

Fotogrametrik Harita ve LiDAR Verileri ile 3B Kent Modeli Üretimi

Naci Yastıklı^{1,*}, Zehra Çetin¹, Umut Üçok¹, Kağan Hazal Koçdemir¹

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul.

Özet

3 boyutlu (3B) kent modelleri günümüzde kent planlaması, navigasyon uygulamaları, antik kentlerin modellenmesi, eğitim ve simülasyon uygulamaları vb. çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu nedenle, (3B) kent modellerinin önemi gittikçe artmakta ve daha yüksek ayrıntı düzeyinde (LoD – Levels-of-Detail) kent modeli üretimi üzerine araştırmalar yapılmaktadır. 3B kent modelleri fotogrametrik veriler yanında, LiDAR ile üretilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve Sayısal Yüzey Modelleri (YM) kullanılarak daha yüksek ayrıntı düzeyinde hızlı ve ekonomik bir biçimde üretilmektedir.

Bu çalışmada, fotogrametrik harita ve LiDAR verileri kullanılarak 3B kent modeli üretimine ilişkin bir yaklaşım önerilmiştir. İstanbul'un Beyoğlu ilçesindeki çalışma alanında önerilen yaklaşım ile 3B kent modeli fotogrametrik veriler ve LiDAR verileri kullanılarak LOD2 düzeyinde ArcGIS ve CityEngine yazılımları kullanılarak başarıyla üretilmiştir. Üretilen 3B kent modeli için objelere ait veri tabanı hazırlanmış ve çeşitli sorgulamaların yapılabilmesine olanak sağlanmıştır. Üretilen 3B kent modeli kullanıcı ile etkileşimli olması için CityGML aracılığıyla GoogleEarth, WebViewer vb. gibi farklı platformlara aktarılmıştır.

Anahtar Sözcükler

3B Kent Modelleme, LOD, CityEngine, CityGML, WebViewer, ArcGIS

Abstract

Today, 3-dimensional (3D) city models are frequently used in practices including urban planning, navigation applications, modeling of ancient cities, training and simulation applications, etc. For this reason, the importance of (3D) city models is increasing day by day and researches on city model production at a higher level of detail (LoD - Levels - of - Detail) are conducted. 3D city models are produced in a fast and economical way at higher level of detail by using Digital Elevation Model (DEM) and Digital Surface Models (DSM) produced by LiDAR as well as photogrammetric data.

In this study, an approach for the production of 3D city model using photogrammetric map and LiDAR data is proposed. 3D city model was successfully produced at LOD2 level with the proposed approach using photogrammetric data and LiDAR data by ArcGIS and CityEngine software in the study area in Beyoğlu, İstanbul. A database of objects was prepared for the produced 3D city model and various inquiries were made possible. The generated 3D city model was transferred to different platforms such as GoogleEarth, WebViewer and so on to interact with the user via CityGML.

Keywords

3B City Modelling, LOD, CityEngine, CityGML, WebViewer, ArcGIS

1. Giriş

Bir kentin bina, ağaç, bitki örtüsü, yollar ve diğer insan yapısı objeler gibi üç boyutlu geometrik unsurlarını temsil eden bilgisayar ortamındaki modelleri 3 boyutlu kent modeli olarak isimlendirilmektedir. Bu 3B modeller, görselleştirmenin yanı sıra kentsel planlama, çevresel gürlütlü haritaları üretimi, güvenlik servisleri, afet yönetimi, telekomünikasyon, navigasyon, turizm ve uçuş simülasyonu vb. gibi birçok uygulamada başarıyla kullanılmaktadır (Over vd., 2010). Bu uygulamalarda kullanılan tipik bir 3B kent modeli, fotogrametri, lazer tarayıcılarla elde edilen veriler, yapay açıklıklı radar (SAR) verileri, mimari modeller, 3 boyutlu röleve çizimleri ve farklı ölçme ve veri toplama yöntemleri ile elde edilen verilerin bütünleşik kullanımı ile üretilmektedir (Biljecki vd., 2015; Biljecki vd., 2016). Son yıllarda sayısal fotogrametri yöntemi ve LiDAR teknolojisi ile üretilen yoğun nokta bulutları ve sayısal yüzey modelleri 3B kent modeli üretim çalışmalarında yaygın olarak kullanılan veri kaynakları olarak karşımıza çıkmaktadır (Nex and Remondino, 2012).

Farklı uygulamalarda kullanılan 3B kent modeli ihtiyaçları ve özelliklerinin farklı olmasına rağmen üretilen modellerin standartlaştırılması ve aynı platformda sunulması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu amaçla, 3 boyutlu kent modellerinin standartlaşması ve gerçekleştirilen uygulamaların paylaşılabilmesi için CityGML standartları geliştirilmiştir. Open Geospatial Consortium (OGC) tarafından oluşturulan uluslararası CityGML standartları 3B kent modellerinin geometrik, topolojik ve semantik yönlerini kapsamaktadır (Kolbe vd., 2005). CityGML standartlarına göre, çok ölçekli modelleme için mekansal ve semantik özellikler beş ardışık ayrıntı düzeyinde (LoD) tanımlanmıştır (Kolbe vd., 2005; Arefi vd., 2008; Gröger ve Plümer, 2012). LoD0 2.5 boyutlu Sayısal Arazi Modelini içeren bölgesel model, LoD1 çatı yapıları olmayan bina bloğu, LoD2 çatı yapıları dahil bina modeli, LoD3 detaylı mimari dahil bina modeli ve LoD4 iç model dahil bina modelini ifade etmektedir (Arefi vd., 2008). 3B kent modelleri, derecesini ve ölçeğini gösteren bir ölçü olan bu ayrıntı düzeyleri ile karakterize edilmektedir (Biljecki vd., 2015). CityGML standartları sayesinde 3 boyutlu kent modelleri, klasik modellerin aksine farklı platformlara kolaylıkla aktarılabilen ve böylece kullanıcıların sürekli olarak erişimine olanak sağlanabilmektedir. 3 boyutlu kent modellerinin kullanıcılara açılarak etkileşimli hale gelmesi ise Google Earth,

* Sorumlu Yazar E-posta: ynaci@yildiz.edu.tr (Naci Yastıklı)

BingMaps ve benzer diğer servislerin ortaya çıkması ve gelişmesi ile sağlanmıştır (Leberl vd., 2009). Fakat bu 3B kent modelleri henüz LoD1 veya LoD2 gibi kaba bir ayrıntı düzeyinde kullanıcıya sunulmaktadır.

Bu çalışmada, 3 boyutlu kent modelinin fotogrametrik veriler ve hava LiDAR verileri kullanılarak üretilen Sayısal Yükseklik Modeli ve Sayısal Yüzey Modeli yardımıyla otomatik üretim olanakları araştırılmış ve 3B kent modeli üretimine yönelik bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşım ile çalışma alanı olarak seçilen İstanbul'un Beyoğlu ilçesi Tophane ve Karaköy semtleri içerisinde yaklaşık 40 hektarlık bir alanda ArcGIS ve CityEngine yazılımları kullanılarak 3 boyutlu kent modeli otomatik olarak üretilmiştir. Çalışma alanına ilişkin LoD2 düzeyinde üretilen modelde binalar, yollar, ağaçlar ve deniz 3 boyutlu olarak modellenmiş ve kullanıcıların internet üzerinden erişebileceği formata dönüştürülmüştür. Üretilen 3 boyutlu model aynı zamanda hazırlanan veri tabanı yardımıyla çeşitli sorgulamaların yapılabilmesine olanak sağlayacak şekilde üretilmiştir.

Çalışmanın amacı doğrultusunda, ikinci bölümde otomatik 3B kent modeli üretimi için önerilen yöntemin detaylarına, üçüncü bölümde ise çalışma alanı ve kullanılan verilere yer verilmiştir. 3B kent modeli üretimine ilişkin uygulama aşamaları dördüncü bölümde, sonuç ve öneriler ise çalışmanın son bölümü olan beşinci bölümde sunulmuştur.

2. Yöntem

3B kent modeli üretiminin popüler araştırma alanlarından biri olmasıyla birlikte bugün hala yoğun kentsel alanların doğru bir şekilde modellenmesi ve görselleştirilmesi konusunda önemli güçlükler yaşanmaktadır. Araştırmaların yoğunlaştığı diğer önemli bir konuda düşük maliyetli ve kullanıcılara hızlı çözümler sunan 3B model kent modeli üretim olanaklarının araştırılmasıdır (Haala ve Kada, 2010; Nex and Remondino, 2012). 3B kent modeli üretimi uygulamalarında kentsel yapıların modellenmesi prosedürel modelleme (procedural modelling), sentez yöntemler ve diğer yarı otomatik üretim yöntemleri gibi çeşitli yaklaşımlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerden öne çıkan prosedürel modelleme yöntemi, nispeten basit bir dizi parametre ve kurallar kullanılarak binalar da dahil karmaşık kentsel yapıların otomatik olarak modellenmesi için kullanılmaktadır (Vanegas vd., 2010). Prosedürel modelleme, sıfırdan modelleme yapmak ve ayrıca herhangi bir detay seviyesindeki ilk 3B şehir modellerinden başlayarak yeni modeller türetmek için kullanılan esnek bir yöntemdir. Bu yaklaşımda geometri ayrıntılar, sonlu bir dizi temel şeklin konfigürasyonundan başlayarak üretim kuralları tarafından tanımlanan kontrollü bir süreçle eklenebilmektedir (Billen vd., 2014). Prosedürel modellemede binalar için tanımlanan üretim kuralları önce bir ham hacimsel model oluşturularak bina cephesini yapılandırmaya başlar ve sonraki aşamalarda pencereler, kapılar ve süslemeler için ayrıntılar eklenir (Müller vd., 2006). Prosedürel mimari modelleme, gramer tabanlı modellemeye dayanan grafik gramerler (graph grammars), şekil gramerler (shape grammars), L-sistemler (L-systems) gibi farklı üretim sistemlerini kullanabilir (Vanegas vd., 2010). Buradaki L-sistemi, bir dizi üretim kuralına dayanan paralel bir dize yeniden yazma mekanizmasıdır (Parish ve Müller, 2001). Çoğu L sistemi, dizelerin geometrik bir yorumu olarak Logo stili bir kaplumbağa kullanır. Temel fikir, kaplumbağanın bir durumunu kartezyen koordinat sistemindeki konumu ve yönelimi, rengi, çizgi genişliği vb. gibi bir dizi nitelik olarak tanımlanmasıdır (Marvie vd., 2005).

Birçok 3B kent modeli üretim yaklaşımında veriler Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında saklanmaktadır. En basit ama etkili modelleme stratejisi, yüksekliklerini LiDAR gibi diğer bilgi kaynaklarından elde ederek 2B bina şekillerinin çıkarılmasıdır. Böylece bu modeller hızlıca 3B kent modellerinde kolay bir görünüm sağlayacak şekilde oluşturulabilirler (Haala ve Kada, 2010; Valencia vd., 2015). Günümüzde, 3B kent modellerini oluşturmak ve yönetmek için CityEngine, ESRI, Infrastructure Design Suite, Autodesk, Bentley Map, Bentley ve GeoMedia 3D Hexagon Geospatial gibi farklı yazılım araçları bulunmaktadır ve bu yazılımların 3B kent modelleri üretmek için onları çok yönlü hale getiren bir dizi ortak seçenekleri vardır (Valencia vd., 2015). Bu yazılımlardan biri olan CityEngine, nispeten küçük bir set istatistiksel ve coğrafi girdi verileri kullanarak bütün bir şehri modelleyebilen ve kullanıcı tarafından yüksek düzeyde kontrol edilebilen bir sistemdir. Kullanıcıların ihtiyaçlarına göre genişletilebilen hiyerarşik anlaşılabilir kurallar dizisine dayanarak kentsel ortam sıfırdan yaratır (Parish ve Müller, 2001). Modeli oluşturan diğer unsurlar (bitki örtüsü, sokak görünümü) ile tamamlanacak kent alanına bilgi eklemek (SYM, CAD, 3B model vb.) ilk adımdır. Son olarak, diğer estetik unsurlar modele dahil edilir (Valencia vd., 2015).

Bu çalışmada, Beyoğlu ilçesindeki Tophane ve Karaköy semtlerinin düşük maliyetli 3 boyutlu kent modeli üretimi ESRI ailesinin ürünleri olan ArcGIS ve L-sistemlere dayanan prosedürel modelleme yaklaşımını kullanan CityEngine yazılımları ile otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. 3B model sayısal fotogrametrik harita verilerinden elde edilen binalar, ağaçlar, deniz yüzeyi; LiDAR verilerinden üretilen SYM, YM, ortofoto; ArcGIS'in sağladığı topografik harita ve Open Street Map (OSM) veri sağlayıcısından elde edilen yol verileri kullanılarak üretilmiştir. İlk olarak çalışma alanında bulunan objeleri içerecek şekilde ArcGIS ortamında oluşturulan veri tabanı CityEngine yazılımına aktarılmış ve CityEngine'in CGA (Computer Generated Architecture) tabanlı kural dosyalarından (rule file) yararlanarak bina ve ağaçların 3 boyutlu modelleri elde edilmiştir. Bu modellere deniz yüzeyi ve OSM'den indirilen yol verileri eklenerek 3B kent modeli üretimi tamamlanmıştır. Binalara çatı ve yüz modelleme uygulamaları gerçekleştirilerek kent modeli estetik olarak gerçekçi bir görünüme kazandırılmıştır. Ve son olarak çalışmanın son kullanıcılarla paylaşılması için City Engine – Web Scene, Google Earth ve Web Viewer gibi ortamlara farklı LoD düzeylerinde aktarılmıştır.

3. Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

3B kent modeli üretimi için, İstanbul Avrupa yakasındaki Beyoğlu ilçesinde yer alan Tophane ve Karaköy semtleri çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Kentsel bir bölge olan çalışma alanına ait ortofoto görüntü Şekil 1’de verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan bina ve ağaç verileri, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından 2013 yılı Kasım ayında elde edilen hava fotoğraflarından fotogrametrik yöntemle üretilen 1/1000 ölçekli üç adet paftadan alınmıştır. Aynı proje kapsamında üretilen çalışma alanına ait 1/1000 ölçekli üç adet ortofoto görüntü ve ArcGIS’in online olarak sağladığı topoğrafik harita verileri de altlık olarak kullanılan verilerdir. Bu çalışmada ayrıca, yine İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nden temin edilen ve ‘Hava LiDAR Teknolojisiyle Sayısal Yüzey Modeli ve 3 Boyutlu Kent Modeli Projesi’ kapsamında 2013 yılı Eylül ayında toplanan LiDAR verileri kullanılarak elde edilen Sayısal Yükseklik ve Sayısal Yüzey Modeli verilerinden de yararlanılmıştır. 3B kent modelinde kullanılacak diğer veri türü olan yol verileri ise ‘Open Street Map (OSM)’ veri sağlayıcısından elde edilmiştir.



Şekil 1: Çalışma alanına ait ortofoto görüntü

Çalışmanın amacı doğrultusunda 3 boyutlu kent modeli üretimi, ESRI firması tarafından geliştirilmiş ölçeklendirilebilir entegre bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı olan ArcGIS ve yine ESRI ailesinin kentsel çevreler için 3B modelleme yazılımı olan CityEngine kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4. 3B Kent Modeli Üretimi

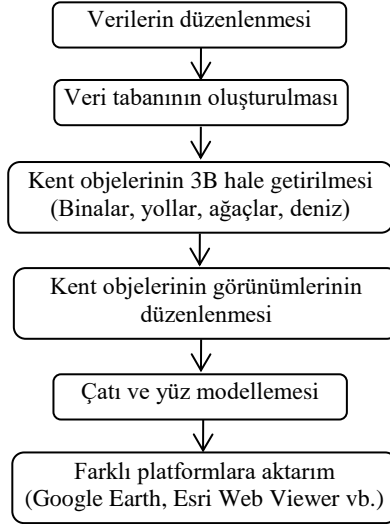
Bu çalışmada gerçekleştirilen 3 boyutlu kent modeli üretimi uygulamasının genel iş adımları Şekil 2’de yer almaktadır. Çalışma alanına ait veriler üç paftadan oluştuğu için öncelikle ortofoto, Sayısal Yükseklik Modeli ve Sayısal Yüzey Modelleri çalışma alanının oluşturulması amacıyla ArcGIS ortamında birleştirilmiştir. Uygulamada altlık olarak kullanılması amacıyla ArcGIS’in sağladığı topoğrafik haritadan çalışma alanını içeren kısım, daha önce birleştirilen ortofoto, Sayısal Yükseklik Modeli ve Sayısal Yüzey Modelleri’nin sınırlarından yararlanılarak elde edilmiştir. Topografik haritanın iyi bir kalitede olması için çözünürlüğü artırılmış ve JPEG formatında sıkıştırılmıştır. Benzer şekilde daha performanslı bir çalışma için büyük boyutlu ortofoto görüntü de istenilen boyutta sıkıştırılarak JPEG olarak kaydedilmiştir.

3B kent modelinde yer alacak binalar, ağaçlar ve deniz için bir veri tabanı hazırlanması gerekmektedir. Fotogrametrik harita verilerinde CAD formatında yer alan binalar SQL sorgusu ile seçilerek ArcGIS veri tabanına aktarılmıştır. Ayrıca dgn uzantılı 1/1000 ölçekli sayısal fotogrametrik paftada ‘polyline’ olarak yer alan binalar poligon yapıya dönüştürülmüştür. Veri tabanına aktarılan binalar ve oluşturulan öznitelik listesi Şekil 3’de yer almaktadır. Bu sütunlardan bir kısmı boş (null) bırakılmış olup, kullanıcılara gerekli görüldüğü takdirde doldurulması için hazırlanmıştır. Bina yüksekliklerinin hesaplanmasında CityEngine yazılımı için hazırlanan ve ESRI’nin CityEngine için hazırladığı web sayfasından temin edilen ‘Calculate Building Elevations’ aracı kullanılmıştır ve böylece Sayısal Yükseklik Modeli ve Sayısal Yüzey Modeli arasındaki yükseklik farkı ‘TotalHeight’ özniteliği olarak elde edilmiştir.

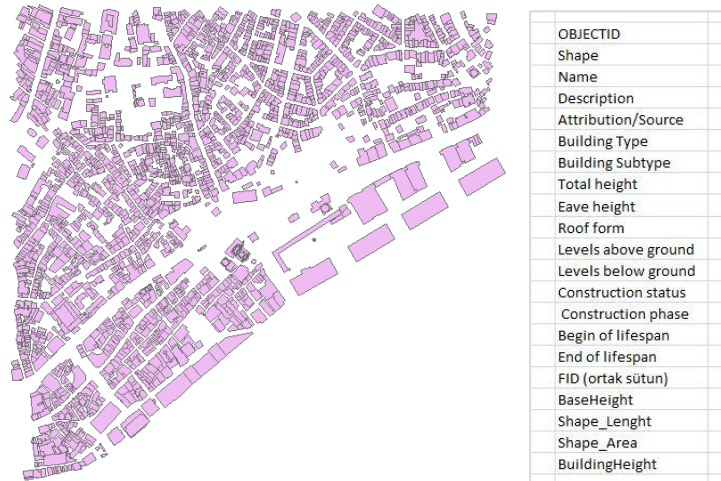
Kent modeli üretimi için ağaçlar da binalara benzer şekilde dgn uzantılı 1/1000 ölçekli sayısal fotogrametrik paftadan yararlanılarak ArcGIS veri tabanına aktarılmıştır. ‘OBJECTID’, ‘TreeFID’ (ortak sütun), ‘Name’, ‘Description’, ‘Attribution’, ‘Type’, ‘Subtype’, ‘BeginLifespan’, ‘EndLifespan’, ve ‘Height’ ağaçlar için oluşturulan özniteliklerdir. Ağaç yükseklikleri yine bina yüksekliklerine benzer şekilde CityEngine yazılımı için hazırlanan ‘Tree Height Calculator’ aracı kullanılarak Sayısal Yükseklik Modeli ve Sayısal Yüzey Modeli arasındaki yükseklik farkından elde edilmiştir. Oluşturulan veri tabanı için ağaçların elde edilmesinin ardından deniz yüzeyinin elde edilmesi gerekmektedir. 1/1000 ölçekli sayısal fotogrametrik paftadan kıyı çizgileri alınıp tamamlanarak poligon şeklindeki deniz yüzeyi yine ArcGIS ortamında elde edilmiştir. Deniz yüzeyi için özel bir özniteliği ihtiyaç duyulmamıştır.

Veri tabanı oluşturma aşamasının ardından SYM, verilerin düzenlenme aşamasında elde edilen topoğrafik harita ve ortofoto ve oluşturulan deniz yüzeyi kullanılarak CityEngine ortamında çalışma alanına ait 3B kent modelinin oluşturulacağı yeryüzü elde edilmiştir. Daha önceden hazırlanan veri tabanındaki bina katmanı yüzey üzerinde açılmış ve web üzerinde modelleme için hazır kaynak olarak sunulan CGA kural dosyası (rule file) binaların 3 boyutlu görünmesi

için yazılıma eklenmiştir (Şekil 4). Buradaki CityEngine'in CGA (Computer Generated Architecture) şekil grameri mimari 3B içerik oluşturmak için kullanılan eşsiz bir programlama dilidir. Binalardan sonra ağaç katmanı da yüzey üzerine eklenerek benzer adımların ardından ağaç modelleme işlemi de gerçekleştirilmiştir. Son olarak, 3B modeldeki yolların coğrafi verilerin oluşturulması ve dağıtılması için açık kaynaklı bir araç olan Open Street Map (OSM) üzerinden eklenme işlemi gerçekleştirilmiştir. Önce ArcGIS'in Open Street Map aracı web aracılığıyla yazılıma entegre edilmiş ve bu araç kullanılarak çalışma alanını içeren yollar yine web üzerinden elde edilmiştir. Ardından yine uygun kural dosyası seçimi ile model üzerine yolların aktarılması sağlanmıştır.

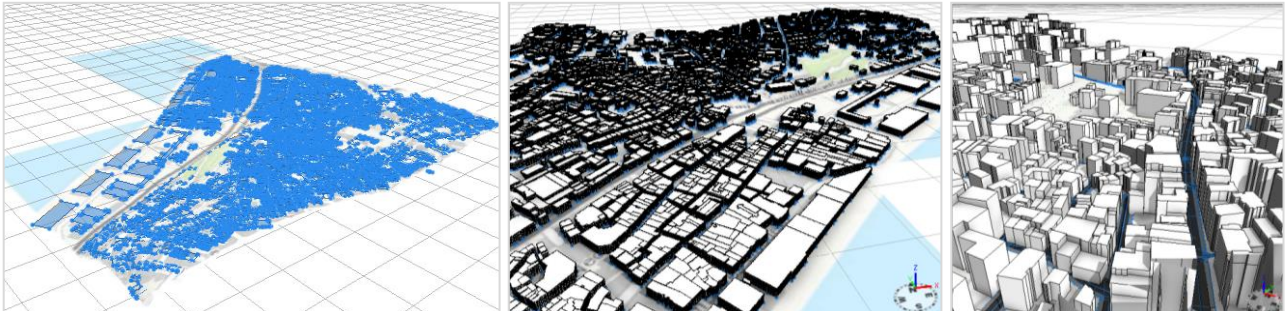


Şekil 2: 3B kent modeli üretiminin genel iş adımları



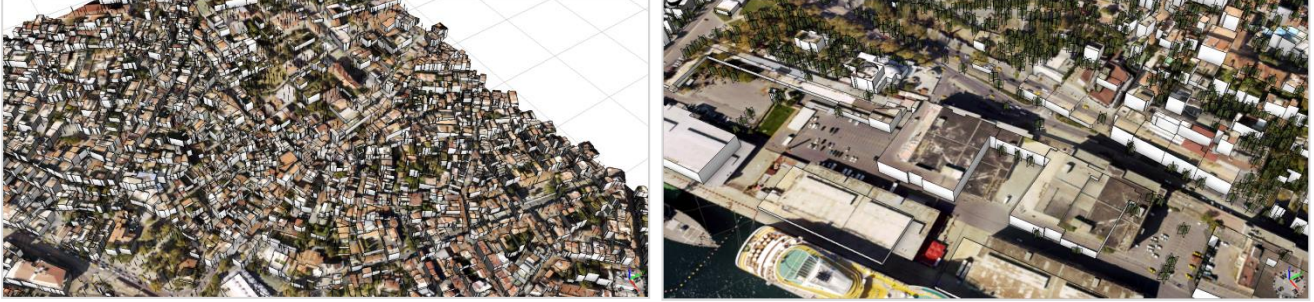
Şekil 3: Veritabanına aktarılan binalar (sol) ve binalar için oluşturulan öznelik sütunlarının listesi (sağ)

3 boyutlu kent modeli oluşturulduktan sonra modele görsellik katmak ve modelin gerçeğe yakınlığını arttırmak için bina çatılarının modellenmesi ve binalara yüz giydirme uygulamaları gerçekleştirilebilmektedir. Bu amaçla öncelikle CityEngine yazılımında modelleme için kullanılan kural dosyası (rule file) bilgileri değiştirilerek çalışma alanına ait ortofoto görüntünün tüm binalara giydirilmesi sağlanmıştır (Şekil 5). Bu aşamada giydirilmek istenen ortofoto görüntünün boyut ve ofset bilgileri ilgili kuralda yerine konulmuştur.



Şekil 4: Binaların yüzey üzerinde gösterimi (sol), binaların 3B görünümü (orta) ve 3B modele yolların eklenmiş hali (sağ)

Tüm binalara görüntü giydirilmesinin ardından ise bina çatılarının ve yüzlerinin tek tek modellenmesi test edilmiştir. Çatıların modellenmesi için öncelikle çatı fotoğraflarının giydirilmeye uygun hale getirilmesi gerekir. CityEngine ortamında bir bina çatısı için uygun hale getirilen gerçek 'Google Earth' görüntüsü seçilmiş ve bina poligonuna uygun şekilde uzatma, ilgili köşeden eşleştirme gibi seçenekler düzenlendikten sonra fotoğraf giydirmeye işlemi gerçekleştirilmiştir. CityEngine ortamında binalara yüz giydirmek için de yine kural dosyalarının düzenlenmesi gerekmektedir. 3 boyutlu bina modellemesi için kullanılan kural dosyalarının içine istenilen şekilde görüntü konulabilir, hatta .obj formatında belirlenen pencere gibi detaylara da görüntü giydirilebilir. Duvarlar, pencereler ve kapılar 'Google Maps' görüntüsü kullanılarak giydirilmiştir. Gerçek 'Google Earth' görüntüsü giydirilen çatı, 'Google Maps' görüntülerinin giydirildiği yüz, pencere ve kapı örnekleri Şekil 6'da görülmektedir.

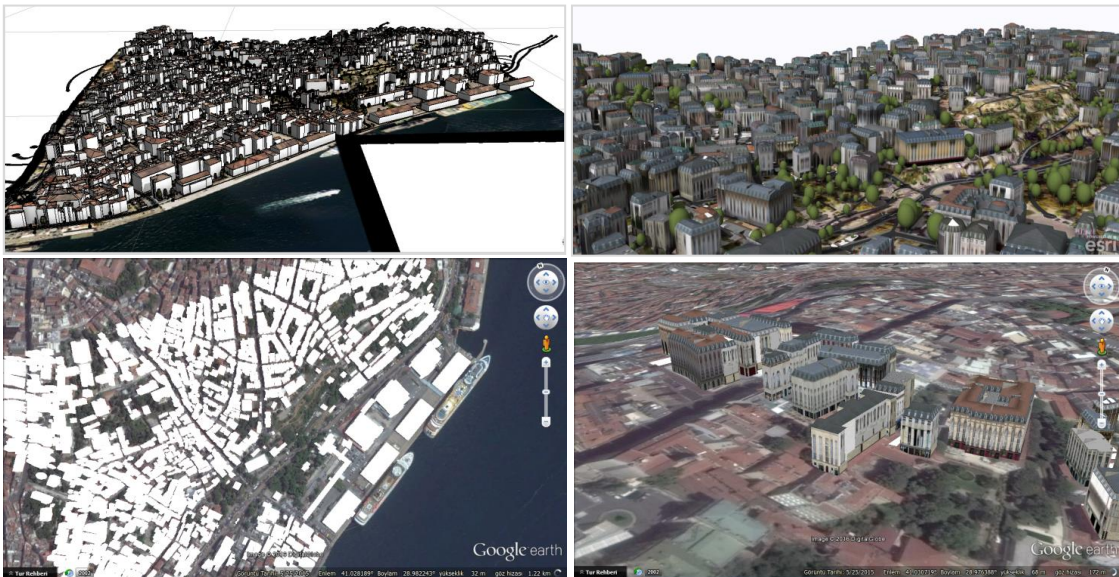


Şekil 5: Ortofoto görüntü giydirilmiş çatıların genel (sol) ve yakından görünümü (sağ)



Şekil 6: Gerçek 'Google Earth' görüntüsü giydirilen çatı (sol), 'Google Maps' görüntülerinin giydirildiği yüz (sol,orta), pencere (orta) ve kapı (sağ) örnekleri

Üretilen 3B kent modeline son kullanıcıların erişebilmesi için bu model farklı interaktif uygulamalara aktarılabilir. Ancak bu işlem gerçekleştirilirken kullanılacak uygulamanın altyapısı ve desteklediği formatlar dikkate alınmalıdır. CityEngine ortamında aktarılmak istenen katmanlar seçilip ve aktarılan uygulamanın özelliklerine göre verinin hangi formatta çıkacağı da belirlenerek City Engine – Web Scene, Google Earth ve Web Viewer uygulamalarına üretilen 3B kent modeli farklı ayrıntı seviyelerinde aktarılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7: 3B kent modelinin City Engine – Web Scene (sol üst), Web Viewer (LoD2) (sağ üst), Google Earth (LoD1) (sol alt) ve Google Earth'e (LoD2) (sağ alt) aktarılmış hali

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, son yıllarda kent planlaması, tesis yönetimi, kapalı mekân navigasyonu, 3 boyutlu kadastro gibi birçok farklı uygulamada kullanılabilecek çok popüler bir uygulama olan 3 boyutlu kent modeli üretimi gerçekleştirilmiştir. İstanbul ilinin Avrupa yakasında yer alan Beyoğlu ilçesindeki Tophane ve Karaköy semtlerinin LoD2 düzeyinde 3B kent modeli, fotogrametrik harita verilerinden elde edilen binalar, ağaçlar, deniz yüzeyi; LiDAR verilerinden üretilen SYM, YM, ortofoto; ArcGIS'in sağladığı topografik harita ve Open Street Map veri sağlayıcısından elde edilen yol verileri kullanılarak üretilmiştir. Çalışma alanında bulunan objeleri içerecek şekilde ArcGIS ortamında oluşturulan veri tabanı CityEngine yazılımına aktarılmış ve CityEngine'in CGA tabanlı kural dosyalarından (rule file) yararlanarak bina ve ağaçların 3 boyutlu modelleri elde edilmiştir. Bu modellere deniz yüzeyi ve OSM'den indirilen yol verileri eklenerek 3B kent modeli üretimi tamamlanmıştır. Binalara çatı ve yüz modelleme uygulamaları gerçekleştirilmiş ve son olarak çalışmanın son kullanıcılarla paylaşılması için City Engine – Web Scene, Google Earth ve Web Viewer gibi ortamlara farklı LoD düzeylerinde aktarılmıştır.

Bu çalışma sırasında önerilen yöntem ile LoD2 seviyesinde 3B kent modeli üretimi başarıyla gerçekleştirilmiş ve bu modellerin farklı çalışmalarda kullanım potansiyeli ortaya konmuştur. Bu çalışmada oluşturulan veri tabanı üzerinden temel CBS sorgulamaları yapılabilir ve farklı projelerde, farklı sorgulamalar geliştirilerek istenen amaçlar için kullanılabilir. Çatı ve yüz modelleme uygulamaları sayesinde kent modelleri görselliği yüksek ve daha gerçekçi bir görünüme kavuşturulabilir. Ayrıca bu kent modelleri farklı uygulamalar aracılığıyla web ortamında servis edilerek son kullanıcıların aktif olarak yararlanması da sağlanabilir.

Teşekkür

Çalışma alanına ait fotogrametrik harita ve LiDAR verilerinden üretilen SYM ve YM verilerini sağladığı için İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- Arefi H., Engels J., Hahn M. and Mayer H., (2008), *Levels of Detail in 3D Building Reconstruction from LIDAR Data*, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII-B3b.
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., Çöltekin, A., (2015), *Applications of 3D city models: state of the art review.*, ISPRS International Journal of Geo-Information 4, 2842.
- Biljecki, F., Ledoux H., Stoter J., (2016), *Generation of multi-LOD 3D city models in CityGML with the procedural modelling engine Random3Dcity*, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., IV-4/W1: 51-59.
- Billen R., Cutting-Decelle A.F., Marina O., de Almeida J.P., Matteo C., Falquet G., Leduc T., Métral C., Moreau G., Perret J., vd., (2014), *3D City Models and urban information: Current issues and perspectives*, 3D City Models and Urban Information: Current Issues and Perspectives—European COST Action TU0801; EDP Sciences: Les Ulis, France, 2014; pp. 1–118.
- Gröger G., Plümer L., (2012), *CityGML – Interoperable semantic 3D city models*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 71 (2012) 12–33.
- Haala N., Kada M., (2010), *An update on automatic 3D building reconstruction*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 65.6 (2010): 570-580.
- Kolbe T. H., Gröger G., Plümer L., (2005), *CityGML – Interoperable Access to 3D City Models*, van Oosterom, Zlatanova, Fendel (eds.), Geo-Information for Disaster Management (Proc. of the Int. Symp. on Geo-Information for Disaster Management GI4DM), Delft, Netherlands, March 21-23, Springer.
- Leberl F., Kluckner S., Bischof H., (2009), *Collection, processing and augmentation of VR*, Fritsch, D. (Ed.), Photogrammetric Week 2009, Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 251–263.
- Marvie J.-E., Perret J., Bouatouch K., (2005), *The fl-system: a functional l-system for procedural geometric modelin.*, The Visual Computer 21(5), pp. 329 – 339.
- Müller P., Wonka P., Haegler S., Ulmer A., Van Gool L., (2006), *Procedural Modeling of Buildings*, ACM Transactions on Graphics, 25(3):614–623.
- Nex F., Remondino F., (2012), *Automatic roof outlines reconstruction from photogrammetric DSM*, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 1.3 (2012): 257-262.
- Over M., Schilling A., Neubauer S., Zipf A., (2010), *Generating web-based 3D city models from OpenStreetMap: The current situation in Germany*. Comput. Environ. Urban Syst. 2010, 34, 496–507.
- Parish Y. I. H., Müller P., (2001), *Procedural modeling of cities*, Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, p.301-308, August 2001 [doi>10.1145/383259.383292].
- Valencia J., Muñoz-Nieto A., Rodriguez-Gonzalez P., (2015), *Virtual Modelling for Cities of the Future. State-of-the-Art and Future Challenges*, 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, Avila, Spain.
- Vanegas C. A., Aliaga D. G., Wonka P., Mueller P., Waddell P., Watson B., (2009), *Modeling the appearance and behavior of urban spaces*, COMPUTER GRAPHICS forum Volume 29 (2010), number 1 pp. 25–42.