

ÜÇ BOYUTLU KENT MODELLERİNDE AYRINTI DÜZEYİ KAVRAMI İNCE MİNARELİ MEDRESE (KONYA) ÖRNEĞİ

Abdullah VARLIK¹, Fırat URAY^{1*}, Azim METİN²

¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Konya

(avarlik@konya.edu.tr) ORCID ID: 0000-0003-2072-3313,

(furay@konya.edu.tr) ORCID ID: 0000-0001-9555-3190

²Konya Büyükşehir Belediyesi, KUDEB, Konya

(metin.azim@gmail.com) ORCID ID: 0000-0002-0100-3823

Öz

3B (Üç Boyutlu) kent modellerinin en önemli özelliği farklı mekânsal bilgilerin aynı ortamda bütünleştirilip gösterimine ve karmaşık kent modellerinin oluşturulup bunların yönetimine olanak sağlamasıdır. 3B sanal kent modelleri, arazi modelleri, bina modelleri, bitki modelleri, yollar gibi ulaşım sistemlerini içeren 3B ortamlar ve coğrafi tabanlı şehir verilerinin gösterimini içermektedir. 3B binalar için ölçek kavramı, LoD (Level of Detail) ayrıntı düzeyleriyle ifade edilmektedir. Her bir LoD belirli bir genelleştirme düzeyini gösterir. Bu çalışmanın ana amacı; kent tasarımı yapan tüm disiplinlerin gereksinim duyduğu farklı LoD seviyelerinde üç boyutlu kent modellerini, lazer tarayıcılardan elde edilen nokta bulutu verileri de kullanılarak üretimlerini araştırmaktır. Bu metodun nasıl ve ne şekilde uygulanacağı, yapılacak entegrasyon sonunda nasıl ve ne kalitede bir ürün elde edileceği gibi temellerin tartışılmasıdır. Bu sayede söz konusu verilerin kullanılabilirliği ve uygunluğu araştırılacaktır. Bu amaçla Konya'nın simgesi olma özelliğini taşıyan İnce Minareli Medrese seçilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen model gerçek ölçeğinde fotogrametrik verilerin kullanıldığı yersel lazer tarayıcı destekli üç boyutlu yapı modelidir.

Anahtar Kelimeler: 3b, görselleştirme, ayrıntı düzeyi (lod), 3b kent modelleme.

LEVEL OF DETAIL (LOD) CONCEPT IN THREE DIMENSIONAL CITY MODELING AND A CASE STUDY OF INCE MINARELI MADRASAH (KONYA)

Abstract

The most important feature of 3D urban models is that different spatial information can be integrated and displayed in the same environment and also it is allowing complex urban models can be created and managed. 3D environments that contains land models, building models, vegetation models, transportation systems such as roads and city data that is based on geography can be shown with 3D virtual city models. For 3D buildings, the concept of scale is expressed by LoD (Level of Detail). Each LoD represents a specific generalization level. The main purpose of this study is; investigate the production of three-dimensional city models at different LoD levels required by all urban disciplines using point cloud data obtained from laser scanners. How to apply and, how to get a product at the end of integration will be discussed. The availability and usability of such data will be investigated on this paper. For this purpose, İnce Minareli Medrese, which is the symbol of Konya, was chosen. The result obtained from the study is a terrestrial laser scanner assisted three-dimensional structure model in which photogrammetric data is used in real scale.

Keywords: 3d, visualization, level of detail (lod), 3d city modelling.

* Sorumlu Yazar,

Bu çalışma IX. TUFUAB 2017 Teknik sempozyumunda sunulmuş olup başka bir yerde yayınlanmamıştır.

1. GİRİŞ

Gerek mekânsal verilerin elde edilebilmesi için geliştirilen yeni teknikler gerekse bunlardan elde edilen farklı formattaki verilerin bir araya getirilip daha etkin sunumları için geliştirilen bilgisayar teknolojileri sayesinde üç boyutlu şehir modellerine olan ilgi hızla artmaktadır. Şehir modelleri “Dünya yüzeyinin ve şehir alanlarına ait ilgili nesnelerin dijital temsili” şeklinde tanımlanmaktadır (Fard, 2009).

Bilgi erişimi ve paylaşımının yanında görselleştirme aracı olarak da katkı sağlayabilen üç boyutlu kentsel modeller, kapsamlı mekânsal incelemeler ve analizlerde de analitik değerlendirme imkânı sunar (Koramaz, 2002).

Görsel algıyı çok büyük oranda arttıran üç boyutlu şehir modellemede temel amaç analiz, keşif, karar verme, takip, yönetme vs. çok farklı amaçlar için farklı kaynaklardan elde edilmiş mekânsal verinin bütünleştirilip, coğrafi referanslandırılmış olarak sunumudur. Tüm bu farklı amaçlar için modelden farklı görsel ayrıntılar talep edilebilir.

1990’larla birlikte geliştirilen üç boyutlu kentsel sanal modeller planlama süreçlerinde kentin geliştirilmesine yönelik önerilerin tartışılmasında önem kazanmaya başlamıştır. Edinburgh ve Bath modelleri ilk önemli sanal kent modelleri olarak bilinmektedir. Strathclyde University’de (Avustralya) ABACUS grubun geliştirdiği Edinburgh modeli ile University Collage of London’da yer alan CASA grubunun Bath University ile birlikte geliştirdikleri Bath sanal kentsel modeli, kendi alanlarında akademik ve mesleki deneyimlerin gelişmesine katkıda bulunmuşlardır. Bu modeller zengin kültürel mirasa sahip kentlerde tarih ve kültür bilincinin arttırılmasında ve bu kentlerin korunmasında doğrudan katkılar sunabilmektedir (Hamilton, 2001).

Çok aktörlü katılımcı planlama ve tasarım sürecinde kullanılan üç boyutlu sanal görselleştirme uygulama örneklerinin başında internet üzerinden fazla sayıda kullanıcıya erişebilen ve etkileşim kurabilen sanal kent uygulamaları gelmektedir. Bu kentlerin

bazıları Bath, Glasgow, Dublin, Philadelphia ve Los Angeles’dir (Koramaz, 2002).

Günümüzde üç boyutlu şehir modellerinin üretimi ile ilgili standartlar henüz oluşturulmamıştır. Sadece CityGML yazılımı tarafından farklı kaynaklardan elde edilen verilerin görselleştirilmesi için geliştirilmiş standartlar mevcuttur (Gröger & Plümer, 2012). CityGML şehir modelleri için detay seviyesine göre beş ayrı ayrıntı düzeyi (Level of Detail) LoD tanımlanmaktadır. Hali hazırda CityGML 2.0 versiyonu standartları kullanılmakta olup 3.0 versiyonu için iyileştirme ve geliştirmeler üzerinde çalışmalar sürmektedir (Machl, 2013), (Löwner & Gröger, 2016).

Üç boyutlu şehir modelinin en önemli karakteristik özelliklerinden birisi ayrıntı seviyesidir. Modelin gerçek dünyada ki karşılığı ile bağlantısını gösterir ve kullanılabilirliğini etkiler (Biljecki vd., 2014).

Ayrıntı seviyesi, CityGML standartlarında beş düzeyde (LOD0-4) ifade edilir. İlk düzey olan LOD-0, yapının sınırlarının SYM (sayısal yükseklik modeli) ile birlikte gösterimini ifade eder. Sonraki ayrıntı düzeylerinde yapının geometrik ve anlamsal açıdan geliştirilmesi şeklinde gösterimi olarak devam eder. LOD-4 düzeyinde yapının iç mekan geometrisi dahil edilirken LOD-3 seviyesindeki özellikler korunur. Doku kaplaması her ayrıntı düzeyinde eklenebilir (doku kaplaması LOD tanımlamasına dahil değildir) (Biljecki vd., 2014).

Üç boyutlu coğrafi bilgi sistemleri endüstrisinde beş ayrıntı düzeyinden oluşan bu model geniş şekilde yer bulmuş ve ayrıntı düzeyi ile şehir modellerinin tasarım derecesi ve kalitesi özellikle geometrik açıdan tanımlanabilmiştir. Ayrıca bilgisayar grafiklerinde ve bina bilgi sistemlerinde de önem kazanmıştır (Verdie vd., 2015), (Tolmer vd., 2013).

Yükseklik verisi olmadan iki boyutlu konumsal bilgiler ile LOD0 seviyesinde makine öğrenme kullanarak modeller oluşturan bir yöntem de (Biljecki vd., 2017) tarafından ortaya konulmuştur. Aynı ayrıntı düzeyinde oluşturulabilen farklı detaylara sahip modellerin ayrımını yapabilmek için geometrik biçimleri açısından üç boyutlu

genelleştirmeyi irdeleyen çalışmalar ise (Guercke vd., 2011), (Fan & Meng, 2012), (Storer vd.,2011), (Noskov & Doytshe, 2014), (Deng vd., 2016) tarafından sunulmuştur. Buna ek olarak LOD0-3 arasındaki detay seviyelerinin her biri için bu ayrımı kolaylaştırmak amacıyla kendi içerisinde dört farklı ayrıntı düzeyi tanımlanarak toplamda 16 ayrıntı düzeyi içeren bir model üzerinde çalışma yapılmıştır (Bilijecki vd., 2016).

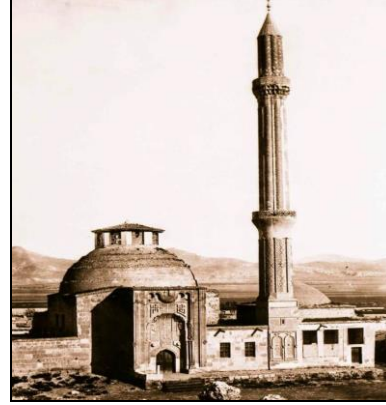
CityGML yazılımında ki geometrik temellerin topolojik yapısından elde edilen semantik özellikler arasındaki üç boyutlu topolojik ilişkileri gösteren bir model sunulmuştur (Li vd., 2016).

Türkiyedeki taşınmaz mülklerin değerlendirilmesiyle ilgili CityGML altyapısı üzerine kurulu bir veri modeli çalışması (Çağdaş, 2013) tarafından ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada ise kent tasarımı yapan tüm disiplinlerin gereksinim duyduğu farklı LoD seviyelerinde üç boyutlu kent modellerini, lazer tarayıcılardan elde edilen nokta bulutu verileri de kullanılarak üretimlerini araştırmaktır. Kentsel tasarım yapacak disiplinlerin ihtiyaç duydukları verilerin uygunlaştırılarak, sunulmasıdır. Bu entegrasyonun nasıl ve ne şekilde yapılacağı, yapılacak entegrasyon sonunda nasıl ve ne kalitede bir ürün elde edileceği gibi temellerin tartışılmasıdır. Bu sayede söz konusu verilerin kullanılabilirliği, uygunluğu araştırılacaktır.

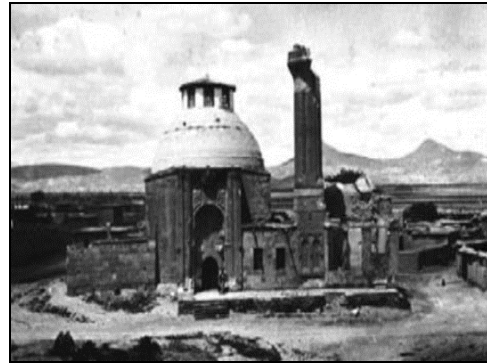
2. ÇALIŞMA BÖLGESİ

Anadolu Selçuklu Dönemi'ne ait eşsiz eserlerden birisi olan Konya İnce Minareli Medrese, Beyhekim Mahallesinde, Alaeddin Tepesi'nin batısında bulunan medrese, doğudan Alaeddin Keykubad Caddesi, batı, güney ve kuzeyden ise İnce Minare Sokağı ile sınırlanmıştır. 1260-1265 yılları arasında Sultan II. İzzeddin Keykavus Devri'nde ünlü vezir Sahip Ata Fahreddin Ali tarafından Mimar Kelûk bin Abdullah'a yaptırılmıştır (Sözen, 1972), (Erdemir, 2007).



Şekil 1. Medresenin XIX. Yy.'da ki Durumu, (Kuran, 1969)

Medresenin minaresi, 27 Kasım 1901 Çarşamba günü yıldırım isabet etmesi nedeniyle birinci şerefesine kadar yıkılmış ve batısındaki mescidin kubbesine de zarar vermiştir. Binanın bu harap durumunu 1930'lu yıllara kadar koruduğu bilinmektedir. Atatürk'ün Konya gezisinden sonra birçok eski eserin tamir edilmesine ilişkin talimatı ile içerisinde medresenin de bulunduğu yapılar uzun yıllar sürecektir olan onarım çalışmalarının parçası olmuştur (Uzunharman, 2015).



Şekil 2. Medresenin XX. Yy. Başlarında Durumu, (Vakıflar Genel Müdürlüğü Arşivinden)

Konya Selçuklu Devri Taş ve Ahşap Eserler Müzesi olarak hizmet vermekte olan medrese halen açıktır. Medresenin taç kapı, minare kaidesi ve ön cephesi günümüze kadar onarım geçirilmeden ulaşmış olup kesme taştan yapıldığı belirtilmiştir. Batı cephesi ise kısmen asıl halini korumuş olup köşelerinde yonu taşı ve araları kireç harçlı derzle örülü

olmak üzere moloz taş kullanılmıştır (Uzunharman, 2015).



Şekil 3. Medresenin XX. Yy. Sonlarına Doğru Durumu (Uzunharman, 2015)

3. YÖNTEM

3.1. Yersel Lazer Tarama Teknolojisi

Yersel lazer tarama, objelerin doğrudan, hassas ve otomatik olarak 3B koordinatlarının elde edilmesini sağlayan bir teknolojidir. Yersel

lazer tarayıcı sistemleri çok kısa bir sürede fiziksel verilerin hassas ve yoğun bir şekilde ölçülmesine olanak tanımaktadır (Avdan, Pekkan, & Cömert, 2013).

Lazer tarayıcılar nesne yüzey verisini 3B koordinat olarak elde etmektedirler. Her saniyede binlerce nokta verisi elde edebilen otomatik ve sistematik bir işlem akışına sahiptirler. Taranan obje yüzeyinin yansıma değerleri de 3B koordinatlara ek olarak tarayıcı ile elde edilebilmektedir (Aşkın, 2009).

Yersel lazer tarama işlemlerinde ölçüm tasarımı, açık bir sorudur ve bu zamana kadar hiçbir standart kural saptanmamıştır. Yine de herhangi bir ölçme sisteminde olduğu gibi bir ön planlama gerektiğinden gerekli bilgilerin türetilmesi gerekir. Tarama işlemine başlamadan önce operatör belirlenmiş konumlara aleti kurar ve tarama yazılımı içindeki gerekli düzenlemeleri; tarama

çözünürlüğü, tarayıcının objeye olan mesafesi, doğruluk modu, tarama sayısı, ilk veya son atım ölçümleri vb. bilgileri girer (Gümüş, 2010).

Pek çok uygulama için ölçülerin küresel bir koordinat sisteminde ya da ülke jeodezik koordinat sisteminde ifade edilmesi önemli bir konudur. Jeodezik koordinatlar özellikle geniş alanların ölçümünde fazladan ölçü yapmaya gerek kalmadan tüm ölçülerin birleştirilmesini sağlar. Yani jeodezik koordinatlar hem lazer tarama ölçülerinin birleştirilmesini hem de bu ölçülerin diğer ölçülerle uyumunu sağlar. Konuma dayalı bilgi sistemi uygulamaları için jeodezik koordinatlar oldukça önemlidir (Yıldız & Altuntaş, 2009).

Yersel lazer tarayıcı teknolojisinde ki son gelişmeler sayesinde oldukça hızlı bir şekilde büyük ölçekli yapıların nokta bulutu elde edilebilmektedir (Chen vd., 2014).

Yersel lazer tarama işleminden beklenen doğruluk tarama istasyonlarının doğru planlanmasına bağlıdır. Tarama mesafesi, tarama çözünürlüğü, sensör hızı ve görüş açısı faktörleri tarama doğruluğunu etkileyen önemli unsurlardır (Alsadık, 2017).

3.1.1. Yersel Lazer Tarama Yöntemi ile Ana Vektörlerin Çizimi

Yersel lazer tarama yöntemi ile ana vektörlerin çizimi için; tarayıcıdan elde edilmiş, pek çok farklı tarama istasyonundan sağlanan nokta bulutlarının ortak tek bir koordinat sisteminde birleştirilmesi gerekmektedir. Nokta bulutlarının jeodezik tekniklerle tek bir koordinat sistemine bağlanması ile ölçülerin referanslanması sağlanmaktadır. Böylece tanımlanan koordinat sisteminde taranan obje veya yapı üç boyutlu nokta kümesi şeklinde sağlanmaktadır (Demir, Vatan, & Alkış, 2005). Elde edilen bu nokta bulutu ile CAD yazılımları yardımıyla ana vektörlerin çizim işlemleri gerçekleştirilir. CAD yazılımları sayesinde nokta bulutundan yapının bir kısmının yada tamamının istenilen şekilde kesitleri alınarak çizim işlemi daha kolay ve anlaşılır şekilde yapılabilir.

4. UYGULAMA

4.1. İnce Minareli Medrese'nin Yersel Lazer Tarayıcı İle Taranması

İnce Minareli Medresenin dış kısmı Faro Focus3D X 330 Yersel Lazer Tarayıcı ile 23 istasyondan bindirmeli olarak bu lazer tarayıcıya özel yansıtıcı küreler yardımıyla taranmıştır (Şekil 4). Aynı zamanda 14 istasyondan da medrese içi kısmında taraması yapılmıştır.

Tarama çözünürlüğü fazla detayın olduğu Taç Kapı ve İç Kubbe kısmında tarama çözünürlüğü $\frac{1}{2}$ (177.7 milyon nokta), tarama kalitesi 6x (122000 nokta/sn), tarama mesafesi 20 m altında seçilmiştir. Detay yoğunluğu az olan bölgelerde ise tarama çözünürlüğü $\frac{1}{4}$ (44.4 milyon nokta), tarama kalitesi 4x (122000 nokta/sn), tarama mesafesi 20 m altında seçilmiştir.

Proje genelinde tüm yapı için 700 milyondan fazla nokta elde edilmiştir. Oturumlar kendi arasında ortalama $\pm 2,15$ mm hata ile birleştirilmiştir. Bütün bir nokta bulutu halinde elde edilen medresenin çevresinde ki gürültülü noktalar Bentley Pointools yazılımı kullanılarak elle temizlenmiştir.



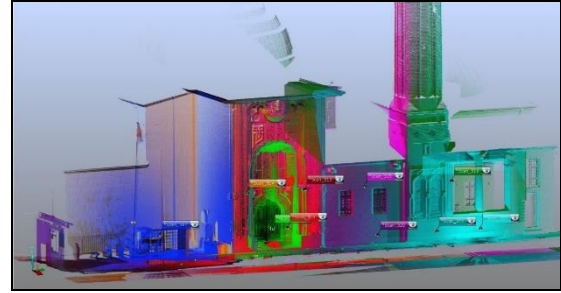
Şekil 4. Lazer Tarayıcı ve Özel Yansıtıcı Küre Hedefler

3B modelleme, tarama sonucu toplanan nokta bulutlarının değerlendirilmesi ve düzenli hale getirilmesi için yazılımlar geliştirilmiştir. Günümüzde, lazer tarayıcı üretici firma ve onlara bağlı kuruluşların geliştirdiği birçok yazılım vardır. Ayrıca piyasada yaygın olarak kullanılan CAD ve 3B modelleme yazılım paketleri de bulunmaktadır. Bunlardan en çok

tercih edilenleri Bentley firmasına ait Microstation ve Autodesk firmasına ait AutoCAD ürünleridir. Üç boyutlu modelleme için ise yine Autodesk firmasına ait 3D Max, Trimble firmasına ait SketchUp ve açık kaynak kodlu Blender Foundation firmasına ait Blender yazılımları çoğunlukla tercih edilmektedir.

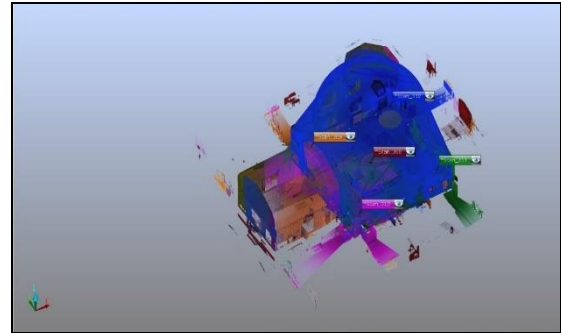
Bu çalışma kapsamında AutoCAD yazılımı ile birlikte modelleme amaçlı 3D Max ve SketchUp yazılımları kullanılmıştır. Tüm değerlendirme işlemleri Microsoft Windows 10 işletim sisteminde Intel i7 6700HQ işlemcili 16 GB bellek kapasitesili 4GB Quadro ekran kartına sahip bir iş istasyonunda yapılmıştır.

Şekil 5'de istasyonlardan elde edilen nokta bulutu verilerinin birleştirildikten sonraki her istasyon için farklı renklendirilerek son durumu gösterilmiştir.



Şekil 5. Oturumları Renklendirilmiş Nokta Bulutu

Avlunun iç kısmında ki lazer oturumlarının birleştirilmiş hâli şekil 6'da gösterilmiştir.



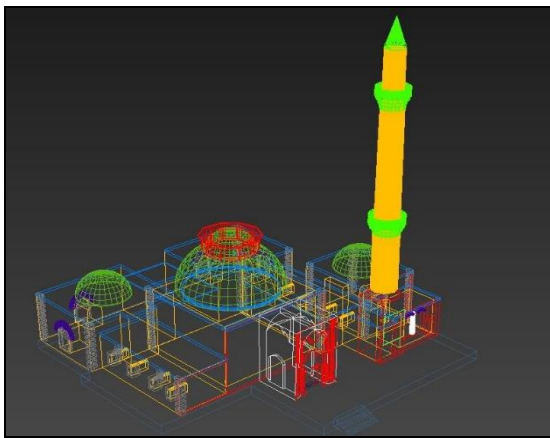
Şekil 6. Kapalı Avlunun İç Mekan Taramasının Birleştirilmesi

4.2. Kıymetlendirme İşlemleri

3 boyutlu nokta bulutu üzerinden yapının rölövelerinin oluşturulması amacıyla gerekli olan plan ve cephe çizimlerinin yapılabilmesi için ölçümler sağlanmıştır. Nokta bulutu, tarama yoğunluğuna bağlı olarak cephelerde milimetre hassasiyetinde ölçüm yapılmasına imkân verir ve cepheye ait birçok detayı içerir bu sayede koruma çalışmalarında büyük bir öneme sahip olan cephelerde meydana gelen bozulmalar kolaylıkla çizilebilmektedir. Şekil 7'de AutoCAD yazılımında nokta bulutu üzerinden çizim işlemi gösterilmiştir. Modelleme için gerekli olan yapının ana hat çizimleri üç boyutlu olarak şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Ön Cephenin Nokta Bulutundan Çiziminin Elde Edilmesi



Şekil 8. Nokta Bulutundan Rölövesi Çizilen Medresenin Model İçin Kullanılacak Ana Hat Çizimleri

4.3. Ayrıntı Düzeylerinde Modelleme

LoD-0 Seviyesindeki Modeli

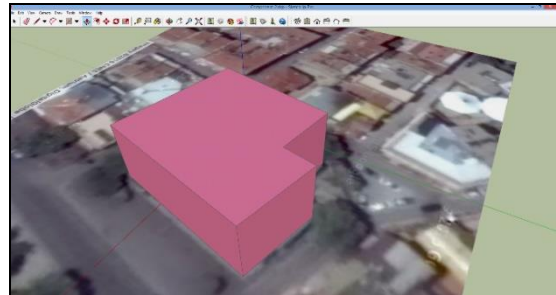
LoD-0 seviyesinde Medresenin modeli, SYM verisinin uydu görüntüsüyle 3B ortamda ilişkilendirilmesi işlemidir. Şekil 9'da medresenin uydu görüntüsü ile SYM verilmiştir. Burada gerçek arazi yüzeyinin gösterimi amaçlanmaktadır. SYM, hava fotoğraflarından üretilmiştir. Hava fotoğrafları Ricoh Pentax GR fotoğraf makinası entegreli İHA (İnsansız Hava Aracı) ile elde edilmiş ve ortofoto oluşturulmuştur. Pentax GR, 16.2 MP çözünürlüğe, 18.3 mm odak uzunluğuna ve F2.8 lense sahiptir. Çalışma kapsamında kullanılan uydu görüntüsü ise Google Earth yazılımından alınmıştır.



Şekil 9. LoD-0 Seviyesi Medrese Modeli

LoD-1 Seviyesindeki Modeli

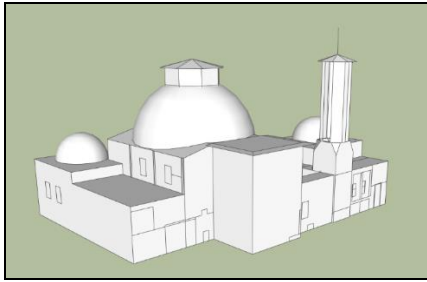
LoD-1 seviyesinde Medresenin modeli; LoD-0 seviyesinde kent modeline vektör verilerin ilave edilmesi aşamasıdır. Şekil 10'da medresenin çevre sınırlarının iki boyuttan üç boyuta geçirildiği modeli gösterilmiştir. LoD-1 seviyesinde binaların katı model olarak, kat âdetinin üç katı kadar metre biriminde yükseltilerek modele eklenmesidir. Bunun sebebi ortalama kat yüksekliğinin 3 metre olarak kabul edilmesidir.



Şekil 10. LoD-1 Seviyesi Medrese

LoD-2 Seviyesindeki Modeli

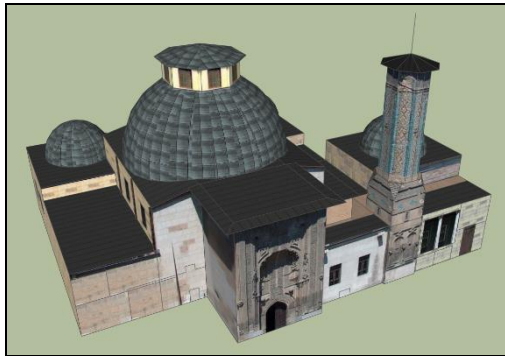
LoD-2 seviyesinde kent modeli, LoD-1 seviyesinde oluşturulan kent modeline çatı detayının eklenmesi aşamasıdır. Çalışma alanına ait stereo görüntüleri üzerinden çizimler yapılarak binaların çatıları elde edilebilir. Bu çalışmada ise hava fotoğrafları yerine lazer tarama ölçümlerinden üretilen nokta bulutundan çizilerek çatı kısımları ve ana hatlar elde edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. LoD-2 Seviyesi Medrese Modeli

LoD-3 Seviyesindeki Modeli

LoD-3 seviyesinde Medresenin modeli, binaların dış cephelerini ifade eden yüksek detaya (kapılar, pencereler ve mimari detaylar vb.) sahip bir üründür (Şekil 12). Buradaki ayrıntı seviyesi lazer taramadan üretilen milimetre mertebesinde ki veri yardımıyla elde edilmiştir. Bina dış cephelerine ait çizimlerin gösterimi sağlanması amaçlanır. Çizimlerden elde edilen model üzerine yersel olarak 4928x3264 piksel çözünürlükte çekilen fotoğraflar, hava fotoğrafları ve lazer tarama verisinden gelen RGB değeri kullanılarak renklendirme yapılmıştır.



Şekil 12. LoD-3 Seviyesi Medrese Modeli

LoD-4 Seviyesindeki Detayların Modeli

LoD-4'te, LoD-3'e ek olarak binaların içyapıları ve detaylar dikkate alınmaktadır. LoD-3 ayrıntı düzeyindeki yapılara, odalar, merdivenler, iç duvarlar, mobilyalar gibi bina içinde bulunan nesnelerin eklenmesi ile LoD-4 ayrıntı düzeyine ulaşılır.

5. SONUÇLAR

Üç boyutlu tarama teknolojileri kültürel mirası belgelemek için önemli bir araçtır. Şüphesiz üç boyutlu tarayıcılar düzensiz ve karmaşık yüzeylere sahip nesnelerin ölçümü için çok uygundur ve büyük bir olasılıkla buna benzer yapılardaki uygulamalar için en iyi yöntemdir.

İnce Minareli Medresenin yersel lazer ile ölçümü lazer taramanın zaman kazanımı ve yüksek tarama çözünürlüğü açısından çok güçlü bir araç olduğunu göstermektedir. Halen büyük nokta bulutu dosyalarının bilgi yönetimine gelindiğinde bazı zorluklar bulunmaktadır. Hacimsel olarak geniş dosyalardır ve her bir işlem adımı uzun sürmektedir, yüksek düzeyde bilgisayar kapasitesi gereksinimi vardır. Örnek olarak 400 milyon noktaya sahip bir veri setini işlemek için en az 7 GB ram kapasitesi gerekmektedir.

Üretilen modellerin doğruluk düzeyi, lazer tarama işleminin hassasiyeti ve oturumların birleştirilmesinde ortaya çıkan hata ile doğrudan bağlantılıdır. Lazer tarama sisteminin doğruluğu (0.5-5cm) üretilen

modellerin kullanım amacı için fazlasıyla yeterlidir (Kedzierski & Fryskowska, 2015). Tarama oturumlarının planlama aşaması, seçilen tarama çözünürlüğü, yoğunluğu ve arazide uygulaması da son ürün olan üç boyutlu modellerin doğruluğunu etkiler.

Disiplinler arası çalışmalar düşünüldüğünde böyle bir modelleme çalışması esasen üç mesleki disiplini kapsamaktadır. Bunlar; modelin üretim aşamasında harita mühendisliği ve şehir bölge planlaması, üretilen modelin kullanımı aşamasında şehir planlama ve mimarlık disiplinleridir.

Özellikle CBS’de altlık olabilecek üç boyutlu kent modelleri üretiminin içerisinde çok önemli bir yer tutan veri bütünleştirilmesi çalışmasının temel kısıtları ve temel problemleri ortaya konmaya çalışılmıştır.

Literatürde yer alan çalışmalar yersel lazer tarama verilerinden 3B şehir modelini oluşturan bina gibi yer üstü objelerin hızlı bir biçimde araziden toplanarak çıkarılabildiğini göstermektedir (Kedzierski & Fryskowska, 2014,2015), (Xie & Lu, 2017), (Heo vd., 2013), (Borkowski vd., 2014), (Sahin vd., 2012).

Ülkemiz için yeni olan bu teknolojinin kullanımının yaygınlaşmasıyla kentsel alanların değişim hızını belirleyen binaların üç boyutlu modellenmesi hızlı bir biçimde yapılabilecektir. Havadan ve yersel lazer tarama teknolojileri birlikte kullanılarak hassasiyeti yüksek ürünler elde edilebilir. Lazer tarama sistemleri ile elde edilen sonuç ürünün sayısal olması, üç boyutlu verinin görselleştirilmesi, yönetilmesi ve CBS ortamında sunulması gibi farklı uygulama alanlarında da kullanılmasına olanak sağlaması, ülkemizde gelecekte yapılabilecek birçok çalışmaya ışık tutacaktır.

KAYNAKÇA

- Alsasik, B. (2017). Practicing the geometric designation of sensor networks using the Crowdsourced 3D models of cultural heritage objects. *Journal of Cultural Heritage*. ISSN 1296-2074.
- Aşkın, F. (2009). Lazer Tarama Verileriyle 3B Obje Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Avdan, U., Pekkan, E. & Cömert, R. (2013). Mağara Ölçümlerinde Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanılması (Tozman Mağarası Örneği). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 16-28.
- Biljecki, F., Ledoux, H., Storer, J. & Vosselman, G. (2014). Formalisation

of the level of detail in 3D city modelling. *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, 1-15.

- Biljecki, F., Ledoux, H., Storer, J. (2016). An improved LOD specification for 3D building models. *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, 25-37.
- Biljecki, F., Ledoux, H., Storer, J. (2017). Generating 3D city models without elevation data. *Computers, Environment and Urban Systems*. 64, 1-18.
- Borkowski, A., Jozkow, G., Ziaja, M. & Beczek, K. (2014). Accuracy of 3D building models created using terrestrial and airborne laser scanning data. *FIG Congress 2014, Kuala Lumpur, Malaysia*.
- Chen, D., Zhang, L., Mathiopoulos, P. T. & Huamg, X. (2014). A methodology for automated segmentation and reconstruction of urban 3-D buildings from ALS point clouds. *IEEE J. Select. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens.*, 7 (10), 4199-4217.
- Çağdaş, V., An Application Domain Extension to CityGML for immovable property taxation: A Turkish case study. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 545-555.
- Demir, N., Vatan, M., & Alkış, Z. (2005). Lazer Tarama Sisteminin Mimarlıkta Kullanımı. *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu*. Kocaeli.
- Deng, Y., Cheng, J.C.P. & Anumba, C. (2016). Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison. *Automation in Construction*, 67, 1-21.
- Erdemir, Y. (2007). İnce Minareli Medrese. Konya Valiliği İl Kültür Müdürlüğü Yayınları.

- Fan, H. & Meng, L. (2012). A three-step approach of simplifying 3D buildings modeled by CityGML. *International Journal of Geographical Information Science*, 26 (2012), 1091-1107.
- Fard, J. Z. (2009). 3D City Modeling. *Digital Image Processing*. içinde The University of Georgia.
- Gröger, G. & Plümer, L. (2012) CityGML – Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 71, ISSN 0924-2716, 12-33.
- Guercke, R., Götzelmann, T., Brenner, C. & Sester, M. (2011). Aggregation of LoD 1 building models as an optimization problem. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66 (2011), 209-222.
- Gümüş, M. (2010). Yersel Lazer Tarayıcıların Deformasyon Ölçmelerinde Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma. *Yüksek Lisans Tezi*. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hamilton, A., Trodd, N., Zhang, X., Fernando, T., & Watson, K. (2001). Learning Through Visual Systems To enhance The Urban Planning Process. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 833-845.
- Heo, J., Jeong, S., Park, H., Jung, J., Han, S., Hong, S. & Sohn. (2013). Productive high-complexity 3D city modeling with point clouds collected from terrestrial LiDAR. *Computers, Environment and Urban Systems*. Volume 41, 26-38.
- Koramaz, T. (2002). Kentsel Koruma Uygulamalarında Bilgisayar Kullanımıyla Üçüncü Boyut Etkilerinin Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kedzierski, M. & Fryskowska, A. (2014). Terrestrial and Aerial Laser Scanning Data Integration Using Wavelet Analysis for the Purpose of 3D Building Modeling. *Sensors*, 14(7), 12070-12092.
- Kedzierski, M. & Fryskowska, A. (2015). Methods of laser scanning point clouds integration in precise 3D building modelling. *Measurement*, Volume 74, 221-232.
- Kuran, A. (1969). Anadolu Medreseleri, *Türk Tarih Kurumu*, Ankara, c.1, 4-55.
- Li, L., Luo, F., Zhu, H., Ying, S. & Zhao, Z. (2016). A two-level topological model for 3D features in CityGML. *Computers, Environment and Urban Systems*. 59, 11-24.
- Löwner, M.O. & Gröger, G. (2016). Evaluation criteria for recent LoD proposals for CityGML buildings. *Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation 2016*, 31-43.
- Machl, T. (2013). Minutes of the International OGC, SIG 3D and TUM workshop on requirements for CityGML 3.0. *International OGC, SIG 3D and TUM workshop on requirements for CityGML 3.0*. Technische Universität München, Münih, Almanya, 1-28.
- Metin, A. (2016). Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi Kavramı İnce Minareli Medrese (Konya) Örneği. Konya: Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Noskov, A. & Doytsher, Y. (2014). Preparing simplified 3D scenes of multiple LODs of buildings in urban areas based on a raster approach and information theory. *Thematic cartography for the society*, Springer, 221-236.
- 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*. Volume 50(12), 1844-1853.
- Sözen, M. (1972). Anadolu Medreseleri Selçuklular ve Beylikler Devri. İstanbul: Teknik Üniversite Yayınları.
- Stoter, J., Vosselman, G., Goos, J., Zlatanova, S., Verbree, E., Klooster, R. & Reuvers M. (2011). Towards a national 3D spatial data infrastructure: Case of The Netherlands. *Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation*, 405-420.
- Uzunharman, H. (2015). İnce Minerali Medrese'nin Taç Kapısındaki Kitabelerin Hat Sanatı Açısından Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Çorum: Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Tolmer C., Castaing, C., Diab, Y. & Morand, D. (2013). CityGML and IFC: going further than LOD. *Digital Heritage International Congress Digital Heritage, IEEE*, 645-648.
- Verdie, Y., Lafarge, F. & Alliez, P. (2015). LOD generation for urban scenes. *ACM Transactions on Graphics*, 34, 1-14.
- Xie, X. & Lu, X. (2017). Development of a 3D modeling algorithm for tunnel deformation monitoring based on terrestrial laser scanning. *Underground Space*. Volume 2(1),16-29.
- Yıldız, F. & Altuntaş, C. (2009). Yersel Lazer Tarayıcı Nokta Bulutlarının Jeodezik Koordinat Sistemine Dönüştürülmesi. *Harita Dergisi*, 51-58.