

5. YAPI KONGRESİ

YAPI SEKTÖRÜNDE
ÇOK YÖNLÜ KALKINMA:
EĞİTİM-ARAŞTIRMA-UYGULAMA

9-11 EYLÜL 2021 | ÇEVİRİM İÇİ

TMMOB MİMARLAR ODASI
ANKARA ŞUBESİ



Yapı Sektöründe Çok Yönlü Kalkınma: Eğitim-Araştırma-Uygulama

5. Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi
9-11 Eylül 2021 / Çevrim İçi



**TMMOB MİMARLAR ODASI
ANKARA ŞUBESİ**

Adres : Konur Sokak No: 4/3 Yenişehir/ANKARA
Telefon : 0312 417 86 65
Faks : 0312 417 18 04
Eposta : info@mimarlarodasiankara.org
http : [//www.mimarlarodasiankara.org](http://www.mimarlarodasiankara.org)

Yazı İşleri Müdürü : Tezcan KARAKUŞ CANDAN
Editörler : Tuğba ARSLAN, Ayşe TAVUKÇUOĞLU
Kapak Tasarım : Yasemin MALKOÇ
Yayına Hazırlayan : Yasemin MALKOÇ

Yayın Tarihi : Haziran, 2022
ISBN : 978-605-01-1525-3

©Bu kitabın her hakkı saklı olup, kaynak gösterilerek yapılacak alıntılar dışında, yayıncının izni olmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Dron teknolojisinin kültürel miras belgelenmesinde kullanımı: Aksaray Selime Sultan Türbesi

S. ARMAĞAN GÜLEÇ KORUMAZ^{1*}, RECEP SAYAR²

ÖZET

Geçtiğimiz özellikle yirmi yıllık süreç içerisinde teknolojik gelişmelere paralel olarak mimari belgeleme alanındaki çalışmalar büyük bir ivme kazanmıştır. Bunun devamı olarak belgelemede kullanılan geleneksel yöntemler, yeni tekniklerin ortaya çıkmasıyla yerini modern belgeleme yöntemlerine bırakmıştır. Bu kapsamda belgelemede kullanılan fotogrametri yönteminin de yerini dijital fotogrametri almıştır. Dijital fotogrametri alanında kullanılan insansız hava araçları (İHA) ve dronlar, teknoloji alanındaki gelişmelere paralel olarak kültürel miras belgeleme alanında farklı kullanım olanakları sunmaktadır. Bu teknoloji sayesinde klasik yöntemlerle ulaşılmaması zor bölümlere yönelik veriler hızlı, kolay ve hassas şekilde elde edilebilmektedir. Makale kapsamında dron teknolojilerinin mimari belgeleme alanına getirdiği yenilikler, alan çalışması Aksaray İli Selime Kasabası'nda yer alan Selime Sultan Türbesi'nin mimari belgeleme süreciyle birlikte sunulmuştur. Bu örnek çalışma ile dron teknolojilerinin sağladığı kolaylıklar ve süreçteki zorluklara yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Mimari belgeleme, kültürel miras, hava fotogrametrisi, Selime Sultan Türbesi

¹Konya Teknik Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü Kampüs Konya; Tel: 0(530)4024141; sagkorumaz@ktun.edu.tr

²Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi, Konya, Tel: 0(537)6706045; recepseyar3@gmail.com

1. GİRİŞ

Teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler, diğer tüm alanlarda olduğu gibi mimarlık disiplininde de etkisini göstermiş, özellikle kültürel miras belgeleme alanında yeni tekniklerin çıkmasına olanak sağlamıştır. Zaman içerisinde geleneksel yöntemlerin yerini alan modern yöntemler, belgeleme tekniklerinde önlenemez bir gelişmeye neden olmuştur. Yeni teknolojiler, kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılması ve anlaşılması için kaçınılmaz hale gelen 3B modellerin oluşturulmasına, hassas ve hızlı veri elde edilmesine imkân vermektedir.

Cami, medrese, külliye, hamam, türbe gibi yapıların geleneksel yöntemlerle 3B modellerinin oluşturulması ve belgelenmesi, yapıların karmaşıklığından dolayı, oldukça zordur ve zaman almaktadır. Bu noktada yapılara ait bütüncül bir dokümantasyon süreci geliştirilmelidir. Bunun için ise çoğu zaman tek bir yöntem yetersiz olmaktadır. Karmaşık yapıların belgelenmesinde son yıllarda sıkça kullanılan yersel lazer tarama (YLT) yöntemiyle belgeleme, geleneksel yöntemlere göre çok büyük avantajlar sağlasa da bu yöntemle sadece yapıya ait yersel veriler elde edilmekte, hava verileri ise eksik kalmaktadır. Bu veri eksikliğinin giderilmesi ve hava verilerinin elde edilmesinde dron teknolojileri önemli avantajlar sağlamaktadır.

Günümüzde teknolojik gelişmeler ile birlikte birçok alanda kullanılmaya başlanan İHA'lar fotogrametrik teknikler ile birlikte kullanılarak birçok disiplinin çalışma alanı haline gelmiştir. Mimarlık alanında da 3B modellerin oluşturulması ve eksik hava verilerinin tamamlanması çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır. Bu alanda tarihi yapıların belgelenmesinden 3B modellemeye, arkeolojik alan belgelenmesinden, strüktürel izlemeye kadar birçok farklı alanda yapılan çalışmalar bulunmaktadır [1-2-3].

Geniş alanların haritalanmasında kullanılan uçaklarla elde edilen resimlerden farklı olarak dron sistemleri, teknolojinin verdiği avantaj ile boyutları İHA'lara göre daha küçük olduğundan daha düşük yükseklikte uçabilen ve çözünürlüğü daha yüksek olan resim tabanlı fotogrametrik veriler toparlayabilmektedirler [4-5]. Bu niteliklerinden dolayı klasik belgeleme tekniklerine göre oldukça avantajlı oldukları görülmektedir [6-7]. Dron teknikleri ile beraber diğer dijital belgeleme tekniklerinin temel amacı tarihi binanın karakterinin detaylı bir şekilde kayıt altına almaktır [8]. Kültürel miras ile ilgili üretilen müdahale kararları genellikle yerinde veya

hazırlanmış proje ve modeller üzerinden olmaktadır. Bu müdahale kararlarının yerinde ve uygun olması, verinin sağlıklı ve hassas olmasına bağlıdır. Müdahale kararları için gerekli olan verilerin elde edilmesinde genel olarak topoğrafik ölçümler, yersel lazer tarama tekniği ve yersel fotogrametri yöntemleri kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemler yapının bütüncül bir 3B model oluşturulmasında tek başına yetersiz kalmaktadır. Bu yöntemlerle ölçülemediği ve yeterli veri toplanamadığı durumlarda dron teknolojisi kullanılabilir [9-10-11].

Teknoloji ilk etapta ağırlıklı olarak askeri amaçlarla kullanılmış olsa da sonraki yıllarda sivil kullanımlar için de faydalı bir yöntem olmuştur. Teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler sayesinde dron sistemlerine ve ilgili yazılımlara erişimin kolaylaşmasıyla birlikte kültürel miras alanında daha hızlı ve ucuz bir veri toplama süreci başlamıştır. Teknolojinin kullanımının kolaylığı ve kendi başına uçuş gerçekleştirilebilme olanakları teknolojinin tüm sektörlerde kullanım imkânını geliştirmiştir [12]. Bu teknolojinin sağladığı en önemli avantajlardan biri ise elde edilen verilerin başka alanlara da transfer edilebilir ve farklı analizler yapılabilir olmasıdır.

Dron kullanılarak kültür mirasının yok olması riskine karşın dijital olarak yüksek doğrulukta veriler elde edilerek belgeleme yapılabilir. Günümüzde mimari kültür mirasının tek oluşu ve bu tek yapının çeşitli nedenlerle (deprem, yangın, vandalizm, savaşlar) risk altında olduğu düşünüldüğünde, nitelikli bir belgemenin önemi daha da ön plana çıkmaktadır. Bu teknoloji ile elde edilen 3B modellerin paylaşılması ile aynı zamanda erişilmesi mümkün olmayan dünya kültür miraslarına dijital ziyaret ve sanal turların yapılması mümkün hale gelmektedir. Verilerin farklı uzantılarda diğer disiplinlerle de paylaşılabilir olması sayesinde de kültürel mirastaki deformasyonlar, malzeme analizleri ve strüktürel analizler gibi çeşitli analizler yapılabilir [13]. Benzer şekilde üretilen 3B modeller YBM (Yapı Bilgi Modellemesi) platformlarında da kullanılabilir. Günümüzün önemli teknolojilerinden biri olan YBM tabanlı analizlerde, ısı, performans, strüktürel analiz gibi analizler yapılabilir. Tüm bunlara ilave olarak üretilen bu veriler 3B yazıcılarla model üretiminde de kullanılmaktadır [15].

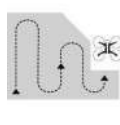
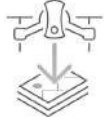





Dron kullanımı kültürel miras belgeleme alanında aynı zamanda 3B nokta bulutu üretme ve doku kaplanmış 3B model elde etme ve yüksek çözünürlüklü düzlem fotoğraflar üretmede önemli avantajlar sağlamaktadır. Düzlem fotoğraflardan 2B detaylı çizimler üretilmektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte dronların performansları, fotoğraf ve veri kalitesi artmakta ve teknoloji gün geçtikçe daha ulaşılabilir olmaktadır [16-17]. Teknolojinin sağladığı tüm avantajlara rağmen sürecin her aşaması kendi içerisinde farklı zorlukları ve dikkat edilmesi gereken farklı parametreleri barındırmaktadır. Uçuş planlaması (uçuş yüksekliği, uçuş yolu ve yönü, çevre binaların yüksekliği, uçuş izni, hava koşulları, mevsimsel değerler), çalışmada kullanılan dronun özellikleri, havada kalış süresi, taşıma kapasitesi gibi teknik özellikleri, fotoğrafları çeken kamera özellikleri, kalibrasyon değerleri (iç ve dış yöneltilmeler), veri işleme için kullanılan yazılım ve donanım özellikleri, veri kalitesini ve sonuç ürünün doğruluğunu etkilemektedir.

Bu çalışma kapsamında dron teknolojilerinin mimari belgeleme çalışmalarında kullanımına yönelik değerlendirmeler, alan çalışması olan Aksaray İli Selime Kasabası'nda yer alan Selime Sultan Türbesi'nin belgeleme süreciyle birlikte ele alınmıştır.

2. METODOLOJİ

Dron teknolojileri kullanılarak 3B modeller üretilmesi teknoloji ve yazılımların gelişmesi, ücretsiz yazılımların gün geçtikçe artması sebebiyle yaygınlaşmıştır. Bu çalışmanın temel iş akışı; uçuşun planlanması, resimlerin elde edilmesi, resimlerin yazılım ortamında hizalanması veya ortak kesişen bölümlerinin üst üste getirilmesi, 3B nokta bulutunun üretilmesi, nokta bulutundan 3B yüzey modellerinin oluşturulması, bu yüzey modellerinin doku ile kaplanması ve son olarak dokulu modellerden yüksek çözünürlüklü düzlem resimlerin (ortofoto) üretilmesi basamaklarından oluşmaktadır. Makale kapsamında destekleyici topografik çalışmalar, GPS (Global Positioning System-Küresel Konumlama Sistemi) ölçümleri, yersel lazer tarama ölçümleri, yer ve hava verilerinin entegrasyonu ve bunların teknik detayları kapsam dışında tutulmuştur (Şekil 1).

Uçuş Planı	Resim Çekme	Resim Hizalama	3B Nokta Bulutu	Mesh Model	Doku Kaplanmış Model	Düzlem Resim
						

Şekil 1. Uçuş planlamasından düzlem fotoğraf sürecine kadar iş akış şeması.

3. ALAN ÇALIŞMASI

3.1. Selime Sultan Türbesi'nin Mimari Özellikleri

Çeşitli yayınlarda Ali Paşa Türbesi, Selime Hatun Türbesi ve Selime Sultan Türbesi olarak geçen yapı, Aksaray İli, Güzelyurt İlçesi'ne bağlı Selime Kasabası'ndadır. Türbe, sekizgen kaide üzerinde, içten kubbe dıştan piramidal külâhla örtülü iki katlı, taş ve tuğlanın birlikte kullanıldığı bir mezar yapısıdır. Türbenin girişi kuzey cephesinde yüksek sivri kemerli bir niş içerisinde. Giriş cephesi tuğlanın istif özelliğinden faydalanılarak oluşturulmuş geometrik bezemeler ile diğer cephelerden farklılaştırılmıştır. Giriş cephesi dışındaki tüm cephelerde sivri kemerler ile oluşturulmuş nişlerin içi düzgün kesme taş kaplamadır. Alt kattaki defin odasının girişi doğu cephesinde kaide üzerinde yer alan boşluktan sağlanmaktadır. Türbenin tarihlendirilmesine ilişkin herhangi bir kitabesi bulunmamaktadır. Benzer karakterde örnekler ve bu konuda yapılmış çalışmalardan türbenin 13.yüzyılın ilk çeyreğine ait bir Selçuklu eseri olduğu kabul edilmektedir (Şekil 2-3).



Şekil 2. Türbenin harabe durumu
(Konya Vakıflar Bölge Müd. Arşivi).



Şekil 3. Türbenin giriş cephesi.

3.2. Veri Toplama

Kültürel miras belgeleme çalışmalarında hazırlanacak 3B modeller detaylı bir alan çalışması gerektirmektedirler. Bunun için çoğu zaman birden fazla tekniğin kullanılması gerekmektedir. Topografik ölçümler, lazer tarama ölçümleri ve fotogrametrik tekniklerin beraber kullanıldığı durumlarda ancak yüksek doğrulukta bir 3B model çalışması gerçekleştirilebilmektedir. Fakat bu tekniklerin kullanılabilmesi için kültürel mirasın ayakta olması ve çeşitli nedenlerle kaybedilmemiş olması gerekmektedir. Kaybedilen kültür mirasının eldeki dijital ve analog fotoğraflar ile yeniden yapımına veya modellemesine yönelik çalışmalar olsa da yeterli verilerin olmadığı durumlarda 3B model elde etme sürecinde önemli sorunlar yaşanmaktadır.

Veri elde edilmesi sırasında öncelikli olarak yeterli gün ışığının olması, ortamda toz ve yüksek nem olmaması, ters ışıktan kaynaklanan aşırı parlak fotoğrafların veya aşırı karanlık fotoğrafların olmamasına özen gösterilmelidir [19]. Eğer özellikle fotoğraflar arasında keskin bir renk veya pozlanma süresi farkı var ise ilave yazılımlar kullanılarak fotoğrafların pozlanma süreleri yaklaşık birbirlerine yakın hale getirilerek hava fotoğraflarını işleyen yazılımlar kullanılabilir.

Alan çalışması genel olarak sadece dron ile fotoğraf temini olmayıp sonuç ürünlerin nitelikli bir rölöve proje hazırlanması için gerçek ölçülerinde ve uygun koordinat sisteminde olacak şekilde uçuşların belirlenmesi gerekmektedir. Benzer şekilde hava fotogrametrisi ile elde edilemeyecek yapı detaylarının ölçülmesinde yine tamamlayıcı bir teknik olan yersel lazer tarama tekniği kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında gerek lazer tarama verilerini gerekse de hava fotoğraflarını gerçek koordinat sisteminde elde etmek ve düzlem resimlerin gerçek ölçülerinde olabilmeleri için çalışma alanına homojen bir şekilde dağıtılmış 6 adet yer kontrol noktası belirlenmiş ve uçuş öncesinde bu noktaların koordinatları topografya ile ölçülmüştür. Bu noktalar ve ölçümleri fotoğraf işleme yazılımı olan PhotoScan'a aktarılmış, sonrasında yer kontrol noktaları işaretlenerek model gerçek ölçülerine hizalanmıştır.

Arazi ölçümlerinde yer kontrol noktalarının sabitlenmesi sonrasında ise dron uçuşa hazır hale getirilmiştir. Bu çalışma kapsamında Mavic Pro II hava aracı ve bu aracın 20 milyon etkin pikseli 5472x3648 ebatlarında fotoğraf çekebilen bütünleşik kamerası kullanılmıştır.

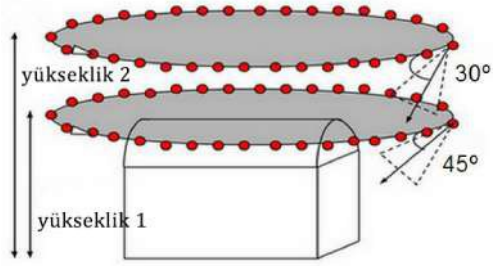
Türbe ölçülmesi sırasında türbenin çevresinde bina olması, büyüklüğü ve geometrisi sebebiyle farklı yüksekliklerden üç farklı dairesel uçuş gerçekleştirilerek her bir uçuşta türbe merkezli fotoğraflar çekilmiştir. Bu uçuş planlamalarının tamamı DJI Phantom Pro 2 ile bütünleşik olan Pix4d uygulaması ve dijital haritası kullanılmıştır.

Yapılan ayarlarda mümkün olduğu kadar türbeye yakın uçulması, türbenin yanal yüzeylerinin de açık bir şekilde dron tarafından fotoğraflanabilmesi için yapı etrafında üç farklı dairesel uçuş planlanmıştır. I. uçuş planında uçuş çapı 55m ve yüksekliği de 20m olacak şekilde yanal yüzeylerin dik fotoğraflanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda ilk uçuşta 36 adet fotoğraf elde edilmiştir. 20m altındaki uçuşlar çevredeki ağaçlar başta olmak üzere engel oluşturmuştur. II. uçuş ise çapı yaklaşık 43m olacak şekilde, 36m yükseklikten uçulmuş ve 36 adet resim elde edilmiştir. Bu uçuşta türbenin daha çok külah bölümünden önceki beden duvarlarının üst kısımlarının fotoğraflanması amaçlanmıştır. III. uçuş ise eğimli yükselen külah yüzeylerine dik fotoğraflar çekebilmek için 20m çapında ve 35m yükseklikten 18 adet fotoğraf çekilerek yapılmıştır. Toplamda türbenin modellenmesinde 90 adet fotoğraf kullanılmıştır.

Uçuş planlaması sırasında dikey duvarlar ve türbenin eğimli külâhının nitelikli bir şekilde algılanması, yer kontrol noktalarının algılanması, farklı yüksekliklerden uçarken de fotoğraflar arasında belirgin bir çözünürlük farkı olmaması için, obje ile dron arasındaki mesafenin kontrollü değiştirilmesine ve dron batarya süresi ile uçuş planlamasının gerçekleştirilmesine dikkat edilmiştir. Dairesel uçuş tekniğinde uçuş planlamasında kullanılan Pix4d yazılımı, farklı yükseklikteki uçuşlardan elde edilecek fotoğraflarda yükseklik farkının birinin diğerinin iki katı olmamasını önermektedir. Bu öneri, fotoğraflar arasındaki yükseklik farkı artınca mesafeye bağlı olarak objeye ait düşük çözünürlüklü verilerin elde edilmesinden dolayıdır [20].



Şekil 4. Türbe ve uçuş çemberleri.



Şekil 5. Uçuş yüksekliklerine göre fotoğraf açıları.

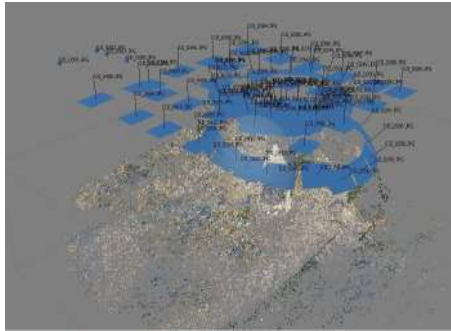
3. ALAN ÇALIŞMASI

Resim işleme aşamasında birbiri üzerine bindirilerek çekilmiş, yoğun 2B resimlerden 3B objenin biçimini tayin eden (Structure from Motion) ve bu resimlerden nokta bulutu üreten bir algoritma ile yapılmaktadır [21]. Resim işleme aşamasında Agisoft Metashape Eğitim versiyonu kullanılmıştır. Dron tekniği ile elde edilen fotoğrafları aynı zamanda Acute3D ve Pix4D yazılımları işleyebilmekte, yüksek hassasiyet ve kalitede sonuçlar elde edilebilmektedir. Arch3D veya 123DCath yazılımları ise sunuculara uygun teknikte çekilmiş resimler yüklendikten sonra, sunucu üzerinden çalışarak model elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Türbe uygulamasında ise dron ile elde edilen 90 adet fotoğraf PhotoScan yazılımına eklenerek hizalamaları yapılmıştır.

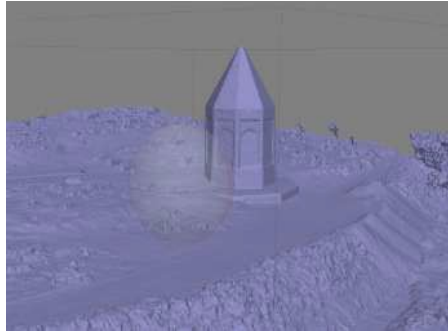
Standart bir iş akışı sunan yazılım sırası ile resim hizalama, nokta bulutu üretme, mesh model oluşturma, oluşturulan modelin fotoğraflar ile

kaplanması ve son aşamada ise düzlem fotoğraf (ortofoto) elde etme aşamalarını kapsamaktadır.

Yoğun nokta bulutu (dense point cloud) üretme işlemi resimlerin 3B bileştirilmesi sonucunda yersel lazer tarama verisine benzer bir veri oluşturmaktadır. Türbe uygulaması sırasında hizalanan resimlerden 9,736,323 adet noktadan oluşan bir nokta bulutu elde edilmiştir. Sonrasında bu nokta bulutu E75 veya PTX gibi uzantılar ile lazer tarama verilerini işleyen platformlara transfer edilmiş ve lazer verileri ile birleştirilmiştir (Şekil 6). 3B model elde edilmesindeki en önemli adımlardan birisi nokta bulutunun yüzey modele (mesh model) dönüştürülmesidir. Bu model nokta bulutunun üçgen yüzeyler oluşturacak şekilde model oluşturulması işlemidir. Bu işlem sonrasında 649,086 adet üçgen yüzeylerden oluşan bir yüzey modeli elde edilmiştir (Şekil 7). Bu işlem sonrasında deforme olmuş yüzeyler, tamamlanmamış yüzeyler onarılabilmekte, boşluklar doldurulabilmektedir. Yüzey modellerinin yüzey sayısı arttığı oranda veri işleme süresi uzamakta, yüksek işlemci kapasitesine sahip (CPU) bilgisayarlara gereksinim duyulmaktadır. Bu sebeple amaca yönelik olarak buradaki yüzey modelin daha sadeleştirilmesi ve yüzey sayısının azaltılması yapılabilmektedir. Bu uygulama için ticari yazılımlar olabileceği gibi açık kaynak yazılımlar da verimli bir şekilde kullanılabilir. Yüzey modelin hizalanmış resimlerle kaplanması sonucu 3B doku ile kaplanmış model elde edilmektedir. Türbe uygulamasında hizalanan resimler elde edilen yüzey modele 4,096 x 4,096 piksel ebatlarında kaplanacak şekilde uygulanmıştır (Şekil 8).



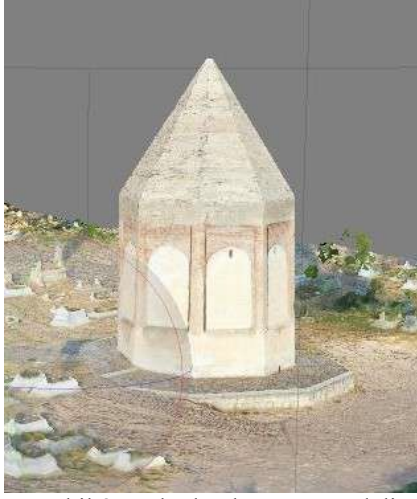
Şekil 6. Nokta bulutu görünüşü.



Şekil 7. Nokta bulutu aşamasından sonra elde edilen yüzey modeli.

Dron teknolojisinin kültürel miras belgelemesinde kullanımı

Düzlem fotoğrafların (ortofoto) elde edilmesi mimari belgeleme çalışmalarında önemli bir aşamayı oluşturmaktadır. Türbenin sekizgen yüzeylerinin tamamının yüksek çözünürlükte düzlem fotoğrafları elde edilmiştir (Şekil 9). Benzer şekilde türbenin lazer tarama ve yersel fotogrametri ile ölçümlenemeyen örtü sistemi yüksek çözünürlükte belgelenmiştir. Gerek türbe cephelerini oluşturan detaylar gerekse de türbenin örtüsünü oluşturan tuğla örgü sistemi ve deformasyonlar yüksek hassasiyette görülebilmiş ve çizilebilmiştir (Şekil 10).



Şekil 8. Doku kaplı yüzey modeli.

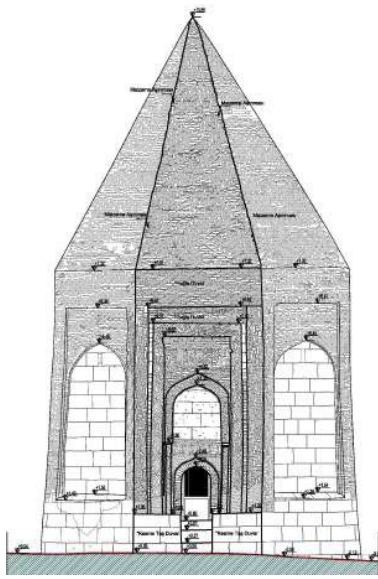


Şekil 9. Türbenin gerçek ölçüsünde düzlem resmi.

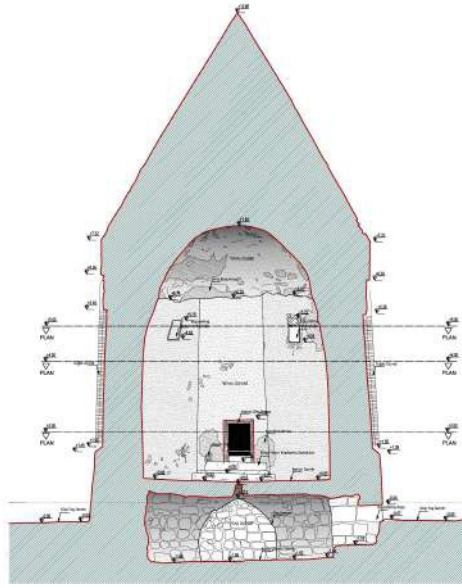


Şekil 10. Türbenin ölçekli üst görünüşü.

Elde edilen fotoğraflar doğrudan CAD çizim programlarına çağrılabilmekte ve bu düzlem resimler üzerinden detaylı çizimler yapılabilmektedir. Bu teknik sayesinde ulaşılması zor yüzeylerin yüksek çözünürlükte ve teknik resim kurallarına uygun görünüşleri kolaylıkla çizilebilmektedir. Bu teknikle hazırlanan çizimlerde duvar örgü sistemleri, malzeme farklılıkları deformasyonlar açık bir şekilde 2B projelendirilebilmektedir (Şekil 11-12).



Şekil 11. Yapının giriş cephesi çizimi.



Şekil 12. Yapının kesiti.

5. SONUÇ

Makale kapsamında profesyonel koruma uygulamalarında gerekli olan röleve projesi hazırlama sürecinde drone teknolojilerinin sağladığı kolaylıklara yönelik sonuçlar değerlendirilmiştir. Özellikle ulaşılması oldukça zor yapı bölümlerine yönelik hızlı ve yüksek doğrulukta veriler elde edilmiştir. Topografik veriler, lazer tarama ve yersel fotogrametri ile çözüm bulunamayan yapı bölümlerinde, özellikle hava verilerinin elde edilmesinde drone teknolojileri hassas veriler sunmaktadır. Önemli olarak can güvenliği sebebiyle girilemeyen yapılarda, afet görmüş kültürel miras yapılarında, kültürel mirasın ulaşılmayan veya gözlemlenemeyen bölümlerinin belgelenmesinde drone teknolojileri geleneksel yöntemlere göre hem zaman hem maliyet hem de doğruluk bakımından önemli avantajlar sunmaktadır.

Bu sonuç dron teknolojisi ile entegre olmuş hava fotogrametrisinin veri toplama imkânı sağlaması açısından önemli bir avantajı olarak görülmektedir.

Çalışma kapsamında, türbe yapısının cephesine yönelik yürütülen çalışmada hızlı bir şekilde veri elde edilmiş ve bu veriler yazılımda işlenerek yüksek doğrulukta düzlem fotoğraflar üretilebilmiştir. Bu düzlem fotoğrafların çözünürlüğünün 2B mimari proje üretiminde oldukça kolaylık sağladığı gözlemlenmiştir. Bu verilerle yapının biçimi, geometrisi kolaylıkla çizilebilmekte, yapı üzerindeki malzeme farklılıkları ve deformasyonlar görülebilmekte ve yüksek hassasiyette analitik haritalar oluşturulabilmektedir. Tüm bunlar 2B çizimlerin içeriğini zenginleştirmektedir.

Dron fotogrametrisinin haritalamada kullanılacak karmaşık bilgileri kısa sürede toplayabilmesi teknolojinin olumlu yönlerindedir. Çalışma konusu türbe yapısı dron kullanarak oldukça kısa süreli uçuşlar ile (4 dk gibi) yapılabilirken, daha büyük ebattaki kültürel miras ve arkeolojik alanlarda da bu teknoloji kolaylıkla kullanılabilir.

Teknolojinin sunduğu avantajlara rağmen, uygun teknoloji ve yazılımlara ulaşım, veri işleme için gerekli donanım, uçuş için uzman gerekliliği, yazılım kullanımında uzmanlaşma gerekliliği bu teknolojinin kullanımındaki limitler arasında sayılabilmektedir. Tüm proje etaplarında çalışma konusu olan objeye yönelik planlama yapılması gerekmekte ve kullanıcının yeterli bilgi ve donanıma sahip olması gerekmektedir. Fotoğraf işleme ve doku kaplama süreçlerinde yüksek donanıma gereksinim duyulması bu teknolojinin kullanımını maliyet yönüyle düşündürmektedir. Ayrıca yüksek kalitede veri istendiğinde veri işleme süresinin uzunluğu, mesh model, doku kaplı modellerin oluşturulması ve nokta bulutlarının yönetimi yine uzmanlık gerektirmektedir. Yasal olarak uçuşların yapılabilmesi için uçuş lisansı gerekliliği ve uçuşlar için izin alınma zorunlulukları da teknolojinin yasal zorlukları arasındadır.

KAYNAKLAR

- [1] Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 92, 79-97.
- [2] Püschel, H., Sauerbier, M., & Eisenbeiss, H. (2008). A 3D Model of Castle Landenberg (CH) from Combined Photogrammetric Processing of Terrestrial and UAV based Images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B6b),93-98.
- [3] Stek, T. D. (2016). Drones over Mediterranean landscapes. The potential of small UAV's (drones) for site detection and heritage management in archaeological survey projects: A case study from Le Piane in the Tappino Valley, Molise (Italy). *Journal of Cultural Heritage*, 22, 1066-1071.
- [4] Petrie, G. (2013). Commercial Operation of Lightweight. *GEOInformatics* 16(1), 28.
- [5] Themistocleous, K., Agapiou, A., King, H. M., King, N., & Hadjimitsis, D. G. (2014, November). More than a flight: the extensive contributions of UAV flights to archaeological research—the case study of curium site in Cyprus. In *Euro-Mediterranean Conference* (pp. 396-409). Springer, Cham.
- [6] Lo Brutto, M., Garraffa, A., & Meli, P. (2014). Uav Platforms for Cultural Heritage Survey: First Results. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2(5).
- [7] Lingua, A., Noardo, F., Spanò, A., Sanna, S., & Matrone, F. (2017). 3D model generation using oblique images acquired by UAV. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42.
- [8] Karachaliou, E., Georgiou, E., Psaltis, D., & Stylianidis, E. (2019). UAV for mapping historic buildings: From 3D modelling to BIM. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2), W9.
- [9] Jo, Y. H., & Hong, S. (2019). Three-dimensional digital documentation of cultural heritage site based on the convergence of terrestrial laser scanning and unmanned aerial vehicle photogrammetry. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2), 53.
- [10] Xu, Z., Wu, L., Shen, Y., Li, F., Wang, Q., & Wang, R. (2014). Tridimensional reconstruction applied to cultural heritage with the use of camera-equipped UAV and terrestrial laser scanner. *Remote Sensing*, 6(11), 10413-10434.
- [11] Themistocleous, K., Agapiou, A., & Hadjimitsis, D. (2016). 3D documentation and BIM modeling of cultural heritage structures using UAVS: the case of the Foinikaria church. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 45.
- [12] Achille, C., Adami, A., Chiarini, S., Cremonesi, S., Fassi, F., Fregonese, L., & Taffurelli, L. (2015). UAV-based photogrammetry and integrated technologies for architectural applications—Methodological strategies for the after-quake

- survey of vertical structures in Mantua (Italy). *Sensors*, 15(7), 15520-15539.
- [13] Barrile, V., Fotia, A., Candela, G., & Bernardo, E. (2019). INTEGRATION OF 3D MODEL FROM UAV SURVEY IN BIM ENVIRONMENT. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*.
- [14] Themistocleous, K., Ioannides, M., Agapiou, A., & Hadjimitsis, D. G. (2015, June). The methodology of documenting cultural heritage sites using photogrammetry, UAV, and 3D printing techniques: the case study of Asinou Church in Cyprus. In *Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2015)* (Vol. 9535, p. 953510). International Society for Optics and Photonics.
- [15] Eisenbeiss, H. (2004). A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(5/W1), 1-7.
- [16] Bakirman, T., Bayram, B., Akpınar, B., Karabulut, M. F., Bayrak, O. C., Yigitoglu, A., & Seker, D. Z. (2020). Implementation of ultra-light UAV systems for cultural heritage documentation. *Journal of Cultural Heritage*, 44, 174-184.
- [17] Condorelli, F., & Rinaudo, F. (2018). Cultural Heritage Reconstruction from Historical Photographs And Videos. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42(2).
- [18] Sauerbier, M., & Eisenbeiss, H. (2010). UAVs for the documentation of archaeological excavations. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(5), 526-531.
- [19] Anonim, 2021, <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/115002471546-Image-acquisition> [Ulaşım tarihi: 02.03.2021]
- [20] Kholil, M., Ismanto, I., & Fu'ad, M. N. (2021, February). 3D reconstruction using Structure from Motion (SfM) algorithm and Multi View Stereo (MVS) based on computer vision. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1073, No. 1, p. 012066). IOP Publishing.