3 BOYUTLU ŞEHİR MODELİ OLUŞTURMA VE WEB TABANLI GÖRSELLEŞTİRME

Mehmet BÜYÜKDEMİRCİOĞLU¹, Sultan KOCAMAN², Ümit IŞIKDAĞ³

¹Yük.Müh., Hacettepe Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe, Ankara, mbuyukdemircioglu@hacettepe.edu.tr

²Doç.Dr., Hacettepe Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe, Ankara, sultankocaman@hacettepe.edu.tr

³Doç.Dr., Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Enformatik Bölümü, 34380, Şişli, İstanbul, umit.isikdag@msgsu.edu.tr

ÖZET

3 boyutlu şehir modelleri günümüzde şehirlerin etkili yönetimi için artık bir zorunluluk hâline gelmiştir ve afet yönetimi, navigasyon, güneş potansiyeli ve planlama simülasyonları gibi farklı amaçlarla kullanılabilir. Bu modeller sadece görsel bir model olmanın dışında, modele eklenebilen semantik bilgiler yardımıyla tematik sorgular ve analizler yapılmasına imkân verebilmektedir. Şehir modelleri üretimi farklı veri kaynaklarından farklı yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir. Bu çalışmada BÖHYY (Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliği) göre Türkiye’de üretilmekte olan fotogrametrik halihazır harita verileri ve stereo hava fotoğrafları kullanılarak bir yarı-otomatik 3 boyutlu şehir modeli üretimi için iş akış şeması geliştirilmiştir. Çalışmanın amacı fotogrametrik yöntemlerle üretilmiş olan verilerle, ek veri alımına ihtiyaç kalmadan şehir modeli üretmektir. Çalışma esnasında olabildiğince açık kaynak kodlu veya eğitim/araştırma lisansı ücretsiz olan yazılımlar tercih edilmiştir. Yöntemin uygulaması için Çeşme / İzmir bölgesine ait geniş formatlı dijital hava kamerası görüntüleri ve bu projeden üretilmiş halihazır harita verileri yardımıyla 3 boyutlu şehir modeli üretimi LoD2 seviyesinde yarı-otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen model otomatik olarak fotoğraflardan giydirilmiş, öznitelik bilgileri ve sayısal arazi modeli ile birlikte web üzerinde görselleştirilmiştir. Web üzerinde görselleştirilen model www.cesme3d.com adresinde internet üzerinden yayına açılmıştır. Çalışma boyunca karşılaşılan sorunlar not edilerek sonuç bölümünde bu sorunların çözümüne dair yaklaşımlar belirtilmiştir.

Anahtar Sözcükler: 3 boyutlu şehir modeli, görselleştirme, sayısal yüzey modeli, sayısal arazi modeli

ABSTRACT

IMPLEMENTATION AND WEB-BASED VISUALIZATION OF 3D CITY MODELS

3D city models have become crucial for a better city management, and can be used for various purposes such as disaster management, navigation, solar potential computation and planning simulations. 3D city models are not only visual models, and thematic queries and analyzes can be performed with the help of semantic data. They can be produced using different data sources and methods. In this study, basemaps and large-format aerial images, which are produced in accordance with the regulations of large-scale map production in Turkey (called BOHYY) have been used to develop a workflow for semiautomatic 3D city model generation. The aim of this study is to generate a 3D city model from existing aerial photogrammetric datasets without any additional data acquisition or costly manual processing. During the production, open source software or other tools with free educational/research licences have been preferred. As a result, a 3D city model has been generated with semi-automatic methods at LoD2 of CityGML using the data of study area near Çeşme / İzmir. The generated model is automatically textured and visualized on the web along with the attribute information and digital terrain model. The model is published on the web at www.cesme3d.com. The problems encountered throughout the study and approaches to solve them are presented here.

Keywords: 3D city model, visualisation, DSM, DTM

1. GİRİŞ

3 Boyutlu şehir modelleri günümüzde şehirlerin planlanması ve yönetilmesi açısından önemli birer araç hâline gelmiştir. Şehir modellerinde bulunan objelere anlamsal bilgilerin eklenmesi, modellerin sadece birer görsel araç olmaktan çıkıp üzerinde çeşitli sorgular ve simülasyonlar yapılabilen birer araç hâline gelmesini sağlamıştır. 3 boyutlu şehir modeli üretimi LiDAR nokta bulutu (Kada ve McKinley, 2009), hava fotoğrafları (Haala ve Kada, 2010; Haala vd., 2015), uydu görüntüleri (Kocaman vd., 2006; Kraus vd., 2007), İHA görüntüleri veya kadastral haritaları ile SYM kombinasyonundan (Flamanc vd., 2003) üretilebilir. Bu modellerin kullanım alanları ve uygulamaları sürekli olarak gelişmektedir. 3 Boyutlu şehir modellerinin görselleştirme, simülasyon, afet yönetimi ve navigasyon gibi 29’dan fazla kullanım alanı mevcuttur (Biljecki vd., 2015). Günümüzde şehirler yüzbinlerce hatta milyonlarca yapıdan oluşmaktadır. Bu kadar fazla sayıda yapının manuel olarak çizilmesi ve anlamlandırılması çok fazla iş gücü ve maliyeti beraberinde getirmektedir. Fotogrametri, 3 boyutlu yüzey çıkarımında yaygın olarak kullanılmaktadır ve 3 boyutlu şehir modelleri için veri üretiminde en çok tercih edilen teknolojilerden biridir (Şengül, 2012).

Bu çalışmada Türkiye’de üretilen fotogrametrik halihazır harita verileri kullanılarak bir yarı-otomatik 3 boyutlu şehir modeli üretimi potansiyeli incelenmiştir. Çalışmada Çeşme / İzmir bölgesine ait veriler kullanılarak yarı-otomatik olarak bir 3 boyutlu şehir modeli oluşturulması ve web üzerinde görselleştirilmesi için iş akış şeması geliştirilmiştir.

2. UYGULAMA

Çalışma alanı 260 km² büyüklüğündeki tüm Çeşme ilçesinin tamamını kapsamaktadır. Hava fotoğrafı alımı %80 enine %60 boyuna bindirmeli olarak 2016 yılının Mayıs ayında gerçekleştirilmiştir. Fotoğraflar 8 cm yersel çözünürlükte olacak şekilde deniz seviyesinden yaklaşık 1500 m yükseklikte çekilmiştir. Yer kontrol noktası tesis ve ölçümler, yapılmış, aynı zamanda GNSS ve IMU teknolojileri dış yöneltme parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Hâlihazır harita üretimi ve kıymetlendirme fotogrametri operatörleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Eş yükselti eğrileri, şevler ve fotogrametrik yükseklik noktaları kullanılarak tüm alana ait bir sayısal arazi modeli üretilmiştir. Son olarak ise tüm alana ait 10 cm çözünürlüğünde ortofoto üretimi yapılmıştır.

Otomatik olarak CityGML formatı LoD2 seviyesinde şehir modeli üretimi için BuildingReconstruction (2018) yazılımı seçilmiştir. Bu yazılımı girdi verisi olarak bina izdüşümleri, sayısal yükseklik modeli ve sayısal arazi modelini beraber kullanarak, bina geometrilerini otomatik olarak istenilen öznetelik bilgileriyle beraber üreterek CityGML formatında kaydetmeye imkân vermektedir. Üretilen model otomatik doku kaplaması yapılarak web üzerinde görselleştirilmiştir.

2.1 Bina İzdüşümü ve Öznetelik Üretimi

Mevcut BÖHYY'ne göre üretilmiş hâlihazır harita verilerinde binaların dış çatı sınırı baz alınarak çizilmiş izdüşümleri bulunmaktadır. BÖHYY'ne göre üretilen fotogrametrik hâlihazır haritalar genellikle 200'den fazla CAD katmanı içerirler. Bu katmanlardaki veri ve bilgiler bina izdüşümlerini ve bazı öznetelikleri çıkartabilmek için yeterlidir. Hava fotoğraflarından bina zemin sınırlarının çizilmesi mümkün olmadığından, bina çatılarının dış sınırları bina izdüşümü olarak kabul edilmiştir. Yapılar kullanım türlerine göre mesken, ticari, okul gibi farklı katmanlarda saklanmışlardır. Binalara ek olarak aydınlatma direkleri, yollar gibi diğer yapılar da operatörler tarafından çizilmiştir.

Hâlihazır haritaya ait vektör veriler *dgn* formatında olup herhangi bir öznetelik bilgisine sahip değildir. Üretilen şehir modelinde bulunan objeler öznetelik bilgilerini desteklemektedir. Çalışmada kullanılan BuildingReconstruction yazılımı, bina izdüşümlerini ESRI Shapefile formatında girdi olarak kabul etmektedir. FME yazılımı kullanılarak bina izdüşümlerine ait vektör veriler, yeni öznetelik bilgileri üretilerek Shapefile formatına dönüştürülmüştür. Bu öznetelik bilgileri daha sonra üretilen şehir modeline ait binalara eklenerek çeşitli sorgular yapılmasını sağlamaktadır.

2.2 Sayısal Arazi Modeli Üretimi

Sayısal Arazi Modeli (SAM), üzerinde insan yapısı ve bitki örtüsü olmayan çıplak dünya yüzeyinin 3 boyutlu olarak gösterimidir. Bu çalışmada arazi modeli, binaların zemin ile doğru biçimde kesişmesini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Eğer bina modelleri araziden yüksekte veya içerisinde oluşursa bu hatalı bir görüntüye sebep olacaktır. SAM üretilirken stereo hava fotoğrafları yardımıyla manuel olarak kıymetlendirilmiş eş yükselti eğrileri, şevler ve fotogrametrik yükseklik noktaları kullanılmıştır. Bu veriler FME yazılımı yardımıyla Delaunay üçgenlemesi yöntemiyle üçgenlenerek, bir metre çözünürlüğünde raster sayısal arazi modeli oluşturulmuştur. Arazi modeli oluşturulurken her bir pikselin yükseklik değerine sahip olmasına dikkat edilmiştir.

2.3 Sayısal Yüzey Modeli Üretimi

Görüntü eşleme yöntemleri ile LiDAR verisinden daha yoğun bir nokta bulutu üretilmektedir (Nex ve Remondino, 2012). Sayısal Yüzey Modeli (SYM) üretimi için üretim kalitesi (tamlık, yoğunluk ve doğruluk) ile üretim hızı arasında optimum bir denge elde etmek için birçok farklı yazılım denenmiştir. Üretim sırasında işlemci ile birlikte ekran kartını birlikte kullanan Agisoft Photoscan Pro (2018) yazılımı üretim hızı ve kalite olarak en ideal yazılım olarak belirlenmiştir. SYM elimizde bulunan %80 boyuna %60 enine bindirmeli hava fotoğrafları ve bu fotoğraflara ait dengelenmiş dış ve iç yöneltme parametreleri kullanılarak Agisoft Photoscan Pro yazılımı üretilmiştir. BuildingReconstruction yazılımı bina geometrilerini ideal doğrulukta üretebilmek için girdi verisi olarak 25 cm çözünürlüğünde bir sayısal yükseklik modeli istemektedir. Bu parametre göz önünde bulundurularak, 25 cm çözünürlüğünde sayısal yükseklik modeli üretilerek, raster formatında kaydedilmiştir.

Şekil 1. Üretilen sayısal Arazi Modeli ve Sayısal Yükseklik Modeli.

2.4 Otomatik 3 Boyutlu Şehir Modeli Üretimi

Yarı-otomatik kent modeli üretiminde, üretimin bazı kısımları kullanıcı tarafından manuel olarak gerçekleştirilirken, tam otomatik üretimde üretim hiçbir müdahale olmadan otomatik olarak yazılım algoritması tarafından gerçekleştirilir (Suveg ve Vosselman, 2004). Şehir modelinde bulunan binalara ait modelleri otomatik olarak üretebilmek için BuildingReconstruction yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım bina izdüşümleri, SYM ve SAM kullanarak, otomatik olarak bina geometrilerini CityGML ve Shapefile formatında üretebilmektedir. Bu yöntemin temel avantajı, 3 boyutlu şehir modellerinin binaların zengin semantik bilgiler ve tematik özellikleri ile birlikte otomatik olarak üretilmesidir. Eğer büyük alanlarda üretim yapılması planlanıyorsa, verilerin 1 km² veya daha küçük alanlara bölünmesi gerekmektedir. Çatı geometrisini tespit etmek ve üretmek için BuildingReconstruction yazılımında modele dayalı bir yaklaşım kullanılır ve dünya genelinde kentsel alanlarda yaygın olarak kullanılan 32 tip çatı geometrisi içeren bir kütüphane kullanılarak üretim yapılır. Her bir girdi olarak verilen bina izdüşümü için bağımsız bir 3 boyutlu bina geometrisi üretilir. Üretilen bina geometrisinin, yüzeyler arasında herhangi bir delik ya da boşluk olmaksızın tamamen kapatılması ve ayrıca bina izdüşümleri ile tamamen uyumlu şekilde üretilmesi sağlanmaktadır. Yazılım aynı zamanda grafik arayüzüyle kullanıcılara bina geometrileri üzerinde manuel düzenleme yapmasına imkân tanımaktadır.

Basit çatı tiplerine sahip binalar genel olarak karmaşık olanlardan daha doğru bir şekilde üretilmektedir. Bu sorun, yazılımın karmaşık çatı tiplerini kütüphanesinde bulunan modeller ile eşleştirememesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, çatılardaki küçük parçalar çoğunlukla yazılım tarafından göz ardı edilmektedir. Modele dayalı üretimin ana avantajı, hızlı bir şekilde doğru geometriye sahip ve yüzeyler arasında boşluk olmayan model üretimi gerçekleştirmesidir. En büyük dezavantajı ise karmaşık geometriye sahip çatı modellerini doğru üretememesidir.

CityGML, 3 boyutlu şehir modellerinin saklanması ve değişimi için kullanılan açık kaynaklı bir veri tipidir (Gröger ve Plümer, 2012). Yazılım kütüphane bazlı üretim yapmaktadır ve kütüphanesinde 32 adet farklı çatı modeli bulunmaktadır. Sayısal yükseklik modelini kullanarak çatı modelinin yapısını, sayısal arazi modelini kullanarak ise binanın yüksekliğini ve araziyle kesiştiği nokta ile birlikte, çatı alanı, çatı eğimi gibi bina yüzeylerine ait öznitelikleri otomatik olarak hesaplamaktadır. Girdi olarak verdiğimiz bina izdüşümü verisinde bulunan özniteliklerle yazılımın üretmiş olduğu öznitelikler birleştirilerek, şehir modeli CityGML yapısında öznitelik verileri ile birlikte kaydedilmiştir.

2.5 Bina Modellerine Otomatik Doku Kaplanması

CityGML veri yapısı bina modellerinin kaplama almasını desteklemektedir. Özellikle görselliğin ön planda olduğu ve modele ait gerçekliğin artırılması gereken durumlarda şehir modelleri ve binalar kaplama almalıdır. Kaplamalar aynı zamanda otomatik modelleme esnasında yanlış üretilen geometrik hataların tolere edilmesini sağlamaktadır. 3 boyutlu şehir modellerinde en önemli kriterlerden birisi gerçeğe yakın modeller oluşturmaktır. Bu en hızlı ve ekonomik olarak bina kaplamaları ile sağlanabilir. Bina kaplamaları için CityGRID Texturizer yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım stereo hava fotoğrafları ve bu fotoğraflara ait iç ve dış yöneltme parametrelerini kullanarak, CityGML formatında üretilmiş olan bina modellerinin otomatik olarak doku giydirilmesini sağlamaktadır. Üretilen binalara ait modelin hem dokusuz ve hem de doku giydirilmiş görüntüleri Şekil 2’de gösterilmektedir.

Şekil 2. Üretilen modelin doku giydirilmemiş görünümü (sol) ve doku giydirilmiş görünümü (sağ).

Otomatik doku giydirilmesi farklı kaynaklardan farklı yöntemlerle elde edilmiş fotoğraflar yardımıyla yapılabilir. Bu işlem için fotoğrafların 10cm veya daha iyi çözünürlüğe sahip olması, iyi bir giydirmiş işlemi için yeterli olacaktır. Bu çalışmada otomatik kaplama işlemi 8 cm çözünürlüğe sahip geniş formatlı hava fotoğrafları ile gerçekleştirilmiştir. Hâlihazır harita üretiminde fotoğrafların radyometrik kaliteleri herhangi bir öneme sahip değildir; fakat otomatik doku kaplamada radyometri çok büyük bir öneme sahiptir. Görüntülerin keskinliği ve renklerin canlılığı kaplamanın kalitesini, böylece şehir modelinin gerçek dünyaya benzerliğini artıracaktır. Bunun için hava fotoğraflarında kaplama işlemine başlanmadan önce renk tonları ve parlaklık değerlerinde iyileştirme yapılarak daha canlı ve etkileyici bir kaplama yapılması sağlanmıştır.

3. WEB TABANLI GÖRSELLEŞTİRME

Bilgisayar grafikleri ve web tabanlı son teknolojik gelişmelerle birlikte, sanal tarayıcılarda da web tarayıcıları üzerinde coğrafi verilerin görselleştirilmesi daha yaygın hâle gelmiştir. Web tabanlı görselleştirmenin en büyük avantajı, herhangi bir CBS yazılımına gereksinim olmaksızın her yerden erişilebilir olmasıdır. Virtual globe (sanal küre) kullanıcıların dünyayı 3D olarak görselleştirmelerine ve gezinmelerine olanak tanır (Schultz vd., 2008). CityGML, bir görselleştirme formatından ziyade 3 boyutlu şehir modellerini tanımlayan bir değişim formatıdır. Bu veriler web üzerinde görselleştirmeye uygun dosya formatlarına dönüştürülerek görselleştirilebilir. Çoğu 3D şehir modeli, sadece görselleştirme amacıyla kullanılmasına rağmen, yetenekleri ve uygulama alanları sürekli olarak artmaktadır. 3 boyutlu şehir modellerinin yetenekleri 2 boyutlu modellere göre çok daha hızla artmaktadır (Ellul ve Altenbuchner, 2014). Şehir modelleri web üzerinde, akıllı telefon veya tabletlerde (Klimke vd., 2014) hatta Unity gibi oyun motorları kullanılarak (Buyuksalih vd., 2017) görselleştirilebilmektedir.

Bu çalışmada üretilen 3 boyutlu şehir modeli ve arazi modeli, farklı formatlarda CesiumJS kullanılarak web üzerinde görselleştirilmiştir. CesiumJS, WebGL tabanlı çalışan açık kaynak kodlu bir JavaScript kütüphanesidir. WebGL, 2 boyutlu geleneksel haritalardan 3 boyutlu haritalara geçilmesini sağlamıştır (Cozzi ve Bagnell, 2013). CesiumJS kütüphanesi 2 ve 3 boyutlu coğrafi veri ile birlikte arazi modellerini görselleştirmeye imkân tanımaktadır. Görselleştirilen model üzerinde öznitelik bilgileri kullanılarak 3 boyutlu sorgular (yükseklik ölçümü, yüksekliğe göre renklendirme, bina tipine göre gösterme vb.) yapılabilmekte ve bina öznitelik bilgileri sorgulanabilmektedir.

3.1 Şehir Modeli Görselleştirme

Cesium 3D Tiles formatı, 3 boyutlu büyük coğrafi veri kümelerini görselleştirmek için geliştirilmiş bir veri formatıdır. Binalar, ağaçlar, vektör verileri gibi veri tiplerini web üzerinde görselleştirmeye imkân vermektedir. LoD2 seviyesinde üretilmiş ve doku giydirilmesi yapılmış şehir modeli, Cesium 3D Tiles formatına dönüştürülerek web üzerinde görselleştirilmiştir. Bu dönüşüm esnasında binaların sahip olduğu semantik bilgilerde kayıp yaşanmamasına dikkat edilmiştir. 3 boyutlu şehir modelinin sunumu ve analizi için CesiumJS kütüphanesi kullanılarak yeni bir web arayüzü geliştirilmiştir. Geliştirilen web arayüzü üzerinde şehir modelinin sahip olduğu semantik bilgiler kullanılarak, öznitelik sorguları ve farklı özelleştirme işlemleri yapılabilmektedir. Bina yüksekliğine göre renklendirme ve gösterme, interaktif olarak binalar üzerinden yükseklik ölçümü, altlık haritaları değiştirebilme gibi özellikler geliştirilen web arayüzüne eklenmiştir. Ayrıca gölge, sis ve hava koşulları gibi görsel efektler ve atmosferik değişiklikler web arayüzünden özelleştirilebilmektedir.

Şekil 3. Web arayüzünde öznitelik tablosu sorgusu ve styling gösterimleri.

Cesium 3D Tiles formatın aynı zamanda nokta bulutu ve textured mesh formatında görselleştirmeyi desteklemektedir. Mesh model nokta bulutu baz alınarak oluşturularak, daha sonra doku giydirilmektedir. 3D Tiles formatındaki hiyerarşik yapı sayesinde büyük ölçekli şehir modellerinin yüksek performansta ve yüksek çözünürlükte web üzerinde görselleştirilmesine imkân tanımaktadır.

Şekil 4. Web arayüzünde nokta bulutu ve textured mesh görselleştirme.

3.2 Sayısal Arazi Modeli Görselleştirme

Sayısal Arazi Modeli birçok farklı alanlarda olduğu kadar 3 boyutlu şehir modellerinin de vazgeçilmez parçalarından birisidir. Bilgisayar donanımı ve algoritmaların hızlı gelişimi, arazi modellerinin gerçeğe çok yakın bir şekilde oluşturulmaya ve görselleştirilmesini sağlamıştır. Cesium JavaScript kütüphanesi yüksek çözünürlüklü Sayısal Arazi Modellerini görselleştirmeye ve sunmaya imkân tanımaktadır. Arazi modeliyle birlikte şehir modellerini görselleştirmek, 2 boyutlu haritalara kıyasla dağlar ve şevler gibi çok eğimli arazi yüzeylerini görmeyi kolaylaştırmakta ve şehir modelinin dünyayı daha gerçekçi yansıtmalarını sağlamaktadır. Cesium bir seferde sadece tek bir alanı görselleştirmeyi desteklemektedir. Bu nedenle tüm alanı kaplayan tek bir arazi modeli dosyası desteklenen formatlara dönüştürülerek web arayüzünde görselleştirilmelidir. Cesium şu anda heightmap ve quantized-mesh modelinde arazi modellerini görselleştirmeyi desteklemektedir. Çeşme bölgesine ait üretilmiş olan tek bir raster arazi modeli dosyası 2 farklı formata dönüştürülerek 3 boyutlu şehir modeli ile birlikte web arayüzünde görselleştirilmiştir.

Şekil 5. Heightmap (sol) ve quantized-mesh (sağ) formatında görselleştirilen arazi modelleri.

Şekil 6. Sayısal Arazi Modeli ile birlikte görselleştirilen şehir modelinden görünüm.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, BÖHYY'ne göre üretilmiş fotogrametrik hâlihazır harita verileri yardımıyla yarı otomatik 3 boyutlu şehir modeli oluşturma ve web tabanlı 3 boyutlu Coğrafi Bilgi Sistemi oluşturulması için bir akış şeması sunulmuştur. Açık kaynak kodlu CesiumJS, 3 boyutlu şehir ve sayısal arazi modellerini beraber görselleştirmek ve 3 boyutlu bir coğrafi bilgi sistemine dönüştürmek için yeterli bir çözüm olmuştur. Bunlara ek olarak nokta bulutu ve textured mesh olarak görselleştirmeye de imkân tanınması, daha farklı uygulamalar için iyi bir çözüm sunmaktadır. Ek bir maliyet veya veri alımı gerektirmeden varolan veriler yardımıyla CityGML LoD2 detay seviyesinde bir model oluşturulmuş, şehir objelerine ait öznitelik bilgileri eklenmiş, otomatik olarak doku giydirilmesi yapılarak web üzerinden www.cesme3d.com adresinde sunuma açılmıştır.

Gelecek çalışma ve iyileştirme olarak modelin bir veri tabanından direkt olarak web arayüzünde görselleştirilebilmesi, web arayüzüne yeni sorgular ve ölçümler eklenmesi potansiyel iyileştirmelere örnek olabilir. Çalışmaya ait daha ayrıntılı bilgi, karşılaşılan problemler ve bu problemlere çözüm önerileri Büyükdemircioğlu vd. (Büyükdemircioğlu vd., 2018) 'de bulunabilir.

KAYNAKLAR

- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S. ve Çöltekin, A.,** 2015. Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4): 2842- 2889.
- Buyukdemircioglu, M., Kocaman, S. ve Isikdag, U.,** 2018. Semi-Automatic 3D City Model Generation from Large Format Aerial Images. *ISPRS International Journal of Geo-Information*.
- Buyuksalih, I., Bayburt, S., Buyuksalih, G., Baskaraca, A.P., Karim, H. ve Rahman, A.A.,** 2017. 3d Modelling and Visualization Based on the Unity Game Engine – Advantages and Challenges. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-4/W4: 161-166.
- Cozzi, P. ve Bagnell, D.,** 2013. A WebGL globe rendering pipeline. *GPU Pro 4: Advanced Rendering Techniques AK Peters/CRC Press*: 39-48.
- Ellul, C. ve Altenbuchner, J.,** 2014. Investigating approaches to improving rendering performance of 3D city models on mobile devices. *Geo-spatial Information Science*, 17(2): 73-84.
- Flamanc, D., Maillet, G. ve Jibrini, H.,** 2003. 3D City Models: An Operational Approach Using Aerial Images and Cadastral Maps. *ISPRS Archives*, XXXIV.
- Gröger, G. ve Plümer, L.,** 2012. CityGML – Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 71: 12-33.
- Haala, N. ve Kada, M.,** 2010. An update on automatic 3D building reconstruction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(6): 570-580.
- Haala, N., Rothemel, M. ve Cavegn, S.,** 2015. Extracting 3D Urban Models from Oblique Aerial Images. *2015 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)*, syf: 1-4.
- Kada, M. ve McKinley, L.,** 2009. 3D Building Reconstruction from LiDAR Based On a Cell Decomposition Approach. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 38(3/W4): 47 - 52.
- Klimke, J., Hagedorn, B. ve Döllner, J.,** 2014. Scalable Multi-Platform Distribution of Spatial 3D Contents. *International Journal of 3-D Information Modeling*, 3(3), 35-49, July-September 2014: 35-49.
- Kocaman, S., Zhang, L., Gruen, A. ve Poli, D.,** 2006. 3D City Modeling from High-Resolution Satellite Images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36.
- Kraus, T., Lehner, M. ve Reinartz, P.,** 2007. Modeling of urban areas form high resolution stereo satellite images. *Proceedings of the ISPRS Hannover Workshop 2007 High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information*.
- Nex, F. ve Remondino, F.,** 2012. Automatic Roof Outlines Reconstruction from Photogrammetric DSM. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, I-3(XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia): 257 - 262.
- Schultz, R.B., Kerski, J.J. ve Patterson, T.C.,** 2008. The use of virtual globes as a spatial teaching tool with suggestions for metadata standards. *Journal of Geography*, 107(1): 27 - 34.
- Şengül, A.,** 2012. Extracting Semantic Building Models from Aerial Stereo Images and Conversion to CityGML. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B3.
- Suveg, I. ve Vosselman, G.,** 2004. Reconstruction of 3D building models from aerial images and maps. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58.
- Agisoft Photoscan Pro. <http://www.agisoft.com/features/professional-edition/> [Temmuz 2018].
- Virtual City Systems Building Reconstruction. <http://www.virtualcitysystems.de/en/products/buildingreconstruction> [Temmuz 2018].