



Geomatik

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



Turistik amaçlı mekânsal sanal ortamların oluşturulması: Tarihi Yarımada Örneği

Sançar Buhur^{*1}, Nesibe Necla Uluğtekin², Mustafa Ümit Gümüşay³, Nebiye Musaoğlu²

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

³ Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

3B Kent Modelleme
Oyun Motoru
Genelleştirme
Sanal Gerçeklik

Araştırma Makalesi

Geliş: 30.06.2022
Reviz: 07.09.2022
Kabul: 14.09.2022
Yayınlanma: 15.02.2023



Öz

Üç boyutlu (3B) kent modellerinin yaygınlaşması, kentlere ilişkin mekânsal bilgilerin 3B olarak sunulmasını ve dolayısıyla kullanıcıların mekânsal algılarının artırılmasını mümkün hale getirmiştir. Bu bağlamda geliştirilen CityGML standardı ile birlikte geleneksel olarak haritalar için kullanılan ölçek kavramı yerine 3B mekânsal veriler için ayrıntı düzeyi (LoD-level of detail) kavramı kullanılmaya başlanmıştır. Böylelikle, farklı uygulama gereksinimlerine göre farklı ayrıntı düzeylerinde kent modellerinin üretimi için standartlar ortaya konmuştur. Bu çalışmada, hava LiDAR verileri kullanılarak İstanbul Tarihi Yarımada sınırları içerisinde yer alan Eminönü Meydanı ve çevresinin yüksek ayrıntı düzeyinde (LoD3) turistik amaçlı 3B kent modeli oluşturulmuştur. Model turistik amaçlı tasarlandığından, referans olarak seçilen yapıların bulunduğu bölge dışında kalan yapılar için 3B bina genelleştirme yöntemi kullanılarak bu yapıların ayrıntı düzeyi indirgenmiştir. Oyun motoru tabanlı yapılan sunumda, modelin OpenStreetMap (OSM) ile entegrasyonu sağlanarak kullanıcıların model içerisinde etkileşimli olarak gezerken konum ve adres bilgilerine ulaşmaları sağlanmış ve yapılara eklenen öznitelikler ile modelin bilgi içeriği zenginleştirilmiştir.

Creation of spatial virtual environments for touristic purposes: A case study of Istanbul's Historical Peninsula

Keywords

3D City Modelling
Game Engine
Generalization
Virtual Reality

Research Article

Received: 30.06.2022
Revised: 07.09.2022
Accepted: 14.09.2022
Published: 15.02.2023

Abstract

The spread of three-dimensional (3D) city models has made it possible to present spatial information about cities in 3D and thus to increase the spatial perceptions of users. With the CityGML standard developed in this context, the concept of level of detail (LoD) for 3D spatial data has started to be used instead of the concept of scale traditionally used for maps. Thus, standards have been set for the production of urban models at different levels of detail according to different application requirements. In this study, by using airborne LiDAR data, a 3D city model for touristic purposes at LoD3 is created for Eminönü Square and its surroundings within the borders of Istanbul Historical Peninsula. As the model is designed for touristic purposes, the level of detail of structures which are not located in the region where the buildings selected as references, is reduced by using the 3D building generalization method. In the game engine-based presentation, the integration of the model with OpenStreetMap (OSM) is provided so that users could access location and address information while interactively navigating within the model and the information content of the model is enriched with the attributes added to the structures.

*Sorumlu Yazar

^{*}(sancar.buhur@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-0166-7152
(ulugtek@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-8823-595X
(umit.gumusay@alanya.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-6464-919X
(musaoglune@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-8022-8755

Kaynak Göster (APA)

Buhur, S., Uluğtekin, N. N., Gümüşay, M. Ü., & Musaoğlu, N. (2023). Turistik amaçlı mekânsal sanal ortamların oluşturulması: Tarihi Yarımada Örneği. *Geomatik, 8(2)*, 99-106

1. Giriş

Yeni bir yer ilk kez ziyaret edilmeden önce, bölge hakkında bilgi edinmek için harita üzerinden konum, mesafe ve yön gibi bilgileri görmek yapılan en temel işlerdendir. Bilgisayar, mobil cihazlar ve video oyunları gibi çoklu ortamlar (multimedya) sektöründeki gelişmeler mekâna ait bilgileri sunmada klasik harita kullanımının çok ötesinde sunum imkanlarını sağlamıştır (Edler ve ark., 2018). Google Earth (Url-1), WebGLEarth (Url-2), Earth3D (Url-3), CesiumJS (Url-4) gibi Virtual Globe görsel ortamların kullanımının artması ile mekânsal bilgi ve 3B kent modellerine olan ilgi artmıştır.

3B kent modelleri, temelde arazi, bina, bitki örtüsü, yol ve kent aksesuarları modellerini içeren coğrafi referanslı kentsel verileri temsil ederler. Genel olarak bu modeller kentsel verileri sunmaya, keşfetmeye, analiz etmeye ve yönetmeye yararlar. 3B kent modellerini stereo hava fotoğrafları (Buhur ve ark., 2009), insansız hava araçları (Harwin ve Lucieer, 2012), yersel LiDAR (Şahin ve ark., 2012; Varlık ve ark., 2018), stereo uydu görüntüleri ve SAR verilerinden üretilen sayısal yükseklik modelleri (Azami ve ark., 2017), hava LiDAR (Büyüksalih ve ark., 2018) ve mobil tarama (Wang ve ark., 2019) yöntemlerini kullanarak üretmek mümkündür. Adı geçen bu yöntemlerin dışında 2B bina taban verileri, bina kat yükseklikleri ve OSM verileri gibi gönüllülük esasına dayanan verileri kullanarak 3B kent modeli oluşturulabilmektedir (Biljecki ve ark., 2017). Yersel LiDAR tarama daha çok tarihi eserlerin bulunduğu lokal alanlarda çalışılırken hava LiDAR ve hava fotogrametrisi teknikleri kent modelleri gibi daha büyük alanların modellenmesinde kullanılmaktadır.

Sanal gerçeklik (SG) bilgisayar ve yazılımlar aracılığıyla kullanıcılara gerçeklik hissi veren ortamların hazırlanmasıdır. Sanal gerçekliğin uygulamalı eğitimler, medya, eğlence, sağlık, mimari, turizm, pazarlama, film endüstrisi, müzecilik gibi uygulama alanları bulunmaktadır (Rainoldi ve ark., 2018; Cavallaro ve ark., 2021). Sanal gerçeklik tanımını coğrafi görselleştirme anlamında formüle etmek günümüz literatüründe bu konu hakkında terminolojik bir belirsizlik olduğundan zordur. Virtual landscape, virtual globes, VR-GIS ve Virtual Geographic Environment (VGE) gibi terimler her ne kadar farklı uygulama içeriklerine sahip olsalar da aynı isim altında kullanılmaktadır. Sanallık (virtuality), 3 boyutluluk (three-dimensionality) ve sürükleyicilik (immersion) arasında kesin bir ayırım yoktur. Bazı araştırmacılar 3B-SG üzerinde çalışırken bazıları için 3B görselleştirme SG'nin ön koşuludur. Benzer şekilde, bazı araştırmacılar sürükleyici sanal ortamları (Immersive Virtual Environment-IVE) araştırırken, sürükleyicilik diğerleri için sanallığın bir önkoşuludur (Hruby ve ark., 2019).

SG teknolojileri günümüzde özellikle turizm bölgelerinde pazarlama stratejisinin bir parçası olarak turistlerin oteller, yolcu gemileri ve turistik alanlar ile ilgili ön bilgiler almasında kullanılmaktadır. SG her ne kadar bilgisayar ortamında oluşturulmuş ortam olsa da son yıllarda 360 derecelik panorama fotoğrafları veya videoları turizm alanında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Fotoğraf tabanlı bu uygulamalar, bilgisayar ortamında üretilen modellere göre kısıtlı hareket ve

etkileşim imkânı verse de turizm alanında sanal gerçeklik adıyla yapılan çoğu çalışma bu yöntemlerle yapılmaktadır (Slater ve Sanchez -Vives, 2016).

Coğrafi görselleştirme teknikleri, coğrafi veri tabanları ile bütünleşik, zenginleştirilmiş ve SG ile desteklenme yeteneğine sahip etkileşimli ve uygulama, platform, ölçek ve içerik açısından esnek yöntemler kullanarak dinamik, üç ve dört boyutlu veri gösterimini kapsayacak biçimde harita ortamını genişletmiştir (Uluğtekin ve ark., 2019; Uyar ve Uluğtekin, 2016). Büyük hacimli 3B veri setlerinin kullanılmaya başlanmasıyla beraber karşılaşılan verilerin saklanması, paylaşılması, sunulması ve farklı uygulamalar için farklı ayrıntı düzeylerine ihtiyaç duyulması gibi sorunlar verilerin standartlaştırılması ve gereksiz verilerin elimine edilmesi gibi ihtiyaçları beraberinde getirmiştir. Veri paylaşım formatları arasındaki karışıklığı önlemek amacıyla Open Geospatial Consortium (OGC) tarafından geliştirilen XML tabanlı açık bir veri formatı olan CityGML, 3B kent modellerinin depolanması ve değişimi için veri formatı olarak kabul edilmiştir (Url-5).

3B kent modellerinde ayrıntı düzeyi, harita üretiminde olduğu gibi amaca uygun olmalıdır. Kartografik çalışmalarda önemli nesnelerin vurgulanması için gösterimler ister 2B ister 3B olsun genelleştirme işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Yücel ve Selçuk, 2009a). Genelleştirme, mekânsal bilginin toplanması, modellenmesi, sunumu ve kullanımı gibi harita üretim sürecinin tüm aşamalarında etkin olarak kullanılan bir yöntemdir. Genelleştirmenin temel amacı, var olan veriden farklı ölçek serilerindeki haritaların üretilmesidir (Uyar ve Uluğtekin, 2016). Kartograflar tarafından, farklı ölçeklerde harita üretimi için mekânsal verinin genelleştirilmesi amacıyla bir takım kurallar geliştirilmiştir. Bu kurallar objelerin semantik yönleri ile ilgili olsa da esas olarak geometrilerini göz önünde bulundurur (Sester, 2020).

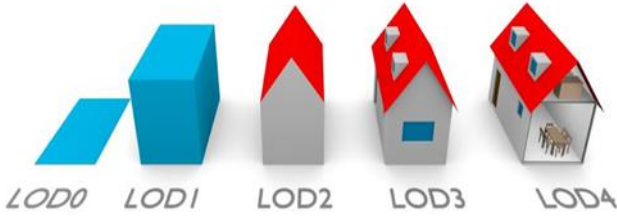
Bu çalışmada, hava LiDAR verileri kullanılarak Tarihi Yarımada'da yer alan Eminönü Meydanı ve çevresi için turizm amaçlı LoD3 ayrıntı düzeyinde kent modeli oluşturulmuştur. Çalışmaya LiDAR verisinin sınıflandırılması ile başlanmıştır. Sınıflandırma sonucu elde edilen zemin ve bina sınıfına ait nokta veriler kullanılarak zemin modeli ve yarı otomatik yöntemle CityGML yapısına uygun LoD2 ayrıntı düzeyinde bina modelleri üretilmiştir. Referans yapılar LoD3 olarak modellenmiş ve öznitelik verileri eklenmiştir. Ayrıntılı bina modellerinin bulunduğu alanda katı zemin modellemesi yapılarak gerçeğine uygun, yüksek ayrıntı düzeyinde zemin modeli hazırlanmıştır. Referans olarak seçilen yapıların bulunduğu ayrıntılı model alanı dışında kalan yapılara 3B bina genelleştirme yöntemi uygulanarak ayrıntı düzeyi indirgenmiştir. Modelin OSM verileriyle uyumu sağlanarak oyun motoru ile yapılan model sunumunda kullanıcılara model içerisinde etkileşimli olarak gezerken adres bilgisine ulaşma imkânı sağlanmıştır.

2. 3B kent modelleri ve genelleştirme

Mekânsal bilgilerin 3B olarak gösterilmesi ile mekânsal içeriği kavrama ve algılama daha kolay hale gelmiştir (Uyar ve Uluğtekin, 2016). 3B kent

modellerinin farklı kullanım alanları mevcuttur. Planlama (Buhur ve ark., 2009), kıyı alanlarının yönetimi (Büyüksalih, 2013), güneş enerjisi tahmini (Eicker ve ark., 2014; Adjiski ve ark., 2023), kadastral uygulamalar (Ayyıldız, 2017), tarihi kentlerin dokusunun yeniden canlandırılması (Walmsley ve Kersten, 2019), dijital kampüs (Jovanovic ve ark., 2020), tehlike yaratan noktaların tespiti (Ham ve Kim, 2020), görselleştirme (Büyükdemircioğlu ve Kocaman, 2020; Şenyurdusev ve Doğru, 2021) gibi uygulamaların yanında, mimari uygulamalar, gayrimenkul, sanal turlar ve navigasyon 3B kent modellerinin kullanım alanlarına örnektir (Biljecki ve ark., 2015).

CityGML 3B bina modellerini geometrisi, topolojisi, görünüşleri ve semantik özelliklerini dikkate alarak beş LoD tanımlar (Şekil 1). LoD0'da Sayısal Arazi Modeli (SAM) üzerine hava fotoğrafı, uydu görüntüsü veya harita eklenerek binaların üzerine yerleştirileceği zemin oluşturulur. Bu düzeyde 3B bina modelleri yer almaz. Arazi 3B olmasına rağmen binalar çatı yüksekliğinde ya da zemin yüksekliğinde 2.5 B yatay çokgenler ile temsil edilir (Yücel ve Selçuk, 2009b; Özdoğan ve Başaraner, 2013). LoD1 düzeyinde, herhangi bir ayırntısı olmayan katı bina modelleri kullanılır. LoD2 düzeyinde, binaya çatı modelleri ve yüzeylere ait ayrıntılar eklenir. LoD3 düzeyinde oluşturulan modeller mimari modellerdir. Duvarlar, balkonlar, ayrıntılı çatı modeli vb. ayrıntılar eklenmiştir. Yüksek çözünürlüklü fotoğraflar cephe kaplaması olarak kullanılabilir. Son ayrıntı düzeyi olan LoD4'te ise bir önceki aşamada üretilmiş olan ayrıntılı bina modeline odalar, kapılar, merdivenler ve mobilyalar gibi ayrıntılar eklenerek iç modelleme yapılır (Gröger ve ark., 2006).



Şekil 1. CityGML tarafından tanımlanmış bina ayrıntı düzeyleri (Biljecki ve ark., 2016)

Söz konusu binalar olduğunda genelleştirme işlemleri; küçük binaların seçilerek elimine edilmesi, küçük bina parçalarının birleştirilerek bina hatlarının basitleştirilmesi, komşu objelerin birleştirilmesi, çok küçük binaların abartılması, binaların ötelenmesi ve bina gruplarının birleştirilerek daha az çokgenle sunulması işlemleridir (Sester ve ark., 2018). Bina genelleştirmesi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde bina geometrisini dikkate alan çalışmaların çoğunlukta oldukları görülmüştür. Bina yüzeylerindeki çıkıntıları ve boşlukları tarayan iteratif yöntem (Thiemann ve Sester, 2004), binaların hücrelere ayrılması (Cell Decomposition) (Kada, 2007), bina taban izlerine etki alanı (buffer) analizi (Filippovska ve ark., 2009), bina taban izleri ve binayı oluşturan parçaların yükseklik farklarının dikkate alınması (He ve ark., 2012), bina taban izlerine kurallar tanımlama (Baig ve Rahman,

2013) tekil bina geometrisinin dikkate alındığı genelleştirilme çalışmalarına örneklerdir.

Bina geometrisinin dikkate alındığı bir diğer yöntem de binaların gruplar halinde genelleştirilmesidir. Yapı tanıma tekniği (Basaraner ve Selçuk, 2008), binaların birleştirilerek hücre tabanlı sunulması (Glander ve Döllner, 2008; Glander, 2013), tekil binaların birbirlerine olan mesafelerine göre birleştirilerek genelleştirildiği Şehir Ağacı – City Tree adını verilen yöntem (Mao ve ark., 2011), bina taban izlerine etki alanı ağı kurularak gruplandırılması (Zhang ve ark., 2014), kümeleme algoritmalarının kullanılarak binaların gruplandırılması (Cetinkaya ve ark., 2015) ve grid noktası ağırlıklandırması ile bölgesel öteleme yaklaşımı (Sahbaz ve Basaraner, 2021) bina taban izlerinin gruplandırıldığı araştırmalardır.

Geometri tabanlı çalışmalara ek olarak geometrik-semantik özelliklerin (Borrman ve ark., 2015) ve cephe kaplamalarının (Liu ve ark., 2017) dikkate alındığı çalışmalar da bulunmaktadır. Genelleştirme konusundaki araştırmalar devam etmektedir. Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis) (Li ve ark., 2017), makine öğrenmesi ve yapay zekâ çalışmaları (Lee ve ark., 2017; Sester ve ark., 2018), bulanık mantık (Fuzzy Logic) ve yaklaşımlı kümeler (Rough Set Theory) (Fiedukowicz, 2020) diğer araştırma örneklerindedir.

Coğrafi verilerin 3B olarak dijital ortamlarda sunulmaya başlamasıyla birlikte bazı problemler ile karşılaşmaya başlanmıştır. Her ne kadar farklı genelleştirme yöntemleri çalışılmış olsa da genelleştirmenin nasıl, ne zaman ve ne kadar etkili olduğuna dair soruların cevapları hala araştırılmaktadır. Bu noktada söz konusu olan klasik kartografik yöntemler ile farklı ölçekte haritalar üretmek değildir. Yakınlaşarak ve uzaklaşarak bile ayrıntı verilebilen sayısal ortamlarda tek veya farklı disiplinden kullanıcılar için ortak karar vermeye yönelik kolay anlaşılır görselleştirme yöntemlerinin farklı sunum ortamlarında değerlendirilmesinde klasik kartografik genelleştirmenin hala geçerli olup olmadığı, geçerli ise neleri desteklediği hakkında bilimsel bir temel oluşturmak için zaman gerekmektedir (Uluğtekin ve ark., 2019; Sester, 2020; Kronenfeld ve ark., 2020).

3B bina genelleştirmesi için herhangi bir standart yöntem olmadığından referans sayılan yapıların turistik açıdan ön plana çıkartılması, görselleştirme ve navigasyon için önemli olduğu (Grabler ve ark., 2008) göz önünde bulundurularak, turistik açıdan önemi olmayan binaların blok halinde, bina taban izleri ve yüksekliklerine göre genelleştirilerek, ayrıntılı modellenen bölgenin vurgulanması uygun görülmüştür.

3. 3B Kent modelinin oluşturulması

3.1. Çalışma alanı

İstanbul'da yer alan Tarihi Yarımada, eski yerleşim merkezi ile daha yeni yerleşim olan şehrin kuzey tarafını birbirinden ayıran Haliç'in güney kıyılarında yer almaktadır. Bünyesinde barındırdığı çok sayıda tarihi eserler ile 1985 yılında UNESCO tarafından Dünya Kültür Mirası listesine eklenmiştir (Buhur ve ark., 2008). Tarihi Yarımada sınırları içerisinde yer alan Eminönü

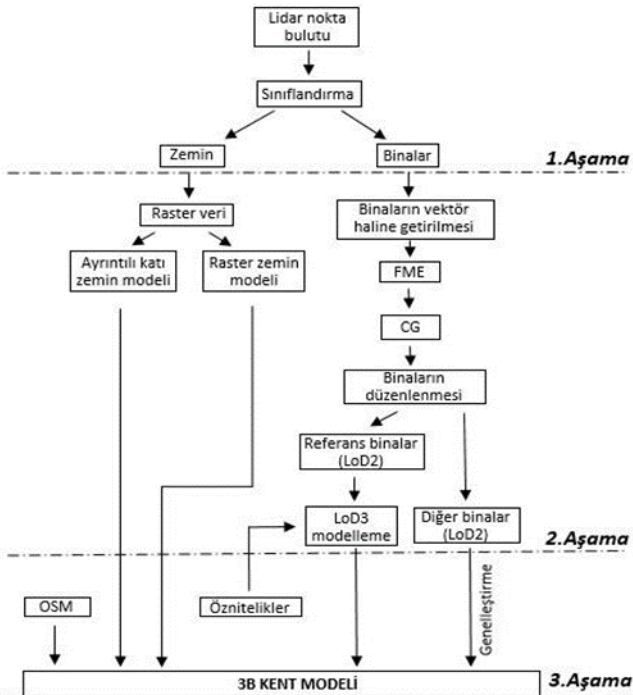
Meydanı'nda Yeni Cami ve Mısır Çarşısı gibi herkes tarafından bilinen referans yapılar ile tarihi hanlar ve turistik mekânlar bulunmaktadır. Gerek tarihi dokusu gerekse gündelik hayatın merkezlerinden birisi olmasından dolayı cazibe merkezi olmaktadır. Bölge İstanbul'a gelen yerli ve yabancı turistlerin en çok ziyaret ettiği yerlerden birisidir. Altı adet 1:1000 ölçekli paftadan oluşan çalışma alanı Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilde LoD3 olarak modellenen alan kırmızı ile gösterilmiştir. Ayrıntılı modelleme alanı dışında kalan alanda 3B genelleştirme uygulanmıştır.



Şekil 2. Çalışma alanı (Ayrıntılı modellenen alan kırmızı, pafta sınırları sarı ile gösterilmiştir)

3.2 Yöntem

Çalışmada kullanılan ana veri olan hava LiDAR verileri, 2012-2014 tarihleri arasında İBB/Bimtaş tarafından gerçekleştirilen uçuşlarda Riegel LMS Q680i marka lazer tarama cihazı kullanılarak üretilmiştir. Nokta yoğunluğu 16/m²'dir. Nokta bulutundan sonuç ürün olan 3B kent modellemeye kadar olan iş akışı üç aşamaya ayrılmaktadır. Modelin oluşturulmasında takip edilen iş akışı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. 3B model iş akışı

Birinci aşamada, LiDAR nokta bulutu sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma için LiDAR verisinin çoklu geri dönüş (Eko) özelliğinden yararlanılarak makrolar hazırlanmış ve nokta bulutu zemin, bitki örtüsü ve binalar olmak üzere üç ana gruba ayrılmıştır. İkinci aşamada sınıflandırmayla elde edilen zemin ve yapı sınıfları modellenmiştir. Bina modellerindeki hataların otomatik yöntem ile elimine edilmesinde ve format dönüşümlerinde Feature Manipulation Engine (FME) kullanılmıştır. Son aşamada ise turistik önemi olmayan Bölüm 2'de bahsedilen, bina taban alanlarını ve yükseklik değerlerini dikkate alan Basit Hücre Genelleştirilmesi (Glander ve Döllner, 2008; Glander, 2013) ile He ve ark.'nın (2012) uyguladıkları, binaların taban ve üst olmak üzere iki kısma ayrılarak değerlendirildiği yöntemler dikkate alınarak hücre bloklarının ağırlıklandırılmış yükseklikleri hesaplanmıştır.

Basit hücre genelleştirmesinde amaç, çok sayıda bireysel binayı, binaları temsil eden ve altyapı elemanları ile çevrilmiş hücre blokları ile yer değiştirmektir. Hücre bloklarının yüksekliği, hücre içine düşen binaların yüksekliklerinin ağırlıklandırılması ile elde edilmektedir.

$$h = \frac{\sum h_i * a_i}{\sum a_i} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de, h hücreye atanacak ağırlıklandırılmış yüksekliği, h_i bina yüksekliğini ve a_i bina taban alanını göstermektedir. Nokta bulutundan üretilen 3B bina vektörlerinde binalar çokgenlerden oluşmaktadır. Bu sebeple Eşitlik 1'de değerler hesaplanırken, binalar çatı elemanları (çatıyı oluşturan çokgenler) ve bu elemanların tabanları olarak değerlendirilerek ağırlıklandırılmış yükseklikler hesaplanmıştır. Basit Hücre Genelleştirilmesi uygulanmış kent modeli örneği ile turistik haritanın karşılaştırılması Şekil 4'te gösterilmiştir.

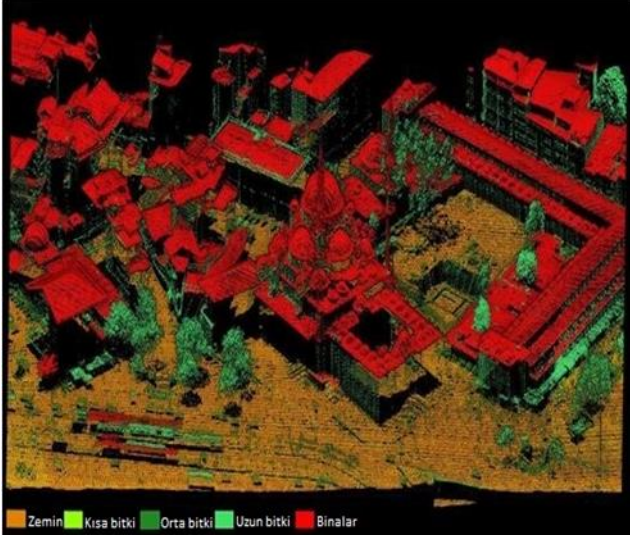


Şekil 4. Turistik harita ve Basit Hücre Genelleştirmesi görsel karşılaştırması (Glander ve Döllner, 2008)

Genelleştirme işlemleri sonrası hazırlanan modeller Unity oyun motoru tabanlı çalışan City Grid (CG) yazılımında birleştirilerek kullanıcılara model içerisinde etkileşimli olarak gezilme imkânı sunulmuştur. Referans yapılar XML tabanlı öznitelikler eklenerek modelin bilgi içeriği artırılmıştır. Modelin OSM entegrasyonu ile kullanıcıya model içinde konum ve adres bilgisi imkânı sağlanmıştır.

4. Bulgular

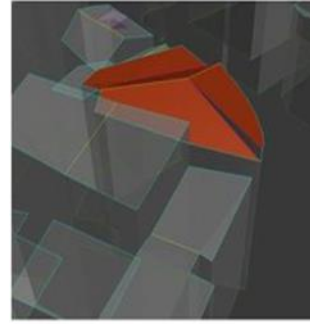
3B kent modelini oluşturma işlemlerine LiDAR nokta bulutunun sınıflandırılması ile başlanmıştır. Sınıflandırmada nokta bulutu tek bir sınıfta toplanmış hazırlanan makrolar ile her aşamada nokta bulutu havuzundan noktalar çekilerek önce zemin sınıfı oluşturulmuştur. Zemin sınıfı belirlendikten sonra yükseklik parametreleri kullanılarak bitki sınıfları kısa, orta ve uzun olmak üzere üç alt gruba ayrılmıştır. Alan parametresi kullanılarak bina sınıfı bitki sınıfından ayrılmıştır. Nokta bulutunun sınıflandırma sonucu Şekil 5'te gösterilmiştir.



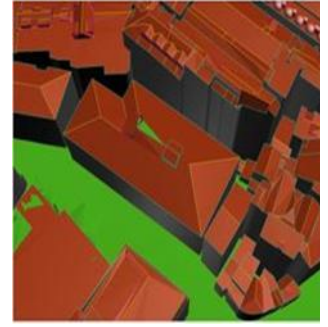
Şekil 5. Nokta bulutu sınıflandırma sonucu

Sunumu yapılacak modelin ayrıntı düzeyini artırmak için modelleme zemin ve yapılar olmak üzere iki alt grupta çalışılmıştır. Zemin modellemesi için referans yapıların olduğu bölgenin katı zemin modeli, LiDAR nokta bulutundan üretilen SAM ve 1:1000 ölçekli topografik harita verileri referans alınarak 3D-Studio MAX yazılımıyla ayrıntılı kaplamaya uygun ve daha az çokgen kullanılarak yeniden modellenmiştir. Ayrıntı düzeyini arttırmak için saha çalışmaları ile elde edilen yüksek çözünürlüklü kaplamalar kullanılmış, kent aksesuarları da eklenerek ayrıntılı katı zemin modellemesi bitirilmiştir. Ayrıntılı alan dışında kalan yerlerin zemini için SAM kullanılmıştır.

Bina sınıfına ait LiDAR noktalarının 3B vektör veriye dönüştürülmesi için tam otomatik yöntem uygulanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde düzgün birleşmeyen bina köşeleri, mahyalardaki şekil bozuklukları, düzgün oluşturulamayan kubbeler ve dükkân önlerindeki tentelerin bina şekillerini bozması vb. hatalar tespit edilmiştir. Bina geometrisini etkileyen bu hataları minimuma indirmek için 1:1000 ölçekli topografik haritalardan temin edilen 2B bina taban vektör verilerinden yararlanarak bina sınıfına ait nokta verileri 3B bina vektörlerine dönüştürülmüştür. FME ile otomatik olarak düzeltilemeyen çatı topoloji hataları elle CG içerisinde düzeltilmiştir. Düzeltmesi yapılan hatalardan birleşmeyen çatı kenarları örneği Şekil 6a'da, mahyalarda olan birleşim hatası örneği ise Şekil 6b'te verilmiştir.



Şekil 6a. Birleşmeyen çatı kenarları



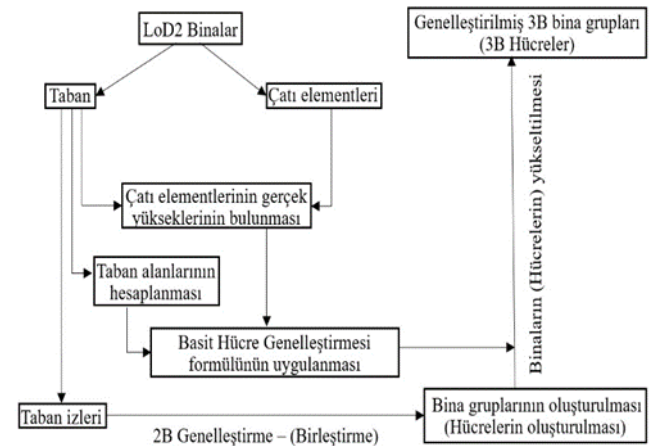
Şekil 6b. Mahya birleşim hatası

Elle yapılan düzenleme işlemleri sonrası LoD2 ayrıntı düzeyinde binalar elde edilmiştir. Referans yapıların LoD3 olarak modellenen binaların cepheleri yüksek çözünürlüklü kamera ile çekilmiştir. Referans yapılar üzerlerindeki pencere, balkon, bina süslemeleri vb. cephe ayrıntıları kaplama fotoğrafları da kullanılarak modellenmiştir. LoD3 modellenen binaların ve ayrıntılı katı zemin modelinin birleştirilmiş hali Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. LoD3 modellenen binaların ve ayrıntılı katı zemin modelinin birleştirilmiş hali

Modelleme çalışmalarının ardından geliştirme işlemlerine başlanmıştır. Binaların geliştirilerek yükseltilmesine dair iş akışı Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. 3B bina geliştirme iş akışı

CityGML formatındaki LoD2 binalar, çatı elemanları ve bu yüzeylerin zemine dik iz düşümleri olan tabanlar olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Eşitlik 1'deki h_i değerinin hesaplanabilmesi için çatı elemanlarının ve bu

elemanların zemin üzerine dik izdüşümü olan taban yüzeyleri arasındaki yükseklik farkları hesaplanarak çatı elemanlarının zeminden olan gerçek yükseklikleri hesaplanmıştır. a_i değerlerinin hesaplanması için çatı elemanlarının taban izlerinin alanları hesaplanmıştır. Bulunan değerler **Eşitlik 1**'de yerine konularak ağırlıklandırılmış hücre yükseklikleri (h) bulunmuştur.

Hücrelerin geometrik şekilleri, taban izlerinin dış sınırlarına genelleştirmenin birleştirme operatörü uygulanarak elde edilmiştir. Ağırlıklandırılmış yükseklikler kullanılarak genelleştirilmiş 3B bina grupları üretilmiştir. Genelleştirme ile elde edilen bina grupları önceki aşamada hazırlanan zemin ve bina modelleri ile birleştirilerek sunuma hazır hale getirilmiştir. Genelleştirme sonuçlarının modele eklenmiş hali **Şekil 9**'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Genelleştirilmiş binaların modele eklenmiş hali

Modelin bilgi içeriğini arttırmak için referans yapıları XML yapısı içerisinde öznitelik bilgileri eklenmiştir. Model turizm amaçlı olduğundan model içerisinde gezen kullanıcıya konum ve adres bilgilerini verebilmek amacıyla modelin OSM verisiyle entegrasyonu sağlanmıştır. **Şekil 10**'da öznitelik, konum ve adres bilgisinin model içerisindeki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 10. Öznitelik ve konum bilgisinin model içerisindeki görüntüsü

5. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan çalışma üç ana aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın birinci aşamasında hava LiDAR verisi makrolar yardımıyla sınıflandırılarak bina, zemin ve bitki örtüsü sınıfları oluşturulmuştur. İkinci aşamada bina ve zemin sınıfları kullanılarak üretilen veriler yardımıyla modelleme yapılmıştır. Ayrıntılı modelin olduğu bölgede gerek zemin ve kent aksesuarları gerekse referans yapılar için ayrıntı düzeyi yüksek tutulmuş, önemsiz yapıların ayrıntı düzeyi ise 3B genelleştirme yardımıyla

indirgenmiştir. Böylelikle, turistik açıdan önemli yerlerin vurgulu gösterimi mümkün olmuştur. Turistik açıdan gerekli olmayan binalar için 3B bina genelleştirme uygulanarak referans yapılar ön plana çıkarılmıştır. Modele öznitelik ve adres-konum bilgisi dâhil edilerek kullanıcılara model içinde gezerken konum ve yapılarla ait bilgiler alabilme imkânı tanınmıştır. Çalışmada yüksek ayrıntı düzeyindeki modeller, gerçek orto fotoğraflar, genelleştirilmiş binalar, OSM ve öznitelikler farklı formatlardaki verilerin entegrasyonu sağlanarak oyun motoru ile sunumu yapılmıştır.

Bölgede yer alan Yeni Cami, Mısır Çarşısı ve diğer turistik mekânların görsellerinin veya BIM verisinin entegrasyonu ile ayrıntı seviyesini LOD4'e yükseltmek mümkündür. Ayrıca modele hareketli insan ve araç modelleriyle uygun ses dosyalarının eklenmesi çalışma alanının günlük yoğunluğunu kullanıcılara aktararak modelin gerçekliğini artıracaktır. Modelde kullanıcılar için avatarların oluşturulması ve bu avatarların birbiri ile etkileşimi araştırılması gereken bir konudur.

Hazırlanan 3B model, exe olarak paketlenerek herhangi ekstra bir yazılım ihtiyacı duyulmadan paylaşılabilir. Modelin 3B sanal gözlükler ya da kinect gibi eklentiler ile beraber kullanılabilmesi ve gerektiğinde sunucu üzerinden Web tabanlı yayınlanması mümkündür. Modelin büyük ölçekte öznitelik verileriyle eşlenerek internet tabanlı sunumunun yapılabilmesi amacıyla 3DCityDB ve Cesium entegrasyonu imkânları araştırılmalıdır.

Model turistik amaçlı tasarlandığından bina genelleştirilmesi işleminde bina bloklarının gruplandırılarak referans yapıları ön plana çıkararak yöntem uygulanmıştır. Çalışma alanının turizm dışında mimari planlama, silüet analizi, kıyı yönetimi, belediye hizmetleri vb. uygulamalarda farklı disiplinlerden kullanıcıların ihtiyacını karşılayabilecek şekilde farklı ayrıntı düzeylerinde Çoklu Gösterim Veri Tabanlarının model üzerinde nasıl uygulanabileceğine dair çalışmaların araştırılması gerekmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Yazarlar veri kullanımı için İBB/Bimtaş'a teşekkür eder.

Araştırmacıların katkı oranı

Sançar Buhur: Literatür taraması, Arazi çalışması, Modelleme, Makale yazımı; **N. Necla Uluğtekin:** Makale yazımı; **M. Ümit Gümüşay:** Düzenleme; **Nebiye Musaoğlu:** Makale yazımı

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Adjiski, V., Kaplan, G., & Mijalkovski, S. (2022). Assessment of the solar energy potential of rooftops using LiDAR datasets and GIS based approach. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(2), 188-199.

- Ayyıldız, E. (2017). *Fotogrametri yöntemiyle oluşturulan 3 boyutlu şehir modellerinin kadastral verilerle ilişkilendirilmesi* (Master's thesis, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Azami, M., Gündoğan, R., & Yakupoğlu, T. (2017). Farklı kaynaklardan üretilmiş sayısal yükseklik modelleri kullanılarak oyuntu erozyonunun bazı topoğrafik karakteristiklerinin belirlenmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5(1), 9-21.
- Baig, S. U., & Rahman, A. A. (2013). A three-step strategy for generalization of 3D building models based on CityGML specifications. *GeoJournal*, 78, 1013-1020.
- Basaraner, M., & Selcuk, M. (2008). A structure recognition technique in contextual generalisation of buildings and built-up areas. *The Cartographic Journal*, 45(4), 274-285.
- Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2016). An improved LOD specification for 3D building models. *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, 25-37.
- Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2017). Generating 3D city models without elevation data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, 1-18.
- 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(4), 2842-2889.
- Borrmann, A., Kolbe, T. H., Donaubaauer, A., Steuer, H., Jubierre, J. R., & Flurl, M. (2015). Multi-scale geometric-semantic modeling of shield tunnels for GIS and BIM applications. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 30(4), 263-281.
- Buhur, S., Kersten, T., Büyüksalih, G., Jacobsen, K., Baz, I., Dursun, S., & Sağır, D. (2008). 3D City Modelling of Istanbul Historic Peninsula By Combination of Aerial Images and Terrestrial Laser Scanning Data, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, WG VII /6, 1239-1246.
- Buhur, S., Ross, L., Büyüksalih, G., & Baz, I. (2009). Planlama Aktiviteleri için 3-Boyutlu Kent Modeli Örnek Uygulaması: Haydarpaşa Tren İstasyonu, Haydarpaşa Limanı ve Geri Sahası. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 02-06 Kasım 2009, İzmir*.
- Buyukdemircioglu, M., & Kocaman, S. (2020). Reconstruction and efficient visualization of heterogeneous 3D city models. *Remote Sensing*, 12(13), 2128-2154.
- Buyuksalih, G., Baskaraca, P., Bayburt, S., Buyuksalih, I., & Rahman, A. A. (2019). 3D city modelling of Istanbul based on lidar data and panoramic images—issues and challenges. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 51-60.
- Büyüksalih, İ. (2013). 3 Boyutlu Kent Modellerinin Sürdürülebilir Kıyı Alanları Yönetimindeki Kullanımı, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü.
- Cavallaro, S., Grandi, F., Peruzzini, M., & De Canio, F. (2021). Virtual Tours to Promote the Remote Customer Experience. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 16, 477-486.
- Cetinkaya, S., Basaraner, M., & Burghardt, D. (2015). Proximity-based grouping of buildings in urban blocks: a comparison of four algorithms. *Geocarto International*, 30(6), 618-632.
- Eidler, D., Husar, A., Keil, J., Vetter, M., & Dickmann, F. (2018). Virtual reality (VR) and open source software: a workflow for constructing an interactive cartographic VR environment to explore urban landscapes. *Kartographische Nachrichten*, 68(1), 3-11.
- Eicker, U., Nouvel, R., Duminil, E., & Coors, V. (2014). Assessing passive and active solar energy resources in cities using 3D city models. *Energy Procedia*, 57, 896-905.
- Fiedukowicz, A. (2020). The use of rough rules in the selection of topographic objects for generalizing geographical information. *Polish Cartographical Review*, 52(1), 1-15.
- Filippovska, Y., Kada, M., & Fritsch, D. (2009). Quality Evaluation of Ground Plan Generalization, 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science, 02-05 June 2019, Hannover, Germany.
- Glander, T. (2013). Multi-Scale Representations of Virtual 3D City Models. Doctoral dissertation, Universität Potsdam, Potsdam, Germany. Erişim adresi: https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/6201/file/glander_diss.pdf
- Glander, T., & Döllner, J. (2008). Techniques for generalizing building geometry of complex virtual 3D city models. *Advances in 3D Geoinformation Systems*, 381-400.
- Grabler, F., Agrawala, M., Sumner, R. W., & Pauly, M. (2008). Automatic generation of tourist maps. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 27(3), 1-11.
- Gröger, G., Kolbe, T. H., & Czerwinski, A. (2006). Candidate OpenGIS CityGML Implementation Specification, Open Geospatial Consortium, Inc., 11.
- Ham, Y., & Kim, J. (2020). Participatory sensing and digital twin city: Updating virtual city models for enhanced risk-informed decision-making. *Journal of Management in Engineering*, 36(3), 04020005.
- Harwin, S., & Lucieer, A. (2012). Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *Remote Sensing*, 4(6), 1573-1599.
- He, S., Moreau, G., & Martin, J. Y. (2012). Footprint-based generalization of 3D building groups at medium level of detail for multi-scale urban visualization. *International Journal on Advances in Software Volume 5, Number 3 & 4, 2012*.
- Hruby, F., Ressel, R., & de la Borbolla Del Valle, G. (2019). Geovisualization with immersive virtual environments in theory and practice. *International Journal of Digital Earth*, 12(2), 123-136.
- Jovanović, D., Milovanov, S., Ruskovski, I., Govedarica, M., Sladić, D., Radulović, A., & Pajić, V. (2020). Building virtual 3D city model for smart cities applications: A case study on campus area of the university of novi sad. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(8), 476.
- Kada, M. (2007). Generalization of 3D Building Models by Cell Decomposition and Primitive Instancing. Proceedings of the Joint ISPRS Workshop on

- Visualization and Exploration of Geospatial Data, Stuttgart, Germany,
- Kronenfeld, B. J., Buttenfield, B. P., & Stanislawski, L. V. (2020). Map Generalization for the Future: Editorial Comments on the Special Issue. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(8), 468-471.
- Lee, J., Jang, H., Yang, J., & Yu, K. (2017). Machine learning classification of buildings for map generalization. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(10), 309.
- Li, Y., Liu, F., Li, M., Zhang, C., Han, S., Wang, C., & Tang, Y. (2017). PCA based 3D City Model Generalization for Electricity Simulation. *Procedia computer science*, 122, 603-608.
- Liu, P., Li, C., & Li, F. (2017). Texture-cognition-based 3D building model generalization. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(9), 260.
- Mao, B., Ban, Y., & Harrie, L. (2011). A multiple representation data structure for dynamic visualisation of generalised 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(2), 198-208.
- Özdoğan, Ş., & Başaraner, M. (2013). CityGML Standardında Ayrıntı Düzeylerinin Modellenmesi, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 11-13 Kasım 2013, Ankara, Türkiye.
- Rainoldi M, Driescher V, Lisnevskaya A, Zvereva D, Stavinska A, Relota J & Egger R (2018). Virtual Reality: An Innovative Tool in Destinations' Marketing, The Gaze: Journal of Tourism and Hospitality, 9, 53-68.
- Sahbaz, K., & Basaraner, M. (2021). A Zonal Displacement Approach via Grid Point Weighting in Building Generalization. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 105.
- Sahin, C., Alkis, A., Ergun, B., Kulur, S., Batuk, F., & Kilic, A. (2012). Producing 3D city model with the combined photogrammetric and laser scanner data in the example of Taksim Cumhuriyet square. *Optics and Lasers in Engineering*, 50(12), 1844-1853.
- Sester, M. (2020). Cartographic generalization. *Journal of Spatial Information Science*, (21), 5-11.
- Sester, M., Feng, Y., & Thiemann, F. (2018). Building generalization using deep learning. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-4 (2018)*, 42, 565-572.
- Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 3, 74.
- Şenyurdusev, G., & Doğru, A. Ö. (2021). Akıllı Şehir Uygulamaları İçin Prosedürel 3B Kent Modeli Oluşturulması ve Fotorealistik 3B Görselleştirme. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 2(2), 67-75.
- Thiemann, F., & Sester, M. (2004, August). Segmentation of buildings for 3D-generalisation. In *Proceedings of the ICA Workshop on generalisation and multiple representation, Leicester, UK* (pp. 20-21).
- Uluğtekin, N. N., Başaraner, M., Güney, C., & Doğru, A. Ö. (2019). Coğrafi Bilgi Bilimi, Kartografya ve Mekansal Bilişim Araştırmalarında Güncel Durum, Gelişmeler ve Gelecek. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 25-27.
- URL-1: <https://earth.google.com/web>
- URL-2: <https://www.webglearth.com>
- URL-3: <https://earth3dmap.com/>
- URL-4: <https://cesium.com>
- URL-5: www.opengeospatial.org/standards/citygml#overview
- Uyar, A., & Uluğtekin, N. (2016). 3B Modellemede Genelleştirme Problemleri ve LoD Kavramı, 6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2016), 5-7 Ekim 2016, Adana, Türkiye.
- Varlık, A., Uray, F., & Metin, A. (2018). Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi Kavramı İnce Minareli Medrese (Konya) Örneği, *Geomatik*, 3(1), 74-83.
- Walmsley, A. P., & Kersten, T. (2019, November). Low-cost development of an interactive, immersive virtual reality experience of the historic city model Stade 1620. In *6th International Workshop LowCost 3D: Sensors, Algorithms, Applications, 2-3 December 2019, Strasbourg, France* (pp. 405-411). Copernicus.
- Wang, Y., Chen, Q., Zhu, Q., Liu, L., Li, C., & Zheng, D. (2019). A survey of mobile laser scanning applications and key techniques over urban areas. *Remote Sensing*, 11(13), 1540.
- Yücel, M. A., & Selçuk, M. (2009a). Farklı Ayrıntı Düzeylerinde 3 Boyutlu Kent Modelleme ve CityGML, *Jeodezi, Journal of Yasar University*, 4(15), 2337-2355.
- Yücel, M. A., & Selçuk, M. (2009b). Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi (LoD) Kavramı, *Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 101, 3-9.
- Zhang, L., Han, C., Zhang, L., Zhang, X., & Li, J. (2014). Web-based visualization of large 3D urban building models. *International Journal of Digital Earth*, 7(1), 53-67.

