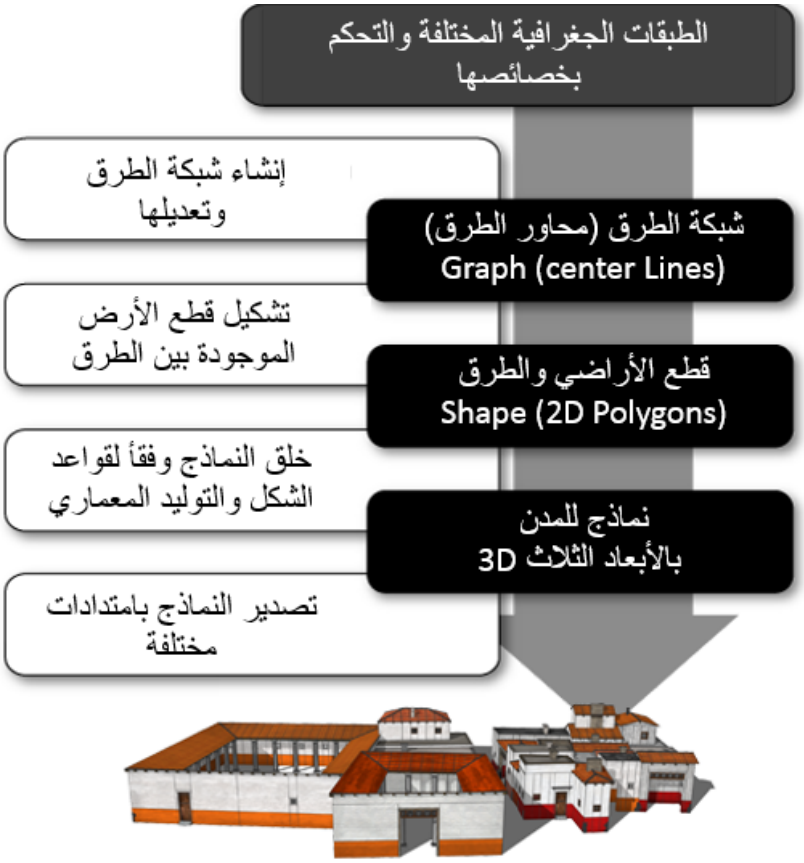
تعتبر ESRI (Environmental Systems Research Institute) (معهد بحوث النظم البيئية) واحدة من أكبر شركات مطوري برمجيات نظم المعلومات الجغرافية والتي خطت في الفترة الأخيرة خطوة كبيرة جداً باتجاه العرض ثلاثي الأبعاد الكامل، وذلك من خلال الحصول على شركة (Procedural Inc) السويسرية والتي تمثل واحدة من الشركات الرائدة في مجال تطوير البرمجيات ثلاثية الأبعاد للمدن.

تم تطوير البرنامج (CityEngine) في المعهد الفدرالي السويسري للتكنولوجيا (ETH Zurich) في زيورخ من قبل مؤلفه الأصلي Pascal Mueller (الشريك المؤسس والرئيس التنفيذي لشركة Procedural Inc). والذي قام خلال بحثه في رسالة الدكتوراه في مخبر المعهد باختراع مجموعة من تقنيات النمذجة الإجرائية 3D للكائنات المعمارية. وقد قام بنشر أول بحث وتقديم أعماله عن النمذجة الإجرائية للمدن في مؤتمر (Siggraph) عام 2001 [1]. وقام بعدها بنشر مجموعة من الأبحاث لتوضيح آلية النمذجة الإجرائية. حيث

قام مع آخرين بنشر بحث عن النمذجة الإجرائية للأبنية [11]، وفي نفس العام تم نشر بحث آخر عن كيفية استخدام قواعد التوليد المعمارية لإعادة بناء موقع أثري تابع لحضارة المايا يحتوي على مباني من الطراز (Puuc-style) في Xkipché، المكسيك [13]، وفي عام 2007 قام بنشر بحث عن النمذجة الإجرائية للواجهات اعتماداً على الصور [14]. في عام 2008 تم إنجاز بحث عن النمذجة الإجرائية التفاعلية للطرق من قبله ومجموعة من الباحثين [15]، وبحث آخر عن النمذجة الهندسية التفاعلية للمدن رباعية الأبعاد حيث قدموا نظام يمكن من خلاله محاكاة نموذج حضري ثلاثي الأبعاد على مر الزمن [16]. وفي نفس العام (2008) تم الإعلان عن البرنامج (CityEngine) لإنشاء مدن (3D) بطريقة سريعة وبسيطة نسبياً باستخدام لغة النمذجة الإجرائية، جنباً إلى جنب مع قواعد الشكل والتقسيم (shape and split grammars) لتوليد المحتوى (3D). في العام 2011 تم الإعلان عن ضم برنامج الـ (CityEngine) إلى مجموعة برامج شركة (ESRI)، كتطبيق هام للنمذجة 3D، يُضاف لتطبيقات الـ (ArcGIS) الأخرى الخاصة بالنمذجة والعرض ثلاثي الأبعاد كـ (ArcScene, ArcGlobe, ArcGIS Pro).

يوضح (الشكل 6) نظرة عامة على منهجية النمذجة ضمن البرنامج (CityEngine). حيث تبيَن الصناديق السوداء أنواع البيانات (الطبقات المختلفة) وتشير المربعات البيضاء إلى العمليات المتبعة لخلقها وإنشائها. عادة، في الخطوة الأولى، يتم إنشاء شبكة الشوارع، ويتم تقسيم الكتل الناتجة بعد ذلك إلى الكثير من الأجزاء لتمثل قطع الأراضي. وأخيراً، يتم إنشاء نماذج 3D للمباني باستخدام القواعد (CGA). ويكون المنتج النهائي من البرنامج هو عبارة عن نماذج أبنية من نوع مضلع (polygonal building models).

يتم تخزين مشهد الـ (CityEngine) على هيئة طبقات من أنواع مختلفة للبيانات التي تمثل المراحل المختلفة. ويجدر الإشارة إلى أن منهجية العمل مرنة ويمكن التدخل في المراحل المختلفة في أي وقت نريده.



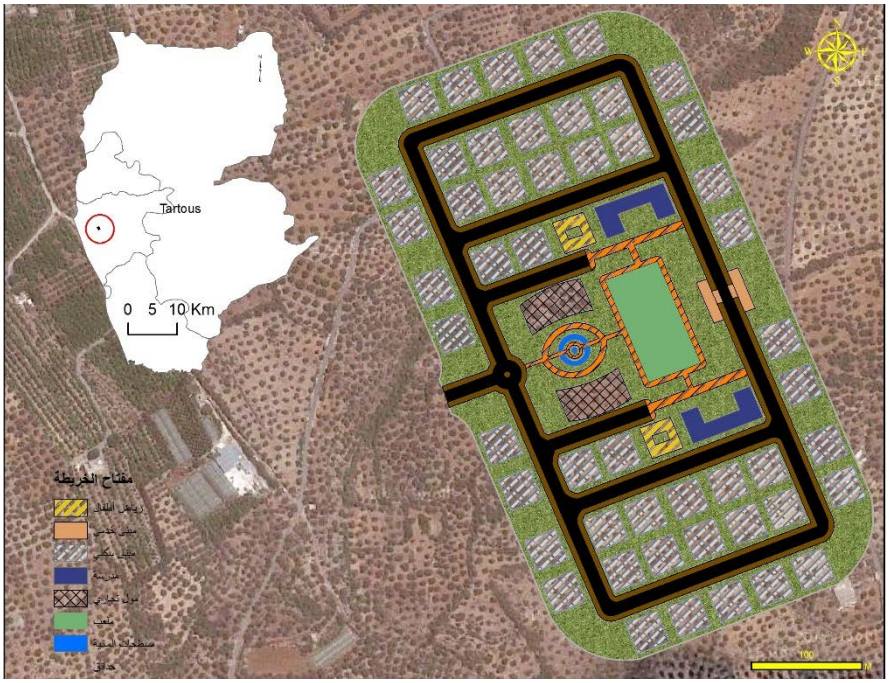
الشكل 6: خطوات نمذجة المدن ضمن برنامج الـ (CityEngine)

4 منطقة الدراسة

تم اختيار منطقة تقع ضمن محافظة طرطوس لإنشاء مجمع سكني عليها، وقد تم مراعاة مجموعة من الشروط في اختيار المنطقة واتباع المنهجية المقترحة في ([17]) والمستندة إلى المنطق الضبابي في اختيار الموقع الأمثل للمجمع. ويمكن استخدام المنهجية المعروضة في البحث والمتبعة في التصميم والنمذجة في أي منطقة، فهي مستقلة عن المكان ومرتبطة بالشكل المعماري للمنطقة المصممة.

تقع المنطقة المقترحة شرق مدينة طرطوس وتمتد على مساحة (163000) متر مربع. يحوي المجمع السكني على 22 كتلة سكنية مؤلفة من أربعة طوابق، 10 كتل سكنية من ستة طوابق، و18 كتلة سكنية من تسعة طوابق، بالإضافة إلى مدرستين وروضتين للأطفال

ومبنى إداري. تضم المنطقة مولات تجارية بمساحة طابقية 3600 متر مربع. وتحتوي على مجموعة من الحدائق، الملاعب والمسطحات المائية. وقد تمت عملية الرسم والتصميم في برنامج الـ (ArcGIS V 10.4)، وقد تم مراعاة مجموعة من القواعد في عملية التصميم كتوزع الخدمات الأساسية: التعليمية، التجارية والترفيهية بطريقة مناسبة للوحدات السكنية. ثم تم بناء قاعدة بيانات جغرافية (Geodatabase)، من خلال تقسيم فراغ المكان إلى مجموعة من الطبقات الأساسية والممثلة للمجمع السكني: الأبنية، شبكة الطرق، المولات، المدارس، رياض الأطفال، الحدائق، الملاعب، المسطحات المائية.... الخ، كما هو موضح في (الشكل 7).



الشكل 7: مسقط أفقي للمجمع السكني المقترح والمصمم ضمن برنامج الـ ARcGIS

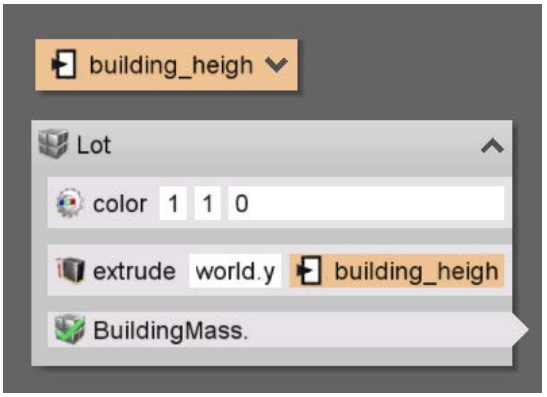
تم اعتماد نظام إحداثيات ميركاتور المستعرض العالمي (UTM) (universal transverse Mercator coordinate system) والمستند إلى الإهليلج (WGS84).

5 مرحلة النمذجة والنتائج

بعد عملية الرسم ثنائي الأبعاد وربط البيانات الوصفية بكل عنصر من عناصر المكان تأتي عملية التمثيل ثلاثي الأبعاد.

في هذه المرحلة تم تصدير قاعدة البيانات إلى برنامج (CityEngine V2016). وبدأت عملية النمذجة الإجرائية مع إنشاء ملفات القواعد. ووفقاً لـ ESRI، "ملف القاعدة هو عبارة عن مجموعة من السمات والوظائف والقواعد". في نسخ برنامج الـ (CityEngine) 2014 وما قبل كان هناك إمكانية لإنشاء ملفات القواعد إما بكتابة الأكواد بشكل نصي أو رسومي كما هو موضح في (الشكل 8)، أما النسخ 2015 و2016 يمكن إنشاء القواعد عن طريق البرمجة النصية فقط.

```
attr building_heigh =20

@startRule
Lot -->
color(1,1,0)

extrude (world.y,
building_heigh)
BuildingMass.
```



الشكل 8: البرمجية المرئية والنصية لقواعد التشكيل المعماري في نسخ برنامج (CityEngine2014) وما قبل

في بداية الملف يجب تحديد كل الخصائص، الثوابت، والوظائف والنسج المختلفة للإكساء، والتي ستكون ضرورية لعملية النمذجة، وتستخدم هذه الخصائص، الوظائف والثوابت للتحكم بالعمليات المحددة في ملف القاعدة وتعمل كمعاملات (parameters) للعمليات المستخدمة في النمذجة. يمكن تعيين قيم هذه المعاملات أو تغييرها من قبل المستخدم، مما يزيد من إمكانياته في السيطرة على عملية النمذجة. وينشأ المنتج النهائي (3D) عن سلسلة من العمليات (مثل البثق (extrusions)، التدوير (rotations)، .... الخ) الموجودة ضمن

ملف قاعدة التوليد المعماري والتي تُطبق على الأشكال ثنائية البعد وتحوّلها إلى كائنات ثلاثية البعد (الشكل 9).

الشكل 9: آلية عمل برنامج (CityEngine)

سنبين فيما يلي القواعد التي تم استخدامها لنمذجة المجمع السكني:

1- الأبنية: تم تمثيلها من خلال ثلاث قواعد مختلفة، لتمثيل الوحدات السكنية، المدارس ورياض الأطفال، المولات التجارية، بالإضافة إلى المبنى الإداري.

وقد تم اختيار نموذج بسيط تقليدي لتمثيل الوحدات السكنية، المدارس ورياض الأطفال، وتم اختيار نسيج النوافذ، الأبواب، وإكساء الجدران من صور حقيقية (الشكل 10).

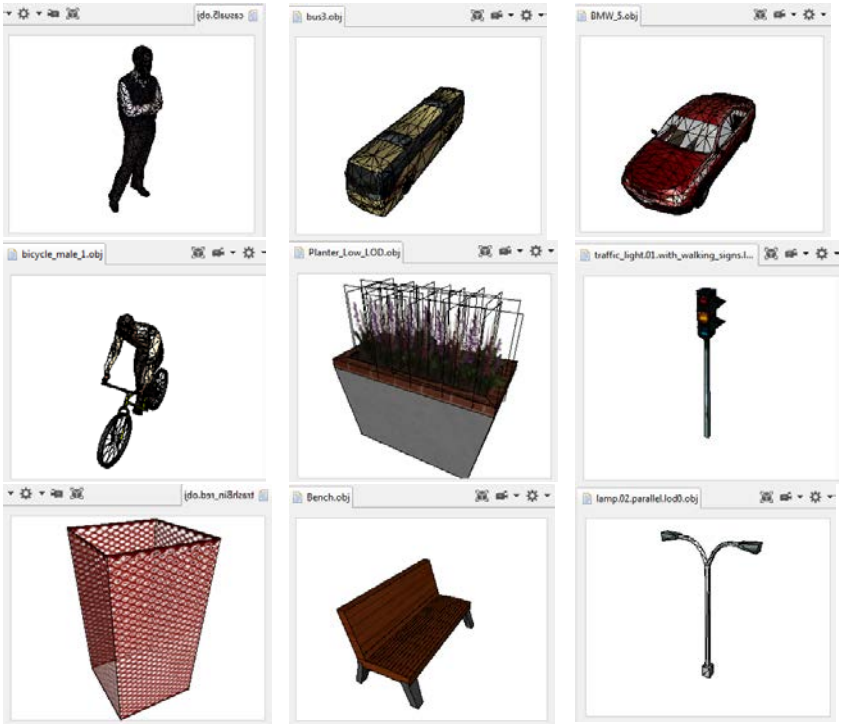
المعاملات التي يمكن تغييرها من خلال القاعدة هي ارتفاع الطابق الأرضي، ارتفاع باقي الطوابق، عرض النوافذ وتباعدها عن بعضها البعض، وارتفاعها عن الأرض، ولون البناء (الشكل 10).

```
/**
 * File:    Building-style1.cga
 * Created: 7 May 2016 23:27:29 GMT
 * Author:  hanan-fadi
 */

version "2016.0"


/* Attributes ***********************************/

@Range(2,6)
attr groundfloor_height = 4
@Range(2,6)
attr floor_height       = 3.5

@Range(1,10)
attr tile_width         = rand(2.5,6)
@Range(3,50)
attr height             = 0
attr wallColor  =
    33% :  "#ffffff"
    33% :  "#999999"
    else :  "#444444"

@Range(LOD0=0,LOD1=1)
attr LOD                = 0
/* Assets ***********************************/

// geometries
const window_asset = "facades/window.obj"

// textures
const frontdoor_tex         = "facades/textures/shopdoor.tif"
const wall_tex              = "facades/textures/brickwall.jpg"
const dirt_tex              = "facades/textures/dirtmap.15.tif"
const roof_tex              = "roofs/roof.tif"
```

الشكل 10: البرمجة الإجرائية لملف قاعدة البناء السكني (صورة يمينية)، نسيج النوافذ، الأبواب، وإكساء الجدران من صور حقيقية (صورة يسارية)

2- شبكة الطرق، الأرصفة، السيارات وأعمدة الكهرباء تم نمذجتها من خلال قاعدة واحدة. حيث تمت الاستعانة بقاعدة قياسية مبرمجة من قبل شركة (ESRI) لتمثيل شبكة الطرق، وتم تعديلها بما يتناسب مع بياناتنا. يعالج البرنامج شبكة الكائنات الخطية على أنها طرقات دوماً ويعطي إمكانية اختيار عرض الطريق، عرض الحارات، عرض الرصيف اليساري واليميني. ومن ثم عند تطبيق القاعدة الخاصة بالطرق يتم اختيار إكساء الطريق والإشارات الطرقية، المنصفات، أعمدة الإنارة، المقاعد، سلات المهملات، مواقف للسيارات طولية أو عرضية، مواقف وحارات للباصات، حارات خاصة بالدراجات. بالإضافة لإمكانية تمثيل الناس، السيارات،

الدراجات والباصات بالكثافة التي نريدها، ويبين (الشكل 11) عينات من كائنات ثلاثية الأبعاد مخزنة بامتداد (.obj) تم استخدامها واستدعائها ضمن ملف القاعدة لإجراء عملية النمذجة الكاملة للطرق وكافة مكوناتها.



الشكل 11: مجموعة من الكائنات ثلاثية الأبعاد (.obj) والتي تم استخدامها ضمن ملف قاعدة الطرق

3- قاعدة لتمثيل الحدائق وما تحويه من أشجار، عشب، أزهار، وممرات للمشاة. وفيما يلي بعض الأسطر البرمجية المبينة لأهم الخصائص الممكن تغييرها فيما بعد من قبل المستخدم مثل نوع المساحة الخضراء، ارتفاع أرصفة الحدائق، واتجاه الممرات ضمن الحدائق.

```
# خصائص المساحات الخضراء
@Group("MODEL OPTIONS",0) @Order(1)
@Range("Formal","Natural")
attr Green_Space_Type = "Formal"
@Group("MODEL OPTIONS") @Order(2) @Range(0, 0.2)
attr Sidewalk_Height_Match = 0.2
```

```
# خصائص الممرات --------
@Group("PATHWAYS",1) @Order(1) @Range(10,50)
attr Unit_Width = 15
@Group("PATHWAYS") @Order(2) @Range(0,180)
attr Rotation = 0
```

4- المياه تم تمثيلها باللون الأزرق من خلال قاعدة بسيطة لتغيير اللون مبينة في الأسطر البرمجية التالية:

```
/**
 * File:    color.cga
 * Created: 29 Jul 2016 19:47:36 GMT
 * Author:  hanan-fadi
 */
version "2016.0"
attr color  = "#4444ff "
@StartRule
water -->
color (color)
```

5- ملعب كرة القدم تم تمثيله بقاعدة مستقلة، وبالاعتماد على نسيج من صورة حقيقية لملعب فعلي لإعطائه مظهر حقيقي. وتبين الأسطر البرمجية التالية جزء من القاعدة الخاصة بتحديد خصائص الملعب من الاتجاه، ارتفاع وطول وعرض المرمى، وعدد كرات القدم الموجودة في الملعب، بالإضافة لتحديد الملفات الحاوية على الصورة التي سيتم الاعتماد عليها كنسيج للملعب، الكائن ثلاثي الأبعاد الذي سيمثل مرمى كرة القدم، ومجسم كرة القدم (الشكل 12).

```
attr Orientation_Change = false
attr Goal_Width = 6
attr Goal_Height = 2
attr Goal_Depth = 2
attr Number_Balls = 7
soccerFieldTex = "assets/soccerField/soccerField.jpg"
goalAsset = "assets/soccerField/soccerGoal.obj"
Ball = "assets/soccerField/Ball.obj"
```

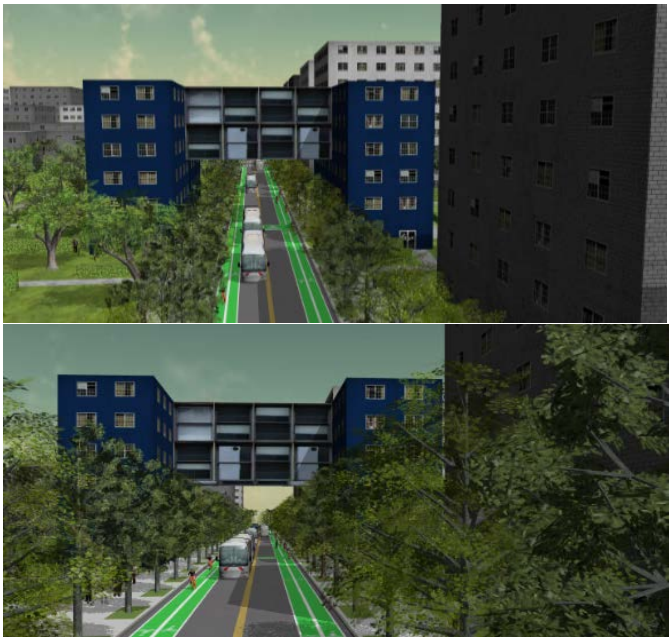
الشكل 12: الصورة الممثلة لنسيج للملعب، الكائن ثلاثي الأبعاد الممثل لمرمى كرة القدم، ومجسم كرة القدم

النتيجة النهائية للعمل هي نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) للمجمع السكني المقترح (الشكل 13). يشمل هذا النموذج المباني، شبكة الشوارع، الحدائق، الملاعب، والأشجار، المسطحات المائية، بالإضافة لنماذج ممثلة لأشخاص وسيارات لجعل النموذج أكثر واقعية.

الشكل 13: مشهد يبين كامل النموذج ثلاثي الأبعاد للمجمع السكني المقترح ضمن برنامج الـ (CityEngine)

ويبين (الشكل 14)، (الشكل 15)، (الشكل 16) ثلاثة أنماط مختلفة من التصميم المعماري للمباني: المول التجاري، المبنى الإداري والمباني السكنية، ويبين المشهد في (الشكل 17) الملعب والمولات التجارية.

الشكل 14: مشهد يبين طراز المول التجاري ضمن النموذج ثلاثي الأبعاد



الشكل 15: مشهد يبين طراز المبنى الإداري للمجمع السكني المقترح ضمن النموذج ثلاثي الأبعاد

الشكل 16: مشهد يبين طراز المباني السكنية ضمن النموذج ثلاثي الأبعاد

الشكل 17: مشهد يبين الملعب و المولات التجارية ضمن النموذج ثلاثي الأبعاد

تم مصادفة مجموعة من المشاكل أثناء عملية النمذجة وذلك عند تطبيق القواعد على الأشكال ثنائية البعد. على سبيل المثال، تم إنشاء العديد من الأبواب للمبنى الواحد وعلى واجهة خاطئة، كانت بعض المباني غير متطابقة مع شبكة الشوارع المستوردة، تم إنشاء نوافذ وأبواب عند تقاطعات المباني، وقد تم حل هذه المشاكل وتصحيح النماذج.

المشكلة 1: إنشاء الأبواب على الواجهة التي لا تواجه الشارع: يتم إنشاء الباب الرئيسي للمبنى في معظم الحالات على الواجهة التي تواجه الشارع، ولكن تم في بعض الحالات إنشاء الأبواب على واجهات التي تواجه منزل آخر أو ساحة ولكن ليس الشارع. لحل هذه المشكلة تم الاستعانة بتابع تحديد الواجهة الرئيسية "Compute First/Street Edges" المتاح ضمن البرنامج، يقوم هذا التابع بالبحث عن الواجهة المقابلة للشارع وإعطاءه صفة الواجهة الرئيسية فيتم توليد الأبواب فقط في هذه الواجهة.

ويبين (الشكل 18) مثال عن توليد الباب الرئيسي لروضة أطفال ضمن الواجهة المقابلة لمبنى آخر، وتمكننا بعد تطبيق تابع تحديد الواجهة الرئيسية من توليد الأبواب ضمن الواجهة المقابلة للشارع (الشكل 18).

الشكل 18: تغيير الواجهة الرئيسية باستخدام التابع "Compute First/Street Edges"

ضمن برنامج الـ (CityEngine)

المشكلة رقم 2: الكثير من الأبواب للمبنى الواحد: بعض المباني التي لها شكل معقد (يعتبر الشكل معقد إذا كان مختلف عن الشكل المستطيل). تم إنشاء مجموعة من الأبواب على كامل الواجهة التي تواجه الشارع (الواجهة الأمامية).

لحل هذه المشكلة تم تغيير القاعدة في الجزء الذي تم تقسيم المبنى فيه إلى أجزائه الرئيسية.

المشكلة رقم 3: في بعض الحالات كان هناك تقاطع بين شبكة الشوارع وبصمات المباني،

والسبب في هذه المشكلة يمكن أن يكون نتيجة الأخطاء المرتكبة عند إنشاء البيانات، وتعتبر النمذجة ثلاثية الأبعاد وسيلة أكيدة لكشف أخطاء الرسم الثنائي البعد. ويتيح البرنامج عملية تحرير البيانات وتحريكها وتصحيحها.

تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها أهمية وفعالية استخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية (ESRI CityEngine) في عملية النمذجة ثلاثية الأبعاد للمدن. حيث تسمح هذه البرامج ببناء نماذج ديناميكية بسرعة كبيرة وبتكلفة منخفضة ودقة عالية، بالإضافة للمرونة التي يُتيحها البرنامج، حيث أنه يسمح بالتعديل والتحكم بالعناصر في أي مرحلة من مراحل النمذجة، كإضافة عناصر جديدة مثل مواقف للسيارات، زيادة عدد طوابق ...الخ، كما يمكن تعديل خصائص أي نموذج وتغير معاملاته بطريقة يدوية وبدون الدخول في برمجة ملف القاعدة.

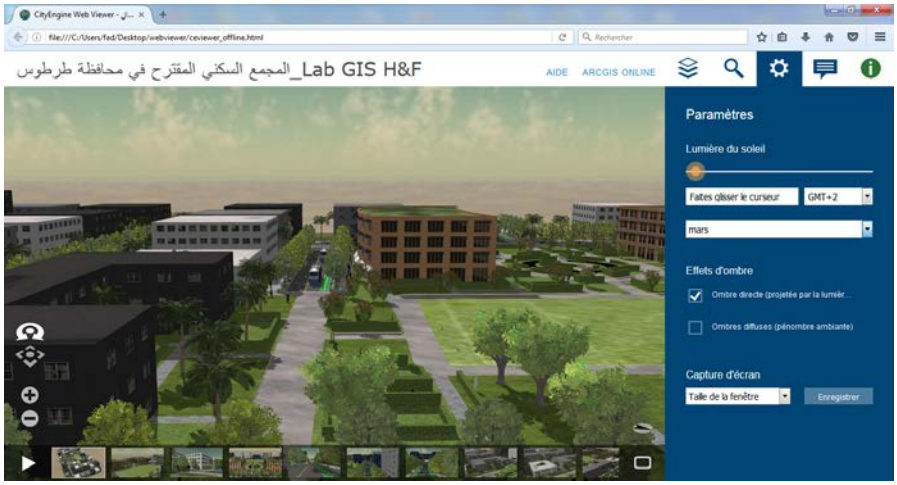
أهم ما يميز برامج نظم المعلومات الجغرافية للنمذجة ثلاثية الأبعاد عن غيرها من برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد هو قدرتها العالية على تخزين البيانات الوصفية مع الكائنات الرسومية، وإمكانية استرجاع واستخلاص أي معلومة متعلقة بالكائن الرسومي بسرعة وسهولة، على سبيل المثال يمكن النقر على أي مبنى لمعرفة كافة الخصائص المتعلقة به والمخزنة ضمن جدول بياناته الوصفية، كعمر المبنى وطرازه، عدد الشقق في المبنى، اسم المالك وتاريخ التملك.... الخ.

كما يتيح برنامج الـ (CityEngine) إمكانية عالية في إظهار النماذج النهائية بشكل واقعي، ويمكن عرض الكائنات ثلاثية الأبعاد من وجهات نظر مختلفة، بالإضافة للتكبير والتصغير، تعيين ضوء المشهد، عرض / إخفاء الظلال (الشكل 19)، عرض النموذج مع أو بدون النسيج (الإكساء)، كما يسمح بالنمذجة الداخلية للمباني، نمذجة الغطاء النباتي، وأثاث الشوارع ... الخ. بالإضافة إلى ذلك، (CityEngine) قادر على عرض الصور الجوية وصور الأقمار الصناعية، ونماذج الارتفاعات الرقمية.

الشكل 19: ظلال الأشجار على الطريق ضمن برنامج الـ (CityEngine)

المرحلة الأخيرة من عملية النمذجة تتلخص بتصدير النموذج وكافة عناصره إلى واجهة على الويب (WebScene) لجعل النموذج متاح بسهولة للمستخدمين وليتم استغلال البيانات المرتبطة به. تتم هذه العلمية ضمن البرنامج، حيث يتيح إنشاء هذه الواجهة وتصدير كافة البيانات إليها.

ويبين (الشكل 20) الواجهة النهائية التي سيتم استغلال النموذج من خلالها، وتتيح هذه الواجهة عملية البحث عن أي كائن، بالإضافة إلى عرض البيانات الوصفية المرتبطة بأي عنصر يتم تحديده، ويمكن تغيير المشهد وإضاءته وتغيير الظلال حسب أشهر السنة والليل والنهار. كما يمكن تصدير مجموعة من المشاهد المحددة والعلامات المرجعية التي تم إنشاؤها ضمن برنامج الـ (CityEngine) ويمكن عرضها كفيديو ضمن صفحة الويب.



الشكل 20: النموذج ثلاثي الأبعاد للمجمع المقترح على الويب

تسمح هذه الواجهة بخلق منصة واحدة شاملة تمثل نظام لدعم اتخاذ القرار وتسهيل إدارة المشاريع المتعلقة بإدارة المدن، حيث توفر تمثيل واقعي لكافة عناصرها وبالتالي تبين كيفية وجودها في الواقع الحقيقي، مما يساهم في تحقيق التوافق بين المشاريع المختلفة في هذه المدن وتنفيذها بدقة واحترافية وبطريقة ذكية.

6 الاستنتاجات والتوصيات

تمثل النمذجة الإجرائية المستندة على القواعد والخوارزميات واحدة من أكثر الحلول المناسبة لإنشاء نماذج للمدن الكبيرة بالأبعاد الثلاث، في وقت قصير ومع نفقات منخفضة. تعطي هذه الطريقة مرونة وسهولة في خلق المحتوى 3D، والقواعد التي تم إنشاؤها وبرمجتها من الممكن إعادة استخدامها لمشاريع أخرى ومن قبل مستخدمين آخرين، بالإضافة لإمكانية تغيير كافة الخصائص المرتبطة بالقاعدة للتوافق مع الحالة المدروسة. من أهم الميزات القوية والرئيسية للبرنامج (CityEngine) هي قدرته على توليد نماذج (3D) للمدن الكبيرة، وذلك من خلال العمل مع بصمات المباني التي تخزن قيمة الارتفاع في جدول البيانات الوصفية، حيث يمكن توليد مدينة كبيرة في بضع دقائق ضمن كمبيوتر بمواصفات مقبولة. ويمكن استخدام هذه النماذج بشكل مباشر للتحليلات ثلاثية الأبعاد كتحليلات الرؤية (skyline analysis) وغيرها من التحليلات ثلاثية الأبعاد. ويمتلك المستخدم أيضاً السيطرة الكاملة على أي جزء من أجزاء المدينة، كإضافة تفاصيل إما عن طريق استخدام أدوات التحرير أو بالاستناد إلى القواعد.

تألفت عملية النمذجة في البحث المقدم من مرحلة تصميم المجمع السكني وتحديد المكونات الأساسية للمنطقة المدروسة، إنشاء قاعدة البيانات في البرنامج (ArcGIS 10.4.1)، رسم الكائنات في الطبقات المختلفة، وتحضيرها واستيرادها إلى برنامج (ESRI CityEngine). بدأت عملية النمذجة الفعلية مع إنشاء ملفات قواعد التوليد المعماري. ومن ثم تطبيقها بعد ذلك على الكائنات ثنائية البعد لتوليد المحتوى ثلاثي الأبعاد. يتبين من النتائج التي تحققت أنه يمكن تطبيق النمذجة الإجرائية بسهولة ضمن برنامج الـ (CityEngine) لنمذجة وتوليد المناطق المعمارية بالأبعاد الثلاثة.

واجهتنا أثناء عملية النمذجة مجموعة من المشاكل. على سبيل المثال، تم إنشاء الأبواب في بعض المباني في الواجهة التي لا تقابل الشارع، تم انشاء أبواب ونوافذ عند تقاطع المباني، وعدم تطابق المباني مع شبكة الشوارع. وقد تم إيجاد حلول لجميع المشاكل التي تم العثور عليها.

يمكن تطبيق المنهجية المتبعة في البحث لتوليد نماذج للمدن ومن ثم استخدامها لمزيد من أغراض التحليل والتخطيط، وإدارة المدن. ويمكن الاستفادة من القواعد الـCGA وتطبيقها في مناطق أخرى، وتأتي أفضلية هذا النوع من النمذجة عند إنشاء المباني والمناطق الحديثة والتي تمتلك المباني فيها خصائص متشابهة، فيكفي إنشاء قاعدة واحدة لتمثيل عدد كبير من المباني. في المقابل تواجهنا صعوبة عند استخدام هذا النوع من النمذجة عند تمثيل المباني القديمة والمناطق التي لا يحكمها مخطط تنظيمي، حيث نجد أنماط متعددة من البناء ومختلفة، وسنضطر عندها لبرمجة قاعدة مستقلة لكل نوع من المباني.

سنحاول تطوير البحث من خلال تحسين النموذج وإضافة مستويات جديدة من التفاصيل (LoD) لتمثيل الكائنات بأقرب شكل ممكن للواقع. كما ستتم إضافة البنى التحتية وشبكات الخدمات إلى المجمع السكني وتمثيلها بشكل متكامل مع عناصر المجمع السكني فوق الأرض، لتكوين منصة شاملة ممثلة للمدن بكافة تفاصيلها، مما يسهل عملية الإدارة ودعم اتخاذ القرار.

7 المراجع

[1] Y. I. H. PARISH AND P. MÜLLER,2001 "Procedural Modeling of Cities," **in SIGGRAPH**, pp. 301–308.

[2] S. ZLATANOVA, A RAHMAN, AND M. PILOUK,2002 "3D GIS: current status and perspectives," **Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci**., vol. 34, no. 4, pp. 66–71.

[3] B. WATSON, P. MÜLLER, O. VERYOVKA, A. FULLER, P. WONKA, AND C. SEXTON,2008 "Procedural urban modeling in practice,**" IEEE Comput. Graph. Appl**., vol. 28, no. 3, pp. 18–26.

[4] EDVARDSSON, K. N. 2013. 3D GIS modelling using ESRI's CityEngine: a case study from the University Jaume I in Castellon de la Plana Spain (Doctoral dissertation).

[5] S. P. SINGH, K. JAIN, AND V. R. MANDLA,2014 "Image based Virtual 3D Campus modeling by using CityEngine," **American Journal of Engineering Science and Technology Research** vol. 2, no. 1, pp. 1–10.

[6] I. DOBRAJA,2015 "Procedural 3D modeling and visualization of geotypical Bavarian rural buildings in Esri CityEngine software," **Technische Universität München** Master's Thesis.

[7] C. RADIES,2013 "Procedural Random Generation of Building Models Based Geobasis Data and of the Urban Development with the Software CityEngine," **Bernburg, Ger.,** no. 2013, pp. 175–184.

[8] A. RIBEIRO, J. D. DE ALMEIDA, AND C. ELLUL,2014 "Exploring CityEngine as a Visualisation Tool for 3D Cadastre," **4th International Workshop on FIG 3D Cadastres**, pp. 197–218.

[9] I. GUERRERO, "3D GIS Techniques an overview," in Available at: https://c.ymcdn.com/sites/www.gita.org/resource/collection/1FC89597-61A2-4524-AFB033BD3B505B7D/Guerrero_3D_GIS_Techniques.pdf *[Accessed August 1, 2016]*.

[10] T. H. KOLBE, G. GRÖGER, AND L. PLÜMER,2005 "CityGML–Interoperable Access to 3D City Models," **Geo-Information Disaster Manag**., no. March, pp. 883–900.

[11] MÜLLER, P., WONKA, P., HAEGLER, S., ULMER, A., & VAN GOOL, L. 2006. Procedural modeling of buildings. **In Acm Transactions On Graphics (Tog)**,Vol. 25, No. 3, pp. 614-623

[12] ESRI,2016 "CityEngine Help. Available at: http://cehelp.esri.com/help/index.jsp [Accessed August 26, 2016].

[13] MÜLLER, P., VEREENOOGHE, T., WONKA, P., PAAP, I., & VAN GOOL, L. J. 2006. Procedural 3D Reconstruction of Puuc

Buildings in Xkipché. **In VAST**,pp. 139-146.

[14] MÜLLER, P., ZENG, G., WONKA, P., & VAN GOOL, L. 2007. Image-based procedural modeling of facades. **ACM Transactions on Graphics (TOG)**, 26(3), 85.

[15] CHEN, G., ESCH, G., WONKA, P., MÜLLER, P., & ZHANG, E. 2008. Interactive procedural street modeling. **In ACM transactions on graphics (TOG)** Vol. 27, No. 3, p. 103.

[16] WEBER, B., MÜLLER, P., WONKA, P., & GROSS, M. 2009. Interactive geometric simulation of 4d cities. **In Computer Graphics Forum** ,Vol. 28, No. 2, pp. 481-492.

[17] د. درويش، حنان.2016 "تطوير منهجية جديدة في تحليل اختيار الموقع الأمثل لمنشأة ما باستخدام المنطق الضبابي ضمن بيئة أنظمة المعلومات الجغرافية منطقة الدراسة: طرطوس –سورية," **مجلة جامعة البعث** ,المجلد38 العدد 51، 103–154.