

## **Akıllı Şehir Uygulamaları İçin Prosedürel 3B Kent Modeli Oluşturulması ve Fotorealistik 3B Görselleştirme** **Creating a Procedural 3D City Model for Smart City Applications and Photorealistic 3D Visualization**

**Güçlü Şenyurdusev<sup>1\*</sup>, Ahmet Özgür Doğru<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, Coğrafi Bilgi Sistemleri Şube Müdürlüğü, 34060, İstanbul/Türkiye.*

<sup>2</sup>*İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul/Türkiye.*

### **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

#### **\*Sorumlu yazar:**

Güçlü Şenyurdusev  
[gseyurdusev@iski.istanbul](mailto:gseyurdusev@iski.istanbul)

**doi:** 10.48123/rsgis.950887

#### **Yayın süreci**

Geliş tarihi: 11.06.2021

Kabul tarihi: 27.08.2021

Basım tarihi: 29.09.2021

### **Özet**

Prosedürel modelleme teknikleri kullanılarak gerekli öznitelik bilgilerini barındıran 2 boyutlu coğrafi bilgi sistemi verilerinin gerçekçi bir şekilde 3 boyutlu olarak görselleştirilebilmesi mümkündür. Prosedürel modelleme tekniğinin sağladığı önemli avantaj; vektör verilerde depolanan öznitelik verilerinin kullanılarak modelin gerekli olduğu anda yeniden türetilmesidir. Bu şekilde; hem kapsamlı ve detaylı bir modelin coğrafi veri tabanına depolanmasından kaynaklanan yüksek veri boyutu azalmakta, hem de doğru şekilde kodlanmış bilgisayar algoritmaları ile gerçekleştirilen model üretim süreçlerinde kişisel hataların önüne geçilebilmektedir. Ayrıca önerilen yöntem ile modeller en uygun sayıda poligon ve standart uygulanan çizim teknikleri ile oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada 2 boyutlu ve açık kaynaklı OpenStreetMap vektör verileri, "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) sayısal yükseklik model verileri ve farklı kaynaklardan sağlanan uydu görüntüleri kullanılarak 3 boyutlu kent modeli oluşturulmasına olanak sağlayan yaklaşım açıklanmış ve bu yaklaşımın farklı dünya kent merkezlerinin modellenmesinde kullanılması ile elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada açık coğrafi bilgi sistemi verileri kullanılarak prosedürel modelleme tekniklerinin etkin bir şekilde uygulanması ve bu verilerden 3 boyutlu kent modeli üretimi sağlanmıştır. Akıllı şehir yönetimi ve karar destek çalışmalarında kullanılabilecek ve dijital ikiz uygulamalarında da belirli ölçüde kullanılabilecek modelleme teknikleri açıklanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** 3B kent modeli, Dijital ikiz, Prosedürel modelleme

### **Abstract**

By using procedural modeling techniques, it is possible to visualize 2D geographic information system data containing necessary attribute information in a realistic 3D manner. The important advantage of the procedural modeling technique is that it enables the regeneration of the model whenever it is needed using the attributes stored in the vector data. In this way; The high data size resulting from storing a comprehensive and detailed model in a geographic database is reduced, and personal errors can be avoided in model production processes carried out with correctly coded computer algorithms. In addition, with the proposed method, models can be created with the most appropriate number of polygons and standard drawing techniques. In this study, the approach that enables the creation of a 3D city model using 2D and open source OpenStreetMap vector data, "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) digital elevation model data and satellite images obtained from different sources is explained. In this study, effective application of procedural modeling techniques was ensured by using open geographic information system data and 3D city model is produced using these data. Modeling techniques that can be used in smart city management and decision support studies and that can be used in digital twin applications to a certain extent are explained.

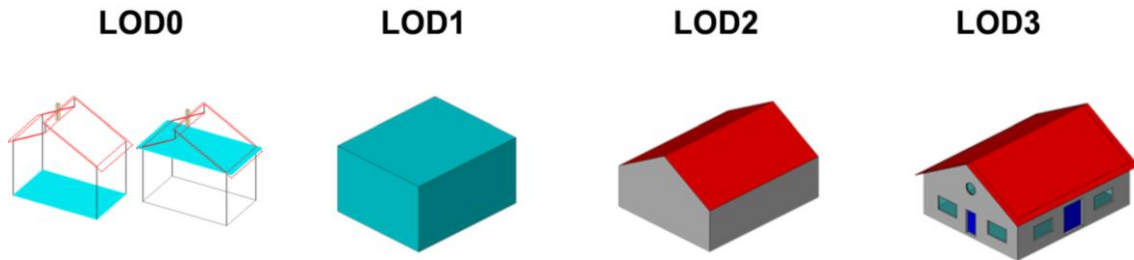
**Keywords:** 3D city model, Digital twin, Procedural modeling

## 1. Giriş

Uzun yıllar boyunca oldukça yaygın bir şekilde kullanılmakta olan 2 ve 2,5 boyutlu haritalar, gelişen teknolojiler ile birlikte artık yerlerini hızla yaygınlaşan 3 boyutlu (3B) uygulamalara bırakmaktadır. Yerel yönetimler başta olmak üzere pek çok kamu kurum ve kuruluşunun yanı sıra özel sektör temsilcileri, son yıllarda dünyanın gündemine yerleşen “akıllı şehircilik” kavramını ve bu alandaki en yeni çalışmaları yakından takip etmektedir. Bu kapsamda kentsel planlama çalışmalarından kent yönetimine kadar pek çok alanda mekânsal verilerin etkin bir şekilde kullanımına duyulan ihtiyaç önceki yıllara oranla daha çok artmıştır (Erving vd. 2009; Moser vd. 2010; Albrecht ve Moser, 2010).

Ayrıca kentsel dönüşüm çalışmalarından değişim analizlerine, kent silüetini korumaya dayalı çalışmalardan, güneş enerji potansiyeli, gölge, gürültü, rüzgâr ve taşkın analizlerine kadar pek çok çalışma günümüzde “dijital ikiz” kavramı altında üretilen, şehrin bire bir ölçekli 3 boyutlu modelleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Sengul, 2010; Aliaga, 2012; Prandi vd. 2013; Prandi vd. 2014; Biljecki vd. 2016; Yastıklı vd. 2017; Slade, 2018). Bu sayede gerçek hayatta yaşanması olası pek çok durum sanal ortamda bilgisayar grafikleri ile simüle edilebilmekte ve gerekli önlemler alınarak istenmeyen olayların meydana gelmeden önce engellenebilmesi mümkün olabilmektedir. Benzer şekilde kent içerisinde gerçekleştirilmesi planlanan büyük projelerin yapımına başlanılmadan önce 3B kent modeli içerisinde konumlandırılması ile projenin çevreye ve vatandaşlara olan olası etkileri çok daha önceden tespit edilebilmektedir. Gerekli pek çok mekânsal analizlerin sanal simülasyonlar içerisinde uygulanabiliyor olması, henüz proje aşamasındaki bir çalışmanın olası sonuçlarının öngörülmesine olanak vermekte, böylece gerçekleşmesi olası risklere ilişkin önlemlerin daha yaşanmadan alınabilmesine ve karar destek sistemlerine farklı alternatif çözümler sunulabilmesine imkân vermektedir. 3 Boyutlu kent modellerin oluşturulması süreçleri uluslararası düzeyde tanımlanmış standartlar dikkate alınarak planlanmalı ve uygulanmalıdır. Bu kapsamda “Open Geospatial Consortium” (OGC) tarafından belirlenen CityGML standardı temel kaynaklar arasında değerlendirilmektedir.

CityGML, 3B şehir modellerinin semantik olarak modellenmesi, depolanması ve veri paylaşımı alanında OGC tarafından yayınlanan uluslararası bir standarttır. Standardın 2.0 sürümü Mart 2012’de OGC tarafından kabul edilmiştir. Bu standart üzerinde geliştirme çalışmalarının uzun yıllardır devam etmekte olup, 2020’nin sonunda tamamlanacağı bildirilen bir sonraki büyük CityGML 3.0 sürümüyle sonuçlanması öngörülmektedir. Yeni sürüm ile birlikte mevcut standartlara daha güncel veri uzantıları, bir dizi iyileştirme ve yeni işlevler getirilmesi beklenmektedir. CityGML 3.0 sürümüyle getirileceği açıklanan önemli yeniliklerden biri yapı detay seviyelerinde (Levels of Detail - LOD) olacaktır. Mevcut CityGML 2.0 standardında yapılar LOD0, LOD1, LOD2, LOD3 ve LOD4 olarak 5 farklı seviyede depolanmaktaydı. Yeni getirilecek olan değişikliğe göre yapı içi detaylarını da içeren LOD4 seviyesi kaldırılarak nesnelerin içi artık 0-3 seviyeleri arasında farklı LOD’larda ifade edilebilir hale getirilmiştir. Şekil 1’de sunulan CityGML 3.0 detay seviyesi yaklaşımı ile LOD2 veya LOD3 seviyesinde yapı içini temsil ederken, bir binanın dış kabuğunu LOD1’de modellemek mümkün olabilecektir (OGC, 2021).



Şekil 1. CityGML 3.0 standardına göre yapı detay seviyeleri (OGC, 2021)

Bu amaçla gerçekleştirilen çalışma kapsamında; üretimi zaman alan ve yüksek maliyetler gerektiren üç boyutlu kent modeli üretimine alternatif olarak, 2 boyutlu ve farklı kaynaklardan açık veri olarak paylaşılan ve kolaylıkla erişilebilen mekânsal veriler kullanılarak, dünya üzerindeki bir kent merkezinin prosedürel modelleme teknikleri ile 3 boyutlu olarak üretilmesi ve yüksek kalitede görselleştirilmesine yönelik bir dijital ikiz üretim yaklaşımı anlatılmıştır.

## 2. Veri ve Yöntemler

Son yıllarda 3B kent modellerinin üretimi çeşitli üniversitelerde, kartografik ve fotogrametrik çalışmalar gerçekleştiren kurumlarda hala devam eden araştırma konularından biridir (Brenner vd. 2001; Flamanc ve Jibrini, 2003; Tunc vd. 2004). Çağın getirdiği hız ve güncellik gereksiniminin yanı sıra görece yüksek maliyetler hesaba katıldığında, ihtiyaç duyulan 3 boyutlu güncel verilerin gerekli zamansal ve mekânsal çözünürlükte ve tüm kent ölçeğinde üretilebilmesine her zaman imkân olmamaktadır.

Oluşturulan tüm kent modelleri belirli bir veri üretim süreci geçirdiği için hep geçmişi yansıtmaktadır (Fan vd. 2008). Geleneksel ölçme yöntemlerine oranla büyük alanların ölçülmesi ve modellenmesi için en etkin yöntemlerden olan ve son yıllarda kullanımı giderek yaygınlaşan fotogrametrik çalışmalar ve LiDAR gibi ölçme teknikleri dahi büyük bir kent ölçeğinde düşünüldüğünde ürünlerini çok kısa sürelerde sunamamakta ve ancak belirli işlem süreleri beklenerek sonuç alınabilmektedir (Weissenberg, 2014). Bu alanda geliştirilen ve bina modeli üretimini otomatikleştiren güncel yazılımlar kullanılmasına rağmen sonuç ürünlerin bireysel olarak incelenmesi, düzeltilmesi ve iyileştirilmesi insan müdahalesi gerektiren ve oldukça zaman alan işlemlerdir (Ennafii vd. 2019).

Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın gerçekleştirilen pek çok çalışma sonrası elde edilen veriler hızla eskimekte ve güncelliğini yitirmektedir (Fan vd., 2008). Son dönemde yaşanan gelişmeler farklı yöntemlerle üretilen ya da hâlihazırda mevcut bulunan mekânsal veriler kullanılarak bir kentin tamamının 3 boyutlu olarak hızlı bir şekilde üretilebilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu nedenle 2 boyutlu mekânsal verilerin hızlı bir şekilde 3 boyutlu kent modeline dönüştürülebilmesini mümkün kılan bazı prosedürel modelleme teknikleri geliştirilmiştir.

Prosedürel modelleme teknikleri kullanılarak gerekli öznitelik bilgilerini barındıran 2 boyutlu Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) verilerinin gerçekçi bir şekilde 3 boyutlu olarak görselleştirilmesi mümkündür (Merrell ve Manocha, 2011; Weissenberg, 2014; Dobraja, 2015; Biljecki vd. 2016; Adão vd. 2016). Prosedürel modelleme tekniğinin en büyük avantajı; vektör verilerin içerisine depolanan sözel öznitelik verilerinin kullanılarak modelin gerekli olduğu anda yeniden üretilebilmesidir. Bu şekilde kapsamlı ve detaylı bir modelin sayısal ortamda depolanması yerine, basit bir referans poligonunun ve gerektiğinde 3 boyutlu modelin nasıl oluşturulacağı bilgisinin tutulması veri boyutunu düşürmektedir. Ayrıca model üretimi önceden kodlanan bilgisayar algoritmaları ile oluşturulduğu için operatör ve model üretiminden kaynaklı çizim ve topolojik hataların bulunmasını engellemektedir (Biljecki vd. 2016). Bu sayede ihtiyaç duyulan modeller en az poligon sayısı ve en doğru çizim tekniği ile ihtiyaç duyulduğu anda oluşturulabilmektedir.

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsünde devam etmekte olan ve prosedürel modellemenin 3B Kent modellerinin üretim süreçlerine katkılarını araştıran doktora çalışması kapsamında, prosedürel tekniklerin kullanım olanaklarını araştırmak üzere gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada OpenStreetMap verilerinde bulunan öznitelikler kullanılarak uygulama alanındaki yapılar prosedürel modelleme yöntemi ile LOD2 seviyesinde 3 boyutlu olarak modellenmiştir.

## 2.1 Veri Setleri

Bu çalışmada 2 boyutlu ve açık veri kapsamında kolaylıkla erişilebilen OpenStreetMap verileri, Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından sağlanan "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) verileri ve çeşitli uydu görüntüleri kullanılarak dünya üzerindeki bir kent merkezinin yüksek kalitede 3 boyutlu olarak görselleştirilmesine yönelik bir yaklaşım anlatılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada açık CBS verileri kullanılarak prosedürel modelleme tekniklerinin etkin bir şekilde uygulanması ve bu verilerden 3 boyutlu kent modeli üretimi sağlanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan veriler Tablo 1'de sunulmuştur.

Ayrıca, yapılan uygulamada açık olarak sunulan kentsel sembolik yapı modellerinin de ilave edilmesi ile oluşturulan modelde gerçeğe olabildiğince yakın bir görsellik elde edilmesi amaçlanmıştır. Akıllı kent yönetimi ve karar destek çalışmalarında kullanılabilecek olan bir dijital ikiz uygulaması için elde edilen sonuç ürününün fotoğraf gerçekliğine olabildiğince yakın "fotorealistik" görselleştirilmesine yönelik bazı teknikler de uygulanmıştır.

**Tablo 1.** 3B kent modeli üretiminde kullanılan veriler

Veri	Kaynak
Sayısal Yükseklik Modeli	SRTM
Uydu Görüntüsü	ESRI "World Imagery"
Coğrafi Bilgi Sistemi Verileri	OpenStreetMap bina verileri
Landmark Modelleri	Google 3D Warehouse

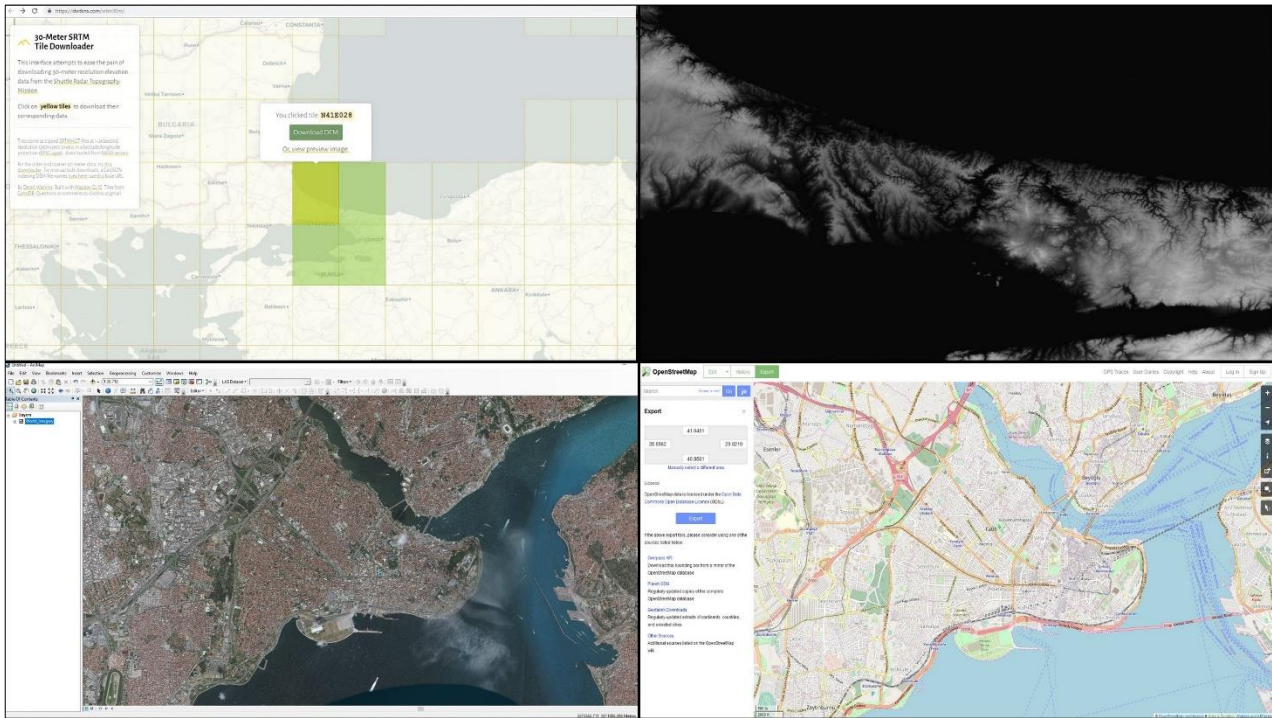
NASA ve Ulusal Mekansal Zeka Ajansı (NGA) tarafından Şubat 2000 tarihinde ortaklaşa gerçekleştirilen SRTM projesi ile Amerika Birleşik Devletleri için 1 sn (~30 metre), küresel kaplama için ise 3 sn (~90 metre) çözünürlüğünde sayısal yükseklik verisi üretilmiştir. Günümüzde pek çok web haritacılığı uygulamasının arka planında kullandığı küresel yükseklik modeli bu verilere dayanmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan verilere Şekil.1'de görülen çevrimiçi platform üzerinden erişim sağlanmıştır.

Arazi modelinin sayısal ortamda oluşturulması için İstanbul'u içerisine alan 4 pafta seçilerek veri sağlayıcı site üzerinden indirilmiş ve sayısal ortamda birleştirilerek tek bir raster mozaik yükseklik modeli oluşturulmuştur.

Bu veriden pilot çalışma alanı olan Fatih ilçesinin Tarihi Yarımada bölümü kesilerek 3 boyutlu arazi modeli oluşturulması için kullanılan sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. Şekil 2’de SRTM verilerinden elde edilen Tarihi Yarımada bölgesi sayısal yükseklik modeli gösterilmiştir.

ESRI; DigitalGlobe, GeoEye ve Earthstar Geographics gibi farklı birçok kaynaktan sağlanan verileri derleyerek ücretsiz olarak sunduğu “World Imagery” adlı veri servisine pek çok CBS yazılımı ile kolaylıkla erişilebilmektedir. Gerçekleştirilen çalışma kapsamında üç boyutlu modellenmesi planlanan bölgenin temin edilen uydu görüntüsü Şekil 2’de sunulmuştur.

2004 yılında İngiltere’de başlatılan bir proje kapsamında herkesin özgür erişim sağlayabildiği ve kullanabildiği bir harita olarak geliştirilmeye başlanan OpenStreetMap projesi, bugün pek çok kişi tarafından yaygın olarak kullanılan bir mekânsal açık veri platformu halini almıştır (Ünen vd. 2013). 3 boyutlu kent modeli oluşturmak istenilen alan içerisinde binaların prosedürel teknikler kullanılarak 3 boyutlu yapı modeline dönüştürülmesi ve otomatik olarak oluşturulması için ihtiyaç duyulan mekânsal veriler OpenStreetMap (OSM) kaynağından temin edilmiştir. Şekil 2’de çevrimiçi harita platformundan çalışma bölgesi için sağlanan veriler görülmektedir.

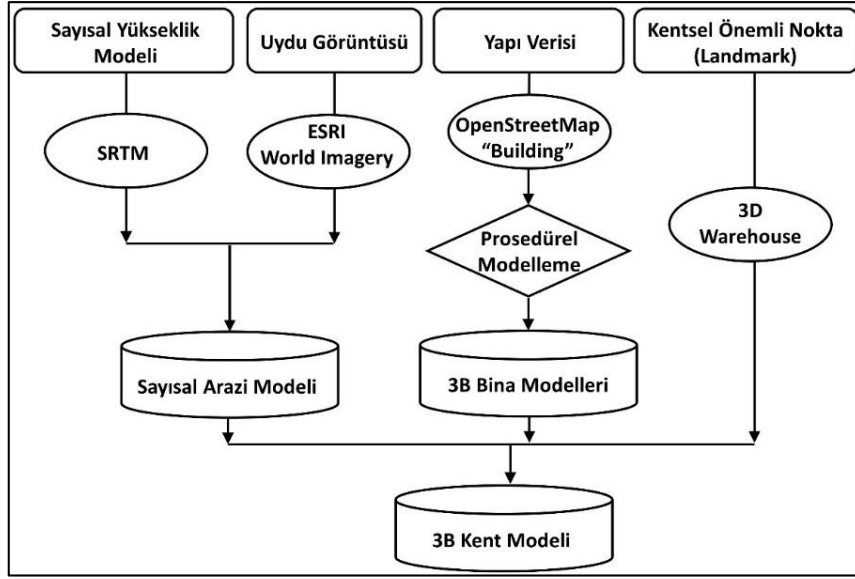


Şekil 2. SRTM çevrimiçi veri platformu (sol üst); İstanbul’un SRTM sayısal yükseklik modeli (sağ üst); ESRI World Imagery veri servisi (sol alt); OpenStreetMap çevrimiçi veri platformu (sağ alt)

## 2.2 Yöntem

Prosedürel modelleme teknikleri klasik modelleme yöntemlerine göre başlangıçta daha uzun süren işlemler ve kodlama çalışmaları içermesine rağmen gerçekte çok daha hızlı ve performanslı çözüm üretmek için geliştirilmiş etkili bir modelleme tekniğidir. Belirli bir planlama çalışması sonrası istenilen modellemeyi sağlayacak olan kodlama süreci başlatılır. Bu süreç başlangıçta normal modellemeden daha uzun gibi görünse de modellenecek binaların sayısı ve sonrasında tasarım üzerinde gerçekleştirilecek olan tüm olası değişiklikler modele anında uygulanabilmektedir. Bu da çalışmanın bütünü temel alındığında modelleme sürecini çok büyük oranda kısaltmaktadır.

Çalışmada 3 boyutlu kent modeli oluşturulması için izlenen yöntem ve işlemlerin bir bütün olarak sunulduğu akış diyagramı Şekil 3’te paylaşılmıştır. İşlemlerin adım adım uygulanması ile önce gerçekçi arazi modeli, sonrasında ise bina modellerinin de üretilmesi ile 3 boyutlu kent modeli elde edilir. Eğer bulunuyorsa o bölgedeki bazı önemli yapıların modelleri de kullanılarak gerçeklik algısı daha da artırılmaktadır.



Şekil 3. İş akış şeması

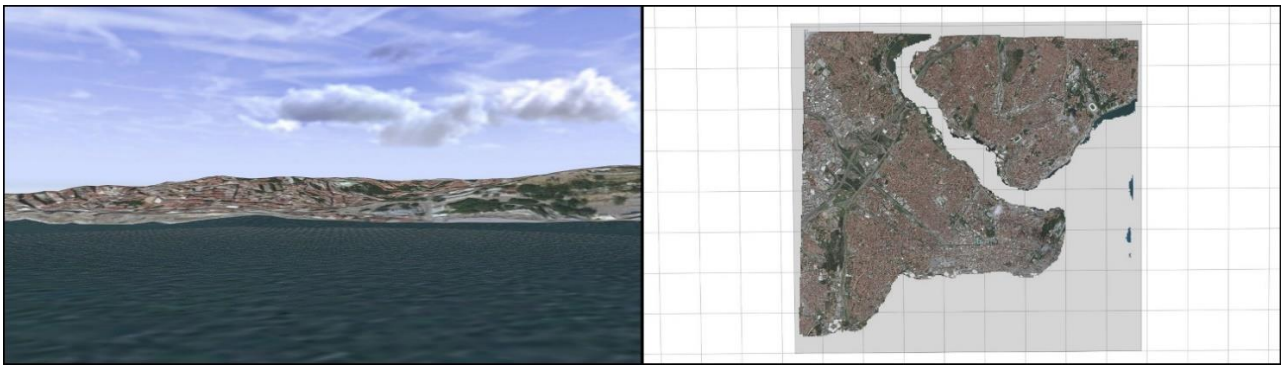
### 3. Uygulama

Bu bölümde açık veri olarak paylaşımına sunulan tüm mekânsal verilerin birleştirilerek 3 boyutlu bir kent modeli oluşturulması için gerçekleştirilen çalışmalar ve fotorealistik görselleştirme sonuçları sunulacaktır.

#### 3.1 Üç Boyutlu Tasarım Aşamaları ve Bulgular

SRTM yükseklik modelinin her bir hücresinde, o hücrenin fiziksel yeryüzündeki eşlenik noktasının yaklaşık yükseklik değeri bulunur. Bu değerler kullanılarak pek çok yazılım ile üç boyutlu bir yüzey modeli oluşturulabilir. Tarihi Yarımada için oluşturulan yüzey modeline o bölgeye ait uydu görüntüsü kaplanarak Şekil 4'teki arazi modeli elde edilmiştir.

Üç boyutlu bir sahne tasarlanırken içerisinde deniz, göl ve benzeri büyük su kütleleri bulunduruyor ise bunların daha gerçekçi sunulabilmeleri için materyal ayarlarının uygun şekilde yapılması gerekir. Üç boyutlu sahne içerisine eklenen uydu görüntüleri üzerine materyal ayarları yapılması uygun olmadığı için yeni bir deniz poligonu oluşturmak görselleştirmede gerçekçi deniz görünümü için daha etkilidir. Bu çalışmada proje alanı ve çevresindeki deniz yüzeylerini yaklaşık olarak kapsayacak şekilde tanımlanan poligon Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Tarihi Yarımada sayısal arazi modeli (sol); Proje alanı çevresini kaplayan deniz poligonu (sağ)

Çalışmada prosedürel modelleme teknikleri kullanılarak 2 boyutlu verilerin 3 boyutlu olarak yeniden oluşturulması sağlanmıştır. Bu amaçla OpenStreetMap "Bina" verileri kullanılmıştır. OpenStreetMap içerisinde bulunan "Bina" (ing. Building) katmanı yapılarla ait taban alanı (yapı ayak izleri) bilgisini barındırmaktadır ve bu bilgiler prosedürel tekniklerle üç boyutlu modele dönüştürülebilir. Buradan hareketle çalışma kapsamında OpenStreetMap "Bina" verilerinin içerisinde bulunan Tablo 2'deki öznetelik verileri kullanılarak 45.469 adet LOD2 seviyesinde 3 boyutlu bina modeli prosedürel olarak oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5).

Bina üretiminde Çevresel Sistemler Araştırma Enstitüsü'nde (Environmental Systems Research Institute - ESRI) geliştirilen kural temelli bir üç boyutlu kodlama dili olan "Computer Generated Architecture" (CGA) kodlama dili kullanılmıştır.

**Tablo 2.** Prosedürel modelleme tekniği ile 3 boyutlu bina modellerini oluşturmak için kullanılan öznitelik verileri.

Tanım	Bina Öznitelik Verileri
Kat Adedi	getLevels
Çatı Yüksekliği 1	getEaveHeight
Çatı Yüksekliği 2	getRidgeHeight
Bina Tipi	getBuildingForm
Çatı Tipi	getRoofForm
Kat Yüksekliği	getFloorHeight
Bina Rengi	getBuildingColor
Çatı Rengi	getRoofColor

Prosedürel olarak üç boyutlu model üretiminin bir avantajı da oluşturulan modellere otomatik olarak kaplama yapılabilmesidir. Bu kaplamalar binanın gerçek fotoğrafı olabileceği gibi sembolik olarak hazırlanmış bir kaplama kütüphanesinden de çağrılabilir. Bu çalışmada oluşturulan tüm poligonlara kat adetleri uygun olacak şekilde benzer bina resimlerinden hazırlanmış rastgele cephe kaplaması gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'te cephe kaplaması uygulanan bina modelleri paylaşılmıştır.



**Şekil 5.** Tarihi Yarımada bölgesine ait: Prosedürel olarak üretilen LOD2 seviyeli bina modelleri (sol üst); Prosedürel olarak rastgele cephe kaplamalı üretilen LOD2 seviyeli bina modelleri (sağ üst); Proje alanı ve yakınlarında bulunan kentsel sembolik yapı modelleri (sol alt); Entegre edilen tüm veriler ile Tarihi Yarımada bölgesi tasarımı (sağ alt)

Kullanılan sayısal yükseklik modeline göre bazı binaların havada, bazılarının fazla yerin içerisinde kalması ve benzeri durumları önlemek için bina taban alanlarının araziye tam olarak oturtulması gerekir. OpenStreetMap "Building" verilerinin içerisinde belirli yükseklik değerleri bulunmaktadır ancak oluşturulan bina modellerinin tam olarak arazi yüzeyine oturtulması daha sorunsuz bir görselleştirme sağlar. Arazi modeli ve bina modelleri oluşturulduktan sonra şehirdeki önemli yapıların modelleri eklenerek üç boyutlu sahnedeki canlandırma gerçeğine yaklaştırılabilir. Çalışmada Google 3D Warehouse içerisinde modellenmiş olarak sunulan İstanbul - Tarihi Yarımada bölgesi ve yakınlarındaki karakteristik yapı modelleri kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen prosedürel model üretimi 64-bit Windows 10 işletim sistemi, Intel Core i7-8700K CPU, 3.70Ghz, 64GB RAM, 2x 8GB GDDR5x NVIDIA GeForce GTX 1080 ekran kartına sahip bir donanım üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu şartlarda elde edilen model üretim süreleri Tablo 3’de sunulmuştur.

**Tablo 3.** Prosedürel modelleme tekniği ile 3 boyutlu bina modellerini oluşturmak için harcanan süre bilgileri

Tip	Adet	Süre (sn)
Katı Model	45469	46”
Kaplamalı Model	45469	53”

Sembolik yapı modelleri, üreticilerin uzmanlık seviyelerine göre çoğunlukla Google 3D Warehouse içerisinde gerçek koordinatlarında tutulur ve modelleme çalışmalarında kolaylıkla konumlandırılabilir. Söz konusu modellerin herhangi bir mekânsal referansının bulunmaması durumunda ise kent modeline bütünleştirilmeden önce mekânsal referansının sağlanması gerekmektedir. Çalışma kapsamında internet platformundan indirilen 43 ayrı model koordinatlı olarak temin edilmiş ve doğrudan arazi modeli üzerine yerleştirilmiştir (bkz. Şekil 5).

### 3.2 Fotorealistik 3 Boyutlu Görselleştirme

Verilerin etkili bir şekilde işlenmesi, analiz edilmesi ve 3 boyutlu olarak görselleştirilmesi günümüzün önemli çalışma alanlarından biri olarak ortaya çıkmaya başlamıştır. Günümüzde pek çok disiplin üç boyutlu veriler ile çalışmakta ve bu alanla yakından ilgilenmektedir. Üç boyutlu uygulamalar, karmaşık mekânsal analizlerin, dinamik simülasyonların en doğru şekilde anlaşılabilmesi ve modellenebilmesi için oldukça önemli araçlardır (Aalbersberg vd. 2014).

Üç boyutlu görselleştirmenin en önemli aşamaları ışık, gölge ve ortam emilim değerlerinin kullanılmasıdır. Ayrıca objelerin materyal ayarlarının da doğru belirlenmesi bu yansıma etkilerinin göz ile algılanan gerçekliğe daha yakın olmasını sağlamaktadır. Tüm bu değerlerin doğru şekilde ve uygun oranlarda kullanımı ile modellerin çok daha gerçekçi görselleştirilebilmesi mümkün olmaktadır. Sektörde bu alanda yaygın olarak kullanılan StudioMax, Maya, Blender, Cinema4D, Rhino ve Houdini gibi tüm üç boyutlu tasarım yazılımları ya da Unity ve Unreal gibi oyun motorları ile modellerin sonuç görselleştirilmesi aşamalarında bu etki ve değerler kullanılarak çıktı üretilir.

Işık ve çevresel ayarlar kullanılan programın kendi özellikli menülerine ve ayar pencerelerine göre farklılık gösterse de bu işlemler tüm programlarda rahatlıkla ayarlanabilmektedir. Piyasada benzer amaçlarla üretilmiş pek çok üç boyutlu tasarım programı bulunmaktadır. Yazılımlar birbirinden farklı olarak tasarlanmış olsalar da çevresel ışık, gölge ve ortam emilim değerleri tümünde ayarlanabilmektedir. Gerçekleştirdiğimiz çalışma kapsamında kullanılan oyun motoru içerisinde ilgili parametre ayarlarının en uygun birleşimi deneysel olarak belirlenmiş ve Şekil 6’da sunulan Tarihi Yarımada bölgesinin fotorealistik 3B görselleştirme sonucu elde edilmiştir.

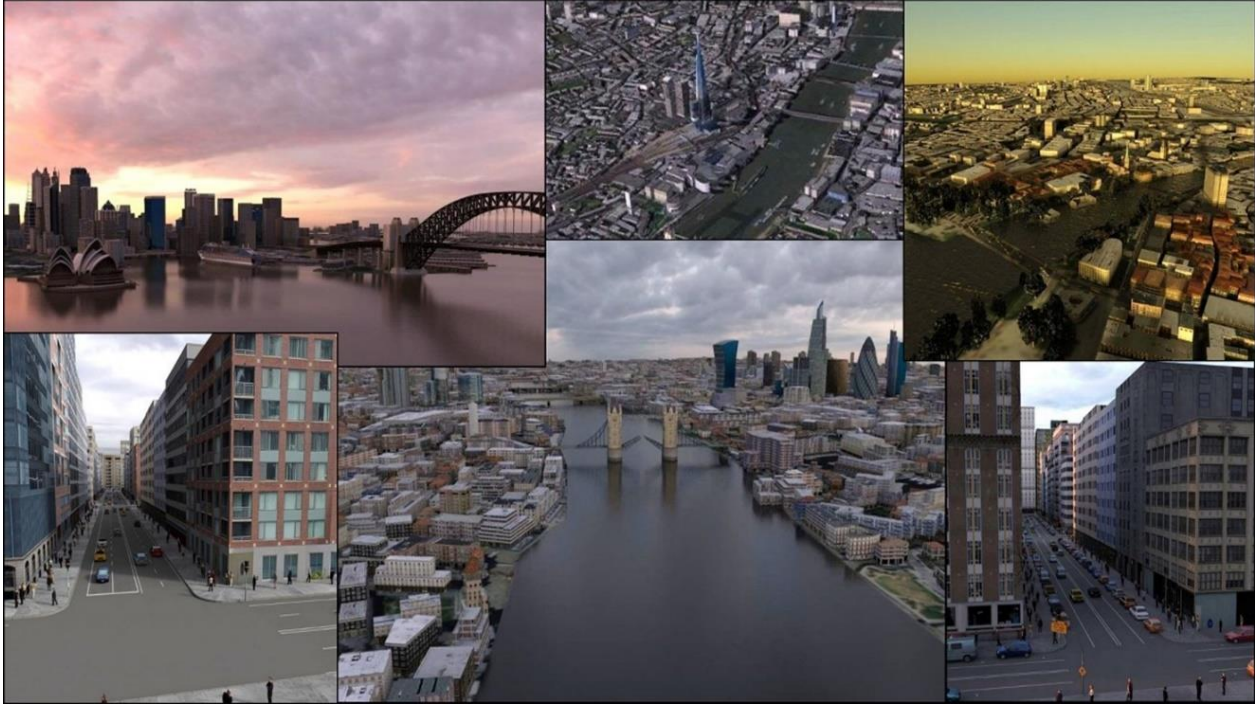


**Şekil 6.** Tarihi Yarımada bölgesinin fotorealistik modeli görüntüsü

### 3. Sonuçlar ve Öneriler

Günümüzde pek çok akıllı şehir uygulamasına altlık teşkil edebilecek bir 3B kent modeli üretimi için tamamen ücretsiz veriler kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada; prosedürel modelleme teknikleri kullanılarak büyük alanların hızlı ve etkili bir şekilde 3B modellenmesi ve görselleştirilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. 3B kent modeli üretiminde farklı kaynaklardan elde edilen mekânsal verilerin birleştirilmesi 3 boyutlu görselleştirmenin çok daha gerçekçi olmasını sağlamıştır. Ayrıca diğer çevresel ışık ve atmosfer etkileri gibi görselleştirme tekniklerinin kullanılması ile oluşturulan dijital ikiz fotoğraf gerçekliğine yaklaştırılmıştır.

Çalışmanın önemli çıkarımlarından biri de akıllı şehircilik, 3B kent planlama ve yönetimi için esas olanın son teknolojik cihazlar ve yüksek maliyetler ile gerçekleştirilebilen işler olmadığını kanıtlanmasıdır. Esas olan, öncelikle yerel yönetimlerde akıllı kent yönetimi bilincinin oluşturulması ve mevcut mekânsal verilerin birbirleri ile bütünleşmiş, en verimli şekilde kullanılmasının sağlanmasıdır. Gerçekleştirilen çalışma, sadece genel kullanıma sunulan ücretsiz ve açık verilerin kullanılması ile bu çalışmaların belirli bir seviyede yapılabileceğini göstermiştir. Kullanılan yöntem kamu kurumlarının ve yerel yönetimlerin elinde bulunan resmi ve daha hassas şekilde üretilmiş mekânsal veriler ve 3 boyutlu modeller ile uygulandığında çok daha hassas sonuçları aynı sürede elde edilebilecektir. Bu çalışma kapsamında ayrıca önerilen yaklaşım benzer veri kaynakları kullanılarak dünyanın farklı anakentlerinin merkezlerinin 3B modellenmesi için uygulanmıştır. Açık kaynaklardan sağlanan verinin çeşitliliği ve kalitesine bağlı olarak İstanbul Tarihi Yarımada örneğine benzer niteliklerde elde edilen sonuç gösterimler Şekil 7'de paylaşılmıştır. Dijital ikiz kapsamında değerlendirilebilecek bu sonuçlar sınırlı doğruluk gereksinimleri içeren bir çok planlama, kentsel tasarım, kentsel dönüşüm vb. analiz ve diğer tüm simülasyon çalışmalarına hazır gerçekçi bir şehir modeli elde edilmiştir.



Şekil 7. Çalışma kapsamında önerilen yaklaşım kullanılarak üretilen diğer 3B kent modellerine ilişkin örnek gösterimler

3B görselleştirmenin sunduğu en önemli kolaylıklardan biri de tek bir perspektif ya da bakış yönü etkisi nedeniyle diğer veriler tarafından görülemeyen alanların bulunmaması, tüm verilerin 3 boyutlu ortam içerisinde her açıdan rahatlıkla görüntülenebilmesine ve değerlendirilebilmesine imkân vermesidir. Ayrıca günümüzde giderek kullanımı yaygınlaşmaya başlayan sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) görüntüleme sistemlerinin mekânsal verilerin görselleştirilmesi amacı ile de kullanılmaya başlanmış olması coğrafi bilgi sistemlerinin geleceğini ve yönünü ciddi bir şekilde etkileyecektir. Böylece mekânsal verilerin 3 boyutlu olarak görselleştirilmesi ve deneyimlenmesi yakın gelecekte oldukça sık karşılaşılan ve ihtiyaç duyulan bir çalışma alanı olacaktır.



## Kaynaklar

- Aalbersberg, I. J., Cos Alvarez, P., Jomier, J., Marion, C., & Zudilova-Seinstra, E. (2014). Bringing 3D visualization into the online research article. *Information Services & Use*, 34(1-2), 27-37.
- Adão, T., Magalhães, L. & Peres, E. (2016). *Ontology-based procedural modelling of traversable buildings composed by arbitrary shapes*. SpringerBriefs in Computer Science. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Albrecht, F., & Moser, J. (2010). Potential of 3D City Models for Municipalities – The User-Oriented Case Study of Salzburg. In *Geospatial Crossroads @ GI\_Forum '10* (pp. 1-10). Wichmann Verlag / VDE.
- Aliaga, D. G. (2012). 3D Design and modeling of smart cities from a computer graphics perspective. *International Scholarly Research Network, ISRN Computer Graphics*, 2012, 728913, doi: 10.5402/2012/728913.
- Biljecki, F., Ledoux, H. & Stoter, J. (2016, August). Generation of multi-LOD 3D city models in CityGML with the procedural modelling engine Random3Dcity. *ISPRS 1st International Conference on Smart Data and Smart Cities, 2016. Volume IV-4/W1* (pp. 51-59). Copernicus GmbH.
- Brenner, C., Haala, N., & Fritsch, D. (2001). Towards fully automated 3D city model generation. In E.P. Baltsavias, A. Gruen & L. Van Gool (Eds), *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III)*, (pp. 47-57), ETH Zurich: A.A. Balkema Publishers.
- Dobraja, I. (2015). *Procedural 3D modeling and visualization of geotypical Bavarian rural buildings in Esri CityEngine software* (Master's thesis), Technische Universität München, Faculty of Civil, Geo and Environmental Engineering, Department of Cartography, München, Germany.
- Ennafii, O., Le Bris, A., Lafarge, F., & Mallet, C. (2019, July). Scalable evaluation of 3D city models. In *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2019. Proceedings* (pp. 3400-3403). IEEE.
- Erving, A., Rönnholm, P., & Nuikka, M. (2009). Data Integration from Different Sources to Create 3D Virtual Model. In F. Remondino, S. El-Hakim, & L. Gonzo (Eds.), *3D-ARCH 2009: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures"*, Trento, Italy, 25-28 February 2009. ISPRS Commission V - WG 4; FBK-IRST, Trento, Italy; NRC-CNRC; ETH Zurich, Switzerland.
- Fan, H., Meng, L & Stilla, U. (2008). A concept for integrating time-dependent features in 3d building models. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Geoinformation Sciences*, 37(2), 45-50.
- Flamanc, D. & Jibrini, H. (2003). 3D city models: An operational approach using aerial images and cadastral maps. *ISPRS Archives*, 34(3/W8), 53-58.
- Merrell, P. & Manocha, D. (2011). Model synthesis: A general procedural modeling algorithm. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 17(6), 715-728.
- Moser, J., Albrecht, F., & Kosar, B. (2010). Beyond visualisation - 3D GIS analyses for virtual city models. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(4/W15), 143-146.
- OGC (2021). Open Geospatial Consortium City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard. Retrieved from <http://docs.ogc.org/DRAFTS/20-010.pdf>
- Prandi, F., De Amicis, R., Piffer, S., Soave, M., Cadzow, S., Boix, E. G., & D'Hondt, E. (2013). Using CityGML to deploy smart-city services for urban ecosystems. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-4/W1, 87–92.
- Prandi, F., Soave, M., Devigili, F., Andreolli, M., & De Amicis, R. (2014). Services oriented smart city platform based on 3D city model visualization. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(4), 59-64.
- Sengul, A. (2010). *Extracting semantic building models from aerial stereo images and conversion to CityGML* (Master's Thesis), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Slade, J. (2018). *Automatic semantic and geometric enrichment of CityGML 3D building models of varying architectural styles with HOG-based template matching* (Doctoral dissertation), Cardiff University, Cardiff, UK.
- Tunc, E., Karsli, F & Ayhan, E. (2004, July). 3D city reconstruction by different technologies to manage and recognize the current situation. In *ISPRS Congress Istanbul 2004. Proceedings* (pp. 443-448). İstanbul, Turkey.
- Ünen, H. C., Yılmaz, O. M., & Güngör, O. (2013, Kasım). Özgür harita: OpenStreetMap. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, Ankara, Türkiye.
- Weissenberg, J. (2014). *Inverse Procedural Modelling and Applications* (Doctoral dissertation), ETH Zürich, Switzerland.
- Yastıklı, N., Çetin, Z., Üçok, U., & Koçdemir, K. H. (2017, Mayıs). Fotogrametrik Harita ve LiDAR Verileri ile 3B Kent Modeli Üretimi. *TMMOB HKMO 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.