TARİHÎ YAPILARIN DOKÜMANTASYONUNDA YERSEL VE GÖRÜNTÜ TABANLI NOKTA BULUTLARININ BİRLİKTE KULLANILMASI

Yasin TOSUN¹, Murat UYSAL²

¹Müh., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, yasintosun26@gmail.com

²Doç. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, muysal@aku.edu.tr

ÖZET

Tarihî yapıların dokümantasyonunda geçmişten günümüze birçok yöntem kullanılmıştır. Klasik yöntemlere nazaran günümüzde yersel lazer tarayıcı teknolojisi ön plana çıkmaktadır. Klasik yöntemlere göre daha yüksek doğruluk elde edilebilmekte ve daha hızlı sonuçlar sağlanmaktadır. Fakat bu yöntemin de avantajları olmasına rağmen dezavantajları bulunmaktadır. Yapıların ölçümlerinde bütünlük bir veriye ihtiyacımız olmasına rağmen lazer tarayıcılarla yapıların bazı bölgelerini ölçme şansımız olmayabilir. Özellikle camii ve benzeri yapıların kubbeleri, yüksek yapıların çatıları, dağlara ve yamaçlara konumlanmış olan yapıların cepheleri gibi alanlarda yersel lazer tarama yöntemi yetersiz kalabilir. Böyle durumlarda çözüm olarak ise insansız hava araçlarından (İHA) çekmiş olduğumuz fotoğrafları kullanarak elde ettiğimiz görüntü tabanlı nokta bulutu verisiyle, yersel lazer tarama yöntemiyle elde ettiğimiz nokta bulutu verisinin eksik kalan bölgeleri tamamlanabilmektedir. Çalışma alanı olarak, projenin amacına uygun kubbeli bir mimariye sahip olan Yıldız Teknik Üniversitesi'nin Davut Paşa Kampüsü'nde bulunan, Otağ-ı Hümayun ele alınmıştır.

Proje sonucunda aynı lokal koordinat sisteminde konumlanan yersel ve görüntü tabanlı nokta bulutu modellerinin birbirleri ile olan uyumu incelenmiştir. Oluşturulan nokta bulutu modellerinden, yapının kubbesinden geçecek şekilde kesit hatları alınıp ortofotolar oluşturulmuştur. Oluşturulan ortofotolarda, lazer ve görüntü tabanlı nokta bulutlarının birbirlerini tamamladığı görülmüştür. Ortalama 0.0021 mm doğrulukla dengelenen lazer tabanlı nokta bulutu ile ortalama 1.40 cm ortalama hata değeri ile oluşturulan görüntü tabanlı nokta bulutunun, birlikte kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: insansız hava aracı (İHA), nokta bulutu, yersel lazer tarama

ABSTRACT

COMBINED USE OF LASER AND IMAGE-BASED POINT CLOUDS FOR DOCUMENTATION OF HISTORIC BUILDINGS

Many methods have been employed for the documentation of historic buildings from past to present. Today, the topographic laser scanning technology, which ensures better precision and faster results compared to the classical methods, stands out rather than the classical methods. However, there are disadvantages of this methods in addition to its advantages. Even though we need integrated data for measurements of buildings, we may not have the chance to measure some parts of buildings by means of laser scanners. The topographical laser scanning method may not be efficient in areas such as mosque domes, roofs of high buildings and the facades of some buildings located in mountains and hills in which case, we are able to complete the deficient parts of point cloud data acquired through the topographical scanning with the image based point cloud data acquired by using the photographs taken by unmanned aerial vehicles (UAVs) as a solution. Otağ-ı Hümayun located in Davutpaşa Campus of Yıldız Technical University, the architecture of which includes a dome in accordance with the project purpose, was handled as the area of work.

The intercompatibility of topographical and image based point cloud models located in the same local coordinate system was analyzed at the end of the project. Cross lines were taken from the dome of the building among the created cloud point models and orthophotographs were created. It was observed in the created orthophotographs that the laser and image based point clouds completed each other. It was concluded that the laser based point cloud balanced with the accuracy of approximately 0.00021 mm and the image based point cloud created with the approximate error value of 1.40 cm can be used jointly.

Keywords: unmanned air vehicle, point cloud, terrestrial laser scanning

1. GİRİŞ

Kültürel miras; geçmişten bugüne ulaşmış, insanların sahiplik bağı içinde olmaksızın sürekli değişim hâlinde olan değerlerinin, inançlarının, bilgilerinin ve geleneklerinin bir yansıması olarak betimlenen somut ve somut olmayan tüm varlıklar olarak tanımlanmaktadır; insanlar ve mekânlar arasında zaman içinde meydana gelen etkileşimden kaynaklanan çevrenin tüm özelliklerini içermektedir (Anonim 2013).

Tarihî yapıların dokümantasyonu, kültürel mirasın korunması ve gelecek nesillere aktarılması için oldukça önemlidir. Kültürel mirası daha iyi belgelemek için gelişen teknolojileri izlemek ve gelişen teknolojileri bu amaçlarda kullanmak

gerekir. Kültürel mirasın korunmasını amaçlayan projelerde rölöve çalışmasının önemi oldukça fazladır. Rölöve projelerinin hazırlanmasında gelişen teknolojileri izlemek ve gelişen teknolojileri bu amaçlarda kullanmak gerekir. Günümüzde kullanılan teknolojilerin başında, LiDAR (Light Detection and Ranging) ve fotogrametrik yöntemler gelmektedir.

Yersel lazer tarama, geleneksel ölçme teknikleri ile kıyaslandığında 3B nokta bilgilerinin çok yüksek hızla elde edilebildiği bir ölçme tekniğidir. Ölçme alanının 3B nokta bilgileri, nokta dizileri şeklinde yüksek doğrulukla ölçülebilmektedir. Yersel lazer tarayıcılar pek çok ölçme uygulamasında, özellikle tarihî yapıların rölöve çalışmalarında giderek artan bir oranda kullanılmaktadır (Altuntaş, C., Yıldız F. 2008).

Fotogrametrinin sağladığı sayısal veriler, 3 boyutlu vektörel veriler, görsel görüntüler ve yapının ortofoto görüntüleri tarihî yapının belgelenmesi ve korunması için üretilecek projelerde yönlendirici ve yol gösterici olmaktadır. Bir yapının üç boyutlu modellenmesi, kültürel mirasın daha iyi anlaşılmasının ve yapının mevcut durumuyla gelecekte, koruma projelerinden sonraki durumunun karşılaştırılması ve değerlendirmesinin yapılabilmesinde kolaylık sağlamaktadır (Güleç A. 2007).

Fotogrametrik veriler veya yersel lazer tarama verileri çeşitli CAD programlarında düzenlenerek mimari amaçlarla kullanılabilir. Her iki yöntemde de koordinat bilgileri kullanıldığından bu yöntemler bütünleştirilebilir. Her iki yöntemin birbirine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Tarihî eserlerin dökümantasyonu için ya da çeşitli 3B modelleme çalışmaları için tek bir yöntemle yetinmek yerine lazer verileri ile fotogrametrik yöntemi bir araya getiren bütünsel bir sistem kullanılması dökümantasyon çalışmaları için daha doğru bir seçim olacaktır (Kuçek vd., 2014). Uygulamamızda da yersel ve görüntü tabanlı olmak üzere oluşturmuş olduğumuz iki farklı üç boyutlu nokta bulutu modelimizi aynı lokal koordinat sisteminde bir araya getirerek, ihtiyaç durumunda birlikte kullanılabilirliğini gözlemlemiş olmaktadır.

2. UYGULAMA ALANI

Uygulama alanı olarak, projenin amacına uygun kubbeli bir mimariye sahip olan İstanbul ili Yıldız Teknik Üniversitesi'nin Davut Paşa Kampüsü'nde bulunan, Otağ-ı Hümayun seçilmiştir (Şekil 1).

Otağ-ı Hümayun , İstanbul Güngören'de Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü içerisindeki alan üzerinde 1483 tarihinde Sadrazam Koca Davut Paşa tarafından inşa edilmiştir. 1482-1491 yılları arasında sadrazamlık yapan Koca Davut Paşa, bu yapıyı 1483'te Fatih Sultan Mehmet'in sefere çıkmadan önce konaklaması için yaptırmıştır. Yaptırıldığı dönemde Otağ-ı Hümayun, İstanbul'u Edirne'ye bağlayan Kervan yolu olan sol kol (Via Egnita) üzerinde yer alıyordu. Yapının bulunduğu alan Bizans Dönemi'nde "Aretai" olarak bilinmekteydi. Şehir surlarının hemen dışında yer alan bu alan Bizans Dönemi'nde de oldukça önemseniyordu. Yine aynı dönemde Afamea Sarayı'nın burada olduğu düşünülmektedir. Osmanlı Dönemi'nde önemini yitirmeyen bölge askerî amaçla kullanılmış, Avrupa'ya yapılacak seferlerin stratejilerinin konuşulduğu bir kışla olarak kullanılmıştır. "Davutpaşa Kışlası" olarak adlandırılan alanın içerisindeki Otağ-ı Hümayun (Hünkar Kasrı) Kanuni Sultan Süleyman Dönemi'nde yıktırılarak tekrar inşa edilmiştir. Hünkar Kasrı ve kışla 17. yüzyıl padişahlarından 4. Mehmet (Avcı Mehmet) Dönemi'nde yoğun olarak kullanılmıştır. Yakın bir döneme kadar askerî amaçla kullanılan bölge 9 Temmuz 1999'da YTÜ'ye devredildi. Kışlanın bulunduğu yere daha önce Esenler, Güngören ve Bayrampaşa belediyeleri de talip oldu. Belediyeler burayı park hâline getirmek istiyordu. Daha sonra Sabancı, Koç ve Eczacıbaşı Holding de özel üniversitelerini kurmak için kışlaya talip oldu. Ancak Yıldız Teknik Üniversitesi, 9. Cumhurbaşkanı Demirel'in de desteğiyle Hünkar Kasrı'nın da bulunduğu kışlaya sahip oldu.

Şekil 1. Uygulama alanı.

3. VERİLERİN TOPLANMASI

Lazer teknolojisi alanındaki araştırmalar, 1960 yılından bu yana devam etmekte ve her geçen gün gelişmektedir. Yersel lazer tarama teknolojisinin bir ölçüm aracı olarak gerçekten bir araştırma alanı hâline gelmesi, son 15-20 yılda olmuştur. Tek renklilik, iyi kolimasyon, yüksek güç, kısa atımlar veya lazer ışığının ayarlanmasının muhtemelliği gibi lazer radyasyonunun belirli niteliklerinden dolayı ölçümler için kullanılan bu teknolojinin avantajı, daha yeni fark edilmiştir. Hızlı ve minimum giderle, çalışmaya konu olan obje/objeler (3B model) hakkında eksiksiz 3 boyutlu geometrik ve görsel bilgiye ulaşmak lazer tarama teknolojileri ile olmaktadır (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

Lazer tarayıcılar ölçülecek objeyi yatay ve düşey yönde belirli bir açı altında nokta dizileri şeklinde tarayarak nokta bulutu hâlinde görüntülenmesini sağlar. Her lazer noktası için tarayıcı alet merkezli kutupsal koordinatlar ölçer (Lichti ve Gordon 2004).

Hızlı ve minimum giderle, bütün obje hakkında eksiksiz 3 boyutlu geometrik ve görsel bilgiye ulaşmak lazer tarama teknolojileri ile olmaktadır. Tarama süresinin kısalığı, elde edilen nokta sayısının fazlalığı, taranan objenin gerçek modeline uygun nokta kümelerinin elde edilmesi ile son zamanlarda yersel tarama teknolojisini ön plana çıkarmıştır. Lazer tarayıcıların doğruluk araştırmasıyla ilgili pek çok metot geliştirilmiş ve sonuçları yayımlanmıştır. Bu sonuçlara göre, lazer tarayıcıların ölçü doğruluğu uzun mesafelerde (>1000 m) 10 cm, ışın yapısına bağlı olarak azalsa da kısa mesafelerde (<300 m) ölçü hassasiyeti 1 cm civarındadır (Altuntaş, C., Yıldız F. 2008).

Günümüzde Leica, Zoller Fröhlich, Faro, Trimble, Riegl gibi markaların sektörde ön planda olduğunu söylebiliriz (Şekil 2).

Şekil 2. Yersel lazer tarayıcı modellerinden örnekler.

İHA'lar "Yerine getireceği göreve bağlı olarak, yarı otomatik, otomatik veya bunların birleşimiyle uzaktan kontrol edilen, çeşitli yüklemelerle, atmosferde veya dışında belirli bir süre aralığında özel görevleri yerine getiren, insansız, tekrar kullanılabilir motorize hava araçları" olarak tanımlanır (Blyenburgh, 1999).

Yerden kontrol edilebilir olmaları veya otomatik olarak uçuş planlaması yapılabilir olması İHA'ları cazip kılmaktadır. Genellikle üzerlerinde taşıdıkları kameralar ile çalışan İHA'lar haritacılıkta çok çeşitli alanlarda tercih edilmektedirler. Son yıllarda savunma sanayi ve askerî yatırımlar başta olmak üzere tarımdan, arkeolojiye, mimariden, turizme hayatın tüm alanlarında kendine yer bulmuştur. (M. Omar ve M. Yakar 2016).

Farklı mühendislik problemlerinin çözümünde fotogrametrik tekniklerin kullanımı daha da yaygınlaşmıştır. Ancak yüksek yapıya doğal ya da yapay detaylarda, fotoğraf çekme olanaklarının kısıtlı olması bu gelişimi bir nebze de olsa törpülemiştir. Bu nedenle günümüzde, fotogrametri tekniğinde kullanılan verileri elde etmek için, son zamanlarda büyük gelişim gösteren ve farklı amaçlar için kullanılabilen İHA taşıyıcı platformları da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Uysal vd., 2013a, 2013b).

Kullanım amaçlarına göre birçok marka tarafından çeşitli İHA modelleri üretilmekte ve zamanla çeşitliliği artmaktadır (Şekil 3).

Şekil 3. Örnek İHA modelleri.

Uygulama alanında veri toplama işleminde kullanılan cihazlar (Şekil 4) Çizelge-1’ de verilmiştir.

Şekil 4. Veri toplamak için kullanılan cihazlar.

EKİPMAN	
1 Adet	Faro Focus x330 marka yersel lazer tarayıcı
1 Adet	Leica TS06 marka total station
1 Adet	DJI Phantom 4 İnsansız Hava Aracı
40 Adet	Kontrol noktası

Çizelge 1 Uygulama alanında veri toplama işleminde kullanılan cihazlar.

Öncelikle iki farklı yöntemlerden elde edeceğimiz verileri ortak bir lokal koordinat sistemine bağlamak için, hazırlanmış olan 25 adet kontrol noktası yapı üzerine ve etrafına, 15 adet yer kontrol noktaları (YKN) ise eşit dağılacak şekilde araziye yerleştirilmiştir. Yerleştirilen kontrol noktalarının ölçümleri Leica TS06 plus ile yapılmıştır. Faro Focus x330 marka yersel lazer tarayıcı cihazı ile, yapının dışı yaklaşık 5 metre aralıklarla kurulan oturumlar ile ölçülmüştür. Toplamda 25 adet oturum yapılmıştır (Şekil 5).

Havadan fotoğraf çekimleri, Pix4D capture uygulamasında hazırlanan uçuş planları ile Dji Phantom 4 marka İHA ile yapılmıştır (Şekil 6). Bu projede yüksek doğruluğu yakalamak amacı ile toplamda 3 adet uçuş yapılmıştır. Bu uçuşlarda 30 metre yükseklikten, 45°, 60° ve 90°' lik açılarla, %90 bindirme oranı ile fotoğraf çekimleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).

Şekil 5. Uygulama alanında yapılan ölçümler.

Şekil 6. Uygulama alanının İHA ile uçuşması.

Şekil 7. Uçuş ayarları ve uçuş planı.

4. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İlk aşama olarak lazer tarayıcımızdan aldığımız 25 adet tarama verilerini Faro Scene programına aktararak, kaydetme, renklendirme ve filtreleme işlemleri yapıldı. Hazır olan tarama verileri birleştirme işleminin gerçekleştireceği LupoScan programına aktarıldı. Birleştirme işlemi yapılırken her taramaya denk gelen en az 3 kontrol noktasının okuma verileri tek tek işaretlenerek birleştirme işlemi mm hassasiyetinde gerçekleştirildi.

İkinci aşamada 3 uçuşta çekilen toplam 999 fotoğraf Agisoft Photoscan programı aktarılmış. Otomatik olarak birleştirilip nokta bulutu üretildikten sonra 11 adet kontrol noktası işaretlenmiştir (Şekil 8). Üretilen yoğun nokta bulutunda toplam 9 594 548 nokta bulunmaktadır.

Fotogrametrik değerlendirme aşamasında yapılan dengeleme işlemi sonucunda 11 adet YKN'nin X, Y, ve Z'lerindeki doğruluk değerleri Çizelge 2' de verilmiştir.

N.N.	Mx (cm)	My (cm)	Mz (cm)	Mxyz (cm)
1	-0.02	-1.37	-0.81	1.60
2	1.10	-1.26	-0.85	1.83
3	-0.40	-0.05	-0.51	0.65
4	0.35	0.57	-0.39	0.78
5	0.17	0.63	-0.06	0.66
6	-0.40	0.35	-0.05	0.53
7	-0.40	-0.84	-0.53	1.07
8	-0.13	-0.33	-0.75	0.83
9	-2.43	0.73	2.13	3.32
10	-0.62	-0.18	0.46	0.79
11	0.54	0.01	-0.21	0.58
Total	0.87	0.72	0.82	1.40

Çizelge 2. Dengeleme işleminde YKN' lere ait nokta konum doğrulukları.

Şekil 8. İşaretlenmiş 11 adet kontrol noktalarının gösterimi.

Aynı lokal koordinat sisteminde konumlanmış olan görüntü tabanlı nokta bulutu, lazer tabanlı nokta bulutu ile birlikte değerlendirilmek üzere LupoScan programına aktarılmıştır. Yoğunluk, doğruluk ve hassasiyet olarak yüksek değerlere sahip olan lazer tabanlı nokta bulutunun üç boyutlu model görünümünde, yapının çatı ve kubbe kısımlarının tarama verilerinde eksik olduğu görülmektedir. (Şekil 9) Diğer görüntü tabanlı nokta bulutu modelimizi incelediğimizde nokta yoğunluğunun ve doğruluğunun daha az olması ile birlikte yapının çatı ve kubbe bölgesinin lazer verisini tamamlayabilecek şekilde oluştuğu görülmektedir (Şekil 10).

Elde edilen veriler sonucunda yersel ve görüntü tabanlı nokta bulutu modellerini birlikte açtığımızda iki verinin birbirlerini tamamladığı görülmektedir (Şekil 11).

Şekil 9. Lazer tabanlı nokta bulutu modeli.

Şekil 10. Görüntü tabanlı nokta bulutu modeli.

Şekil 11. Yersel ve görüntü tabanlı nokta bulutu modellerinin birlikte gösterimi.

Projemizde yersel ve görüntü tabanlı nokta bulutlarının birlikte kullanılması değerlendirilmiştir. Lokal bir koordinat sisteminde konumlanan datalarımızın uyumunu görmek amacıyla, yapı üzerinde belirlenen üç farklı kesit yerlerinden, 4 cm kalınlığında kesit hatları oluşturulmuştur (Şekil 12.).

Belirlenen kesit hatlarının her birinden, sadece lazer tabanlı nokta bulutunu kullanarak, yalnızca görüntü tabanlı nokta bulutunu kullanarak ve iki nokta bulutu modelini birlikte kullanarak üçer adet ortofoto alınmıştır. Kesit hatlarımızın yukarıda belirtilen sıra ile aşağıda gösterilmiştir (Şekil 13-18.).

Şekil 12. Yapı üzerinde belirlenen kesit hatları.

Şekil 13. Lazer tabanlı nokta bulutu kullanılarak oluşturulan K1 kesit hattının görünümü.

Şekil 14. Görüntü tabanlı nokta bulutu kullanılarak oluşturulan K1 kesit hattının görünümü.

Şekil 15. Lazer ve görüntü tabanlı nokta bulutlarını birlikte kullanılarak oluşturulan K1 kesit hattının görünümü.

Şekil 16. Lazer tabanlı nokta bulutu kullanılarak oluşturulan K3 kesit hattının görünümü.

Şekil 17. Lazer tabanlı nokta bulutu kullanılarak oluşturulan K3 kesit hattının görünümü.

Şekil 18. Lazer ve görüntü tabanlı nokta bulutlarını birlikte kullanılarak oluşturulan K3 kesit hattının görünümü.

5. SONUÇ

Tarihî yapıların dokümantasyonunda yersel lazer tarayıcıların kullanımının giderek arttığını görmekteyiz. İHA'ların ise fotogrametrik çalışmalarda kullanımının veri toplama açısından önemli bir hâle geldiğini söyleyebiliriz. Her iki yöntemin de birbirine göre avantaj ve dezavantajları olduğu noktalar mevcuttur. Bu projede de değindiğimiz veri toplama işlemlerine bakıldığında yapının kubbe kısımları lazer tarayıcıdan veri elde edemediğimiz bölümler olmuştur. İHA ile de oluşturduğumuz görüntü tabanlı nokta bulutu ile yersel lazer tarayıcıdan ölçemediğimiz alanların verileri elde edilmiştir.

Yapılan uygulama sonucunda, tarihî yapıların dokümantasyonunda ortalama 0.0021 mm doğrulukla dengelenen lazer tabanlı nokta bulutu ile ortalama 1.40 cm ortalama hata değeri ile oluşturulan görüntü tabanlı nokta bulutunun, birlikte kullanılabileceği, bütünsel bir nokta bulutu modeli oluşturulabileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

Uysal M., Toprak A.S., Polat N., 2013a, Afyon Gedik Ahmet Paşa (İmare) Camisinin Fotogrametrik Yöntemle Üç Boyutlu Modellenmesi, TUFUAB 2013, Trabzon.

Akgül M., "İnsansız hava araçları ile yüksek hassasiyette sayısal yükseklik modeli üretimi ve ormancılıkta kullanım olanakları." (2016): 104-118.

Licht D.D. ve Gordon S.J., 2002, Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording, *Proceedings of FIG Working Week, s.on CD, Athens, Greece*.

Altuntaş, C., Yıldız F., Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi
Altuntaş, C., Yıldız F., 2008, Yersel lazer tarayıcı ölçme prensipleri ve nokta bulutlarının birleştirilmesi, *hkm Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, Cilt 2008/1, Sayı 98, pp. 20-27*.

Kern, F., (2001), Supplementing Laserscanner Geometric Data With Photogrammetric Images Formodelling. *In Proceedings of 18th International Symposium CIPA 2001. Potsdam, Germany, September 18 – 21, pp. 454 – 461*.

Mohammed, Omar, and Murat YAKAR. "Yersel fotogrametrik yöntem ile ibadethanelerin" *Selçuk-Teknik Dergisi* 15.2 (2016): 85-95.

Güleç A. (2007)., “Yersel fotogrametri yöntemi ile rölöve alım tekniğinin taş kapılarda uygulanışı”
Blyenburgh Van, P., 1999, “UAVs: and Overview, In: Air & Space Europe”, I, 5/6, 43-47.