

Fotogrametri Tekniği Kullanılarak Anıt Ağaçların Dijital Belgelenmesi: Mızık Çamı Tabiat Anıtı Örneği

Ahmet Uslu^{1*}

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Kütahya, Türkiye

Makale Tariđesi

Gönderim: 29.09.2021

Kabul: 31.03.2022

Yayım: 15.04.2022

Araştırma Makalesi



Öz – Doğal ve kültürel mirasın yaşayan temsilcileri olan anıt ağaçların tespiti, tescili, korunması, gerçekliğe dayalı dijital belgelenmesi ve sürdürülebilir bir anlayışla gelecek nesillere aktarılması önem arz etmektedir. Anıt ağaçların gerçekliğe dayalı dokümantasyonunda fotogrametri tekniği güvenilir ve doğru bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışmada, anıt ağaçların korunması ve görselleştirilmesi için etkili ve düşük maliyetli bir araç olarak fotogrametri tekniğine dayalı gerçekçi ve yüksek doğrulukta üç boyutlu (3B) modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. İş akışı Kütahya ili, Domaniç ilçesi, Domur Köyü'nde yer alan Mızık Çamı Tabiat Anıtına uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçları, anıt ağaçların 3B dijital dokümantasyonu ve analizi çalışmalarında fotogrametri tekniğinin doğruluk, hız, maliyet, verimlilik ve ürün çeşitliliği açısından büyük avantajlar sağladığını göstermiştir. Çalışmada açıklanan yaklaşım kültürel miras eserlerini daha erişilebilir ve kapsayıcı hale getirmek için yeni fırsatlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Fotogrametri, kültürel miras, anıt ağaç, 3B model

Digital Documentation of Monumental Trees Using Photogrammetry Technique: The Case of Mızık Pine Natural Monument

¹Kutahya Dumlupınar University, Tavşanlı Vocational School, Department of Architecture and Urban Planning, Kutahya, Turkey

Article History

Received: 29.09.2021


Accepted: 31.03.2022

Published: 15.04.2022

Research Article

Abstract – It is important to identify, register, protect monumental trees that are living representatives of natural and cultural heritage, to transfer them to next generation with a digital documentation based on reality and a sustainable understanding. The photogrammetry technique offers a reliable and accurate approach to the reality-based documentation of monumental trees. In this study, it is aimed to create a realistic and highly accurate three-dimensional (3D) model based on photogrammetry technique as an effective and low-cost tool for the preservation and visualization of monumental trees. The workflow was applied to the Mızık Pine Natural Monument located in Domur Village, Domaniç district, Kütahya province. The results of the study showed that the photogrammetry technique provides great advantages in terms of accuracy, speed, cost, efficiency and product diversity in 3D digital documentation and analysis of monumental trees. The approach described in the study provides new opportunities to make works of cultural heritage more accessible and inclusive.

Keywords – Photogrammetry, cultural heritage, monumental tree, 3D model

¹  ahmet.uslu1@dpu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Anıt ağaçlar, yaş, çap ve boy bakımından kendi türünün alışlagelmiş ölçüleri üzerinde boyutlara sahip olan, yörenin kültürü ve tarihinde önemli yer tutan, insanlığın ortak mirası olarak geçmiş ile günümüz ve gelecek arasında bağ kurabilecek büyüklükte doğal ömre sahip tabiat varlıklarıdır (Asan, 1987). Doğa tarihinin ve kültürel mirasın yaşayan temsilcileri olarak geçmişten günümüze ulaşan anıt ağaçlar, doğal zenginliklerimizin başında gelmektedir (Asan, 1991). Anıt ağaç araştırmaları, biyolojik kaynaklar, bitki dağılımı, çevresel değişim, türlerin genetik özellikleri ve tarihi ve kültürel mirasın incelenmesi açısından büyük bilimsel değere sahiptir (Briffa, 2020). Büyük önemine rağmen anıt ağaçlar hem doğal hem de beşerî tehditler altında yok olma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Bu bağlamda anıt ağaçların tespiti, tescili ve gerçekliğe dayalı dijital belgelenmesi büyük önem arz etmektedir. Gerçekliğe dayalı dokümantasyon, objelerin ölçüldüğü, 3B modellendiği ve dijital ortamda saklandığı bir uygulamadır (Remondino vd., 2010). Anıt ağaçların gerçekliğe dayalı dokümantasyonunda geometrik doğruluk bakımından kullanım kolaylığı, düşük maliyet ve hassas veri kalitesi sağlayan popüler yöntemlerden biri fotogrametri tekniğidir (Remondino vd., 2010).

Fotogrametri tekniği, üst üste bindirmeli iki boyutlu (2B) görüntülerden güvenilir, doğru ve ayrıntılı 3B fotogerçekçi modelin üretimi için güçlü bir yaklaşım sağlar (Remondino vd., 2010). Bu teknik, nesnenin özelliklerini nesneye temas etmeksizin 3B olarak yeniden oluşturmayı sağlayan bir yaklaşım olması itibarıyla 3B dijital dokümantasyon uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir (Huang vd., 2015). Fotogrametri tekniği hızlı, verimli, ekonomik ve güvenilir veriler sağladığı için kültürel mirasın 3B dokümantasyonu (Uslu vd., 2016; Uslu, 2021; Uslu ve Uysal 2021), orman alanlarının haritalanması (Liang vd., 2014; Rahlf vd., 2017; Zhang vd., 2019), bireysel ağaçların 3B modellenmesi (Maravelakis vd., 2012; Uzun ve Gül 2017; Torres-Sánchez vd., 2017), ağaç yüksekliği (Zarco-Tejada vd., 2014; Wu vd., 2014; Zhou vd., 2020) ve taç parametrelerinin (Díaz-Varela vd., 2015; Mohan vd., 2017) belirlenmesi çalışmalarında etkin bir teknoloji olarak kullanılmaktadır. Fotogrametri tekniği kullanılarak ağaçların 3B modellenmesini konu alan çalışmaların ana temaları aşağıda özetlenmiştir. Maravelakis vd., (2012) Dünyanın en eski zeytin ağacı olarak bilinen Vouves Anıtsal Zeytin Ağacının fotogrametri tekniğine dayalı olarak 3B modelini oluşturmuşlardır. Araştırmacılar 3B dijital modeli optimize ederek anıt ağacın ayrıntılı rölöve çizimlerini gerçekleştirmişler ve son olarak 3B yazıcı teknolojisi aracılığıyla Vouves Anıtsal Zeytin Ağacının baskısını elde etmişlerdir. Uzun ve Gül, (2017) Hareketten Oluşum Fotogrametrisi (Structure from Motion / SfM) tekniği ile ağaçların 3B modellenmesi olanaklarını araştırmışlardır. Dijital fotoğraf makinesi ile çekilen fotoğraflar kullanılarak Autodesk 123D Catch ve Agisoft PhotoScan yazılımlarında ağaçların 3B dijital modellerini elde etmişlerdir. Elde edilen 3B dijital modeller 13 farklı kriter bazında uzmanlarca değerlendirilmiş ve Agisoft PhotoScan yazılımı en uygun 3B ağaç modelleme yazılımı olarak belirlenmiştir. Torres-Sánchez vd., (2017) bir İHA üzerine yerleştirilen düşük maliyetli bir dijital kamera aracılığıyla elde edilen görüntülere fotogrametrik teknikler uygulayarak badem ağaçlarının geometrik yapısını temsil eden 3B nokta bulutlarını oluşturmuşlardır. 3B nokta bulutları, badem ağaçlarının 3B özelliklerini (yükseklik, alan ve hacim) karakterize etmek amacıyla herhangi bir kullanıcı müdahalesi olmaksızın nesne tabanlı görüntü analizi (OBIA) algoritması kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırmada açıklanan yaklaşımın, hassas tarım bağlamında ağaç ve mahsul yönetimi arasındaki bağlantıları ilgili tarımsal-çevresel etkilerle anlamak için önemli katkılar sağladığı belirtilmiştir.

Literatür taraması neticesinde ülkemizde fotogrametri tekniği kullanılarak anıt ağaçların 3B modellenmesi alanında yapılmış bilimsel bir araştırmaya rastlanılmamıştır. Bu bağlamda çalışmada, anıt ağaçların dijital olarak belgelenerek korunması ve görselleştirilmesi için etkili, düşük maliyetli bir araç olarak fotogrametri tekniğine dayalı gerçekçi ve yüksek doğrulukta bir anıt ağacın 3B modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışma, fotogrametri tekniği ile kültür ve tabiat varlıklarının 3B modellenmesi alanında çalışmalar yapan araştırmacılara ulaşmayı hedeflemekte, anıt ağaçların korunması ve yönetimi, peyzaj planlaması ve tasarımı için referans oluşturabilecek bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmada açıklanan yaklaşım Kütahya ili, Domaniç ilçesi, Domur Köyü'nde yer alan Mızık Çamı Tabiat Anıtına uygulanmıştır. Çalışma dört bölüm halinde

düzenlenmiştir. Giriş bölümünün (Bölüm 1) ardından, 2. bölümde Mızık Çamı Tabiat Anıtının genel özellikleri, çalışmada kullanılan materyaller ve çalışmanın yöntemi sunulmaktadır. Bölüm 3; fotogrametrik değerlendirme, 3B nokta bulutu oluşturma ve 3B modelleme uygulamalarını içermektedir. Son olarak Bölüm 4'te ise; tartışma, çalışmanın sonuçları, öneriler ve gelecekteki çalışmalar belirtilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı ve Veri Kaynakları

Çalışmada Kütahya ili, Domaniç ilçesi, Domur Köyü sınırları içerisinde yer alan Mızık Çamı Tabiat Anıtı model olarak seçilmiştir (Şekil 1). Karaçam türünde Mızık Çamı, Osmanlı tarihiyle ilişkisi bakımından oldukça önemli anıt ağaçlarımızdan biridir. Osmanlı Devleti'nin kurucusu Osman Gazi'nin bebeklik beşiğinin kurulduğu ağaç olarak rivayet edilmektedir. 876 yaşındaki Mızık Çamı, 1988 yılında şiddetli bir rüzgâr neticesinde yıkılmıştır. Bursa Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu'nun 15.07.1988 tarih ve 83 sayılı kararı gereği anıt ağaç olarak tescil edilmiştir. Çürümeye yüz tutan ağaç verniklenerek ve üzeri çatı ile kapatılarak koruma altına alınmıştır. 11.08 metre uzunluğundaki ağaç, kıvrımları, ahtapotu andıran yaygın dalları ve doğa harikası estetik görüntüsü ile ziyaretçilerin ilgisini çekmektedir (URL-1).



Şekil 1. Mızık Çamı Tabiat Anıtı ve coğrafi konumu (URL-1)

Çalışmada materyal olarak, anıt ağacın fotoğraflarının çekiminde Samsung J7 model mobil telefon, ağaç üzerinde belirlenen kontrol noktalarının koordinat değerlerini ölçmek için Spectra Focus 6 reflektörsüz totalstation cihazı, fotogrametrik değerlendirme ve 3B modelleme için lisanslı Agisoft PhotoScan ve Autodesk Meshmixer yazılımları kullanılmıştır. Tablo 1'de Spectra Focus 6 totalstation cihazının teknik özellikleri yer almaktadır.

Tablo 1

Spectra Focus 6 totalstation cihazının teknik özellikleri (URL-2)

Özellikler	Değer
İşletim Sistemi	Windows CE
Reflektörlü okuma mesafesi	1.5 m 'den 3000 m ye kadar
Reflektörsüz okuma mesafesi	200 m 'den 500 m ye kadar
Mesafe hassasiyeti	(2+2ppm x D)mm
Batarya ömrü	Sürekli mesafe/açı ölçümünde: 12 Saat

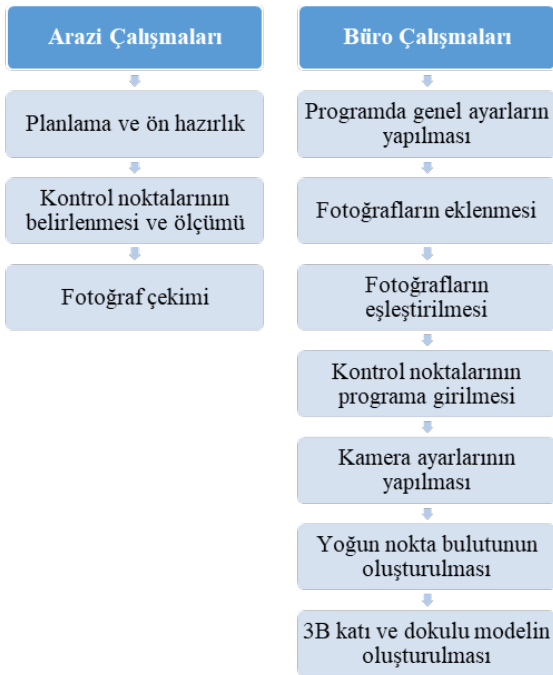
Tablo 1

Devam ediyor

Özellikler	Değer
Ölçüm süresi	Hassas mod : 1.5 sn, Normal mod : 0.8 sn
Çalışma sıcaklığı	-20°C ile +50°C
Depolama sıcaklığı	-25°C ile +60°C
Toz ve suya karşı dayanıklılık	IP66
Bluetooth	Var
Usb	Var

2.2. Metot

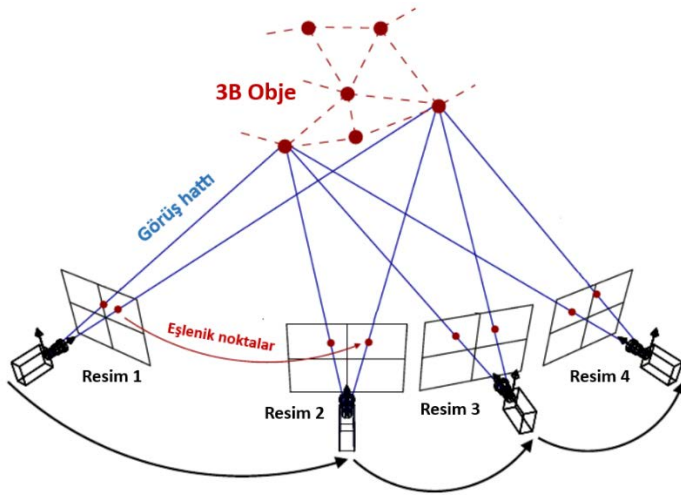
Fotogrametri tekniği kullanılarak gerçekleştirilen dijital belgeleme uygulamaları arazi ve büro çalışmalarından oluşmaktadır. Arazi çalışmaları; anıt ağacı çevreleyen lokal sistemde jeodezik bir ağı oluşturulması, resim koordinat sisteminden arazi koordinat sistemine dönüşümün gerçekleştirilmesi amacıyla anıt ağaç üzerinde kontrol noktalarının belirlenmesi, belirlenen kontrol noktalarına ilişkin koordinat değerlerinin (X, Y, Z) elde edilmesi ve son olarak anıt ağacın tüm yönlerden fotoğraflarının çekilmesi işlemlerini kapsamaktadır. Büro çalışmaları ise fotoğrafların ve kontrol noktalarına ait koordinat değerlerinin dijital ortama aktarılması, fotogrametrik değerlendirme ve 3B modelleme işlemlerinden oluşmaktadır. Şekil 2' de çalışmada uygulanan iş akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın iş akış şeması (Çelik vd., 2020)

2.3. Fotogrametri ve Hareket ile Nesne Oluşturma (Structure from Motion/SfM)

Hareket ile nesne oluşturma (SfM), 3B model üretimi araştırmalarında daha fazla esneklik ile 3B modelleme prosedürünü önemli ölçüde kolaylaştıran düşük maliyetli fotogrametri tekniğidir. SfM, örtüşen 2B görüntü dizilerinden 3B modelleri tahmin etmek için kullanılmaktadır. Kamera parametreleri hakkında önceden bilgi sahibi olmadan sırasız ve heterojen görüntü kümeleriyle başa çıkabilmesi nedeniyle son yıllarda popülerlik kazanmıştır (Westoby vd., 2012). SfM tekniği, fotoğraflarda ortak noktaları bularak ve bu ortak noktaları eşleştirerek çalışmaktadır. Şekil 3'te SfM algoritmasının temel çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3. SfM algoritmasının temel çalışma prensibi (URL- 3)

SfM süreci, görüntülerdeki anahtar noktaların (yani, ayırt edici kontrast veya dokuya sahip noktalar veya piksel kümeleri) otomatik olarak çıkarılmasıyla başlar. Anahtar noktalar tüm görüntülerde tanımlanır ve ardından yer aldıkları görüntüler arasında eşleştirilir (Fonstad vd., 2012). Yeterli sayıda görüntü ve anahtar nokta eşleşmesi sağlandığında SfM, kamera parametrelerini ve sahnenin seyrek bir 3B nokta bulutunu aynı anda hesaplamak için demet ayarı gerçekleştirir (Shum vd., 1999). Demet ayarı, rastgele seçilen eşleşen anahtar noktaların dizilerinden elde edilen başlatma değerleri ve tamamlayıcı olarak kameralardan alınan parametreler kullanılarak çözülür (Shum vd., 1999). Ardından, SfM'nin çıktıları, yer kontrol noktalarına ve/veya kameradan veya navigasyon cihazlarından gelen verilere dayalı olarak ölçeklenir ve coğrafi referanslı hale getirilir (Iglhaut vd., 2019). Son olarak SfM'den elde edilen kamera pozları ve parametreler, MVS (Multi-View Stereo) algoritmaları kullanılarak yoğunlaştırılmış bir nokta bulutu oluşturmak için uygulanır (Iglhaut vd., 2019).

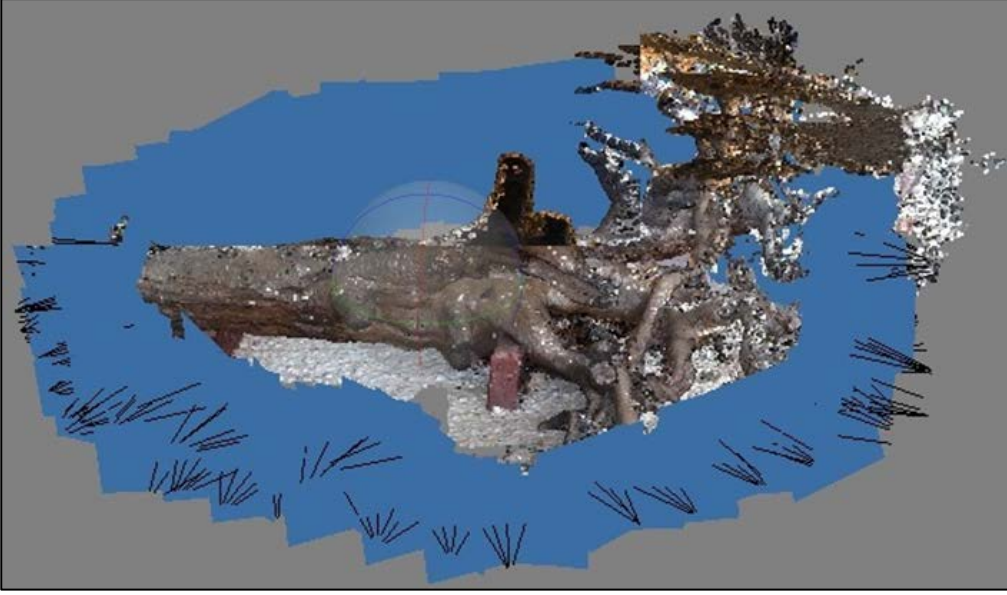
3. Bulgular

3.1. Veri Toplama

Fotogrametri tekniği ile 3B modelleme için planlı bir şekilde jeodezik alım ve fotoğraf çekimi gerçekleştirilmelidir (Remondino vd., 2010). Bu bağlamda öncelikle anıt ağaç üzerinde belirlenen kontrol noktalarının koordinat değerlerini elde etmek için anıt ağacı çevreleyen lokal koordinat sisteminde kapalı bir jeodezik ağ oluşturulmuştur. Bu işlemten sonra ağaç üzerinde homojen dağılımlı 27 adet kontrol noktası belirlenmiş ve bu noktaların koordinat değerleri totalstation cihazı aracılığıyla elde edilmiştir. 17 adet kontrol noktası 3B dijital modelin koordinatlandırılmasında, 10 adet kontrol noktası ise 3B modelin konum doğruluğunun analizi işleminde kullanılmak üzere tayin edilmiştir. Kontrol noktalarının ölçümünden sonra 13 MP çözünürlüğe sahip Samsung J7 mobil telefonun kamerası kullanılarak kontrol noktalarının tüm fotoğraflarda görünür ve seçilebilir olması kaydıyla anıt ağacın farklı açılardan ve bindirmeli olarak toplam 229 adet fotoğrafı çekilmiştir.

3.2. Fotogrametrik Değerlendirme ve 3B Model Oluşturma

Fotogrametrik değerlendirme ve 3B modelleme için öncelikle 229 adet fotoğraf Agisoft Photoscan yazılımına aktarılmıştır. Agisoft Photoscan yazılımında 229 adet fotoğrafın tamamı, 28,426 adet bağlantı noktası ile otomatik olarak hizalanmıştır. Şekil 4' te kamera konumları ve yönleri gösterilmiştir.



Şekil 4. Kamera konumları ve yönleri

3B modelin ölçeklendirilmesi amacıyla arazi çalışmaları aşamasında koordinat değerleri ölçülen 17 adet kontrol noktası nokta atmak suretiyle işaretlenmiştir. Daha sonra kontrol noktaları ile birlikte Mızık Çamı Tabiat Anıtı'nın sırasıyla 3B yoğun nokta bulutu (Şekil 5) ve doku kaplı 3B dijital modeli oluşturulmuştur (Şekil 6).

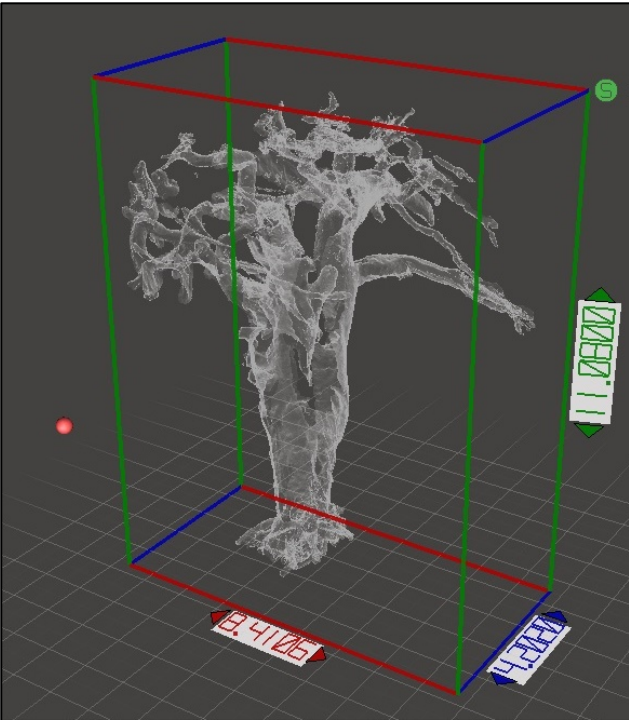


Şekil 5. Mızık Çamı Tabiat Anıtının 3B yoğun nokta bulutu.



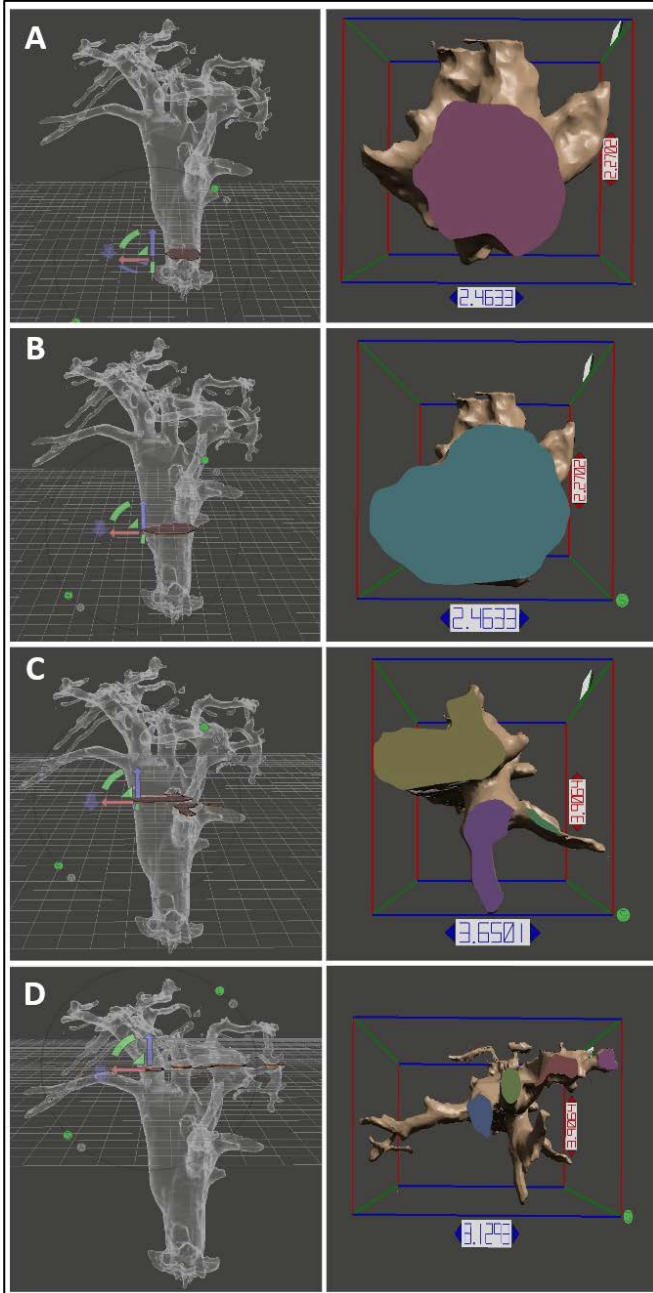
Şekil 6. Mızık Çamı Tabiat Anıtının 3B dokulu modeli

Dijital ortamda kaydedilen 3B katı model üzerinden obje bütününe ait istenilen yükseklikte, istenilen sayıda yatay ve düşey kesitler, görünüş ve planlar elde edilebilmektedir. Mızık Çamı üzerinde ayrıntılı kesitlerin üretimi için 3B dijital model “.obj” uzantılı model dosyası olarak kaydedilmiş ve Autodesk Meshmixer yazılımına aktarılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Mızık Çamı Tabiat Anıtı'nın boyutları

3B model Autodesk Meshmixer yazılımında optimize edilerek 2m, 4m, 6m ve 8m yüksekliklerinde yatay ve düşey kesitleri ortaya çıkarılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Farklı yüksekliklerde detaylı kesitler (A:2 m; B:4 m; C:6 m; D:8 m).

Mevcut verilere bağlı olarak, rölöve çizimleri ile Mızık Çamının istenilen bölgeleri ayrıntılı olarak çizilebilir ve ölçülenebilir. Herhangi bir hasarın oluşması durumunda rölöve ölçülerinden faydalanılarak, kesitlere bağlı hasar tespit paftası oluşturulabilir ve anıt ağacın aslına uygun restorasyonu sağlanabilir.

3.3. Doğruluk Analizi

Belgeleme çalışması neticesinde oluşturulan Mızık Çamı Tabiat Anıtının 3B modeline yönelik konumsal hatanın tespiti amacıyla doğruluk analizi yapılmıştır. Doğruluk analizi, totalstation cihazı kullanılarak elde edilen arazi koordinatlarının ve 3B dijital model üzerinden alınan test verilerinin değerlendirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Koordinatlandırma işlemi için kullanılmayan 10 adet kontrol noktası test verisi olarak seçilmiştir. Arazi çalışmaları aşamasında totalstation cihazı ile ölçülen test verilerine ait koordinatlar kesin değer olarak kabul edilmiştir. Test verilerinin kesin koordinat değerleri, 3B dijital model üzerinden elde edilen koordinat değerleri ile karşılaştırılarak, 10 adet kontrol noktasının x, y, z yönündeki karesel ortalama hataları

hesaplanmıştır. Tablo 2’de test verilerine ilişkin kesin koordinat değerleri ve 3B dijital model üzerinden elde edilen koordinat değerleri gösterilmiştir.

Tablo 2

Test verilerine ilişkin kesin koordinat değerleri ile 3B dijital model üzerinden elde edilen koordinat değerleri

Nokta No	Kesin Koordinat Değerleri (X)			3B Dijital Model Üzerinden Elde Edilen Koordinat Değerleri (L)		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
2	501.171	500.479	494.463	501.158	500.470	494.448
3	503.102	501.061	493.459	503.114	501.069	493.452
4	499.378	500.527	494.502	499.362	500.514	494.511
8	495.131	502.059	494.392	495.121	502.048	494.405
6	495.095	499.447	496.575	495.090	499.459	496.568
10	500.294	501.409	492.236	500.285	501.417	492.245
15	495.992	502.333	492.583	495.981	502.328	492.587
16	502.335	501.090	493.630	502.344	501.080	493.641
20	497.864	501.268	492.515	497.850	501.257	492.530
23	494.264	502.771	489.934	494.271	502.763	489.944

3B dijital model üzerinden elde edilen ait koordinat değerlerinden (L), totalstation cihazı ile ölçülen (kesin değer) koordinat değerlerinin (X) farkları alınarak Eşitlik 3.1 yardımıyla hata değerleri hesaplanmıştır. Tablo 3’te hata ve hataların karesine ilişkin değerler gösterilmiştir.

$$V = L - X \quad (3.1)$$

Tablo 3

Hata ve hataların karesine ilişkin değerler

Nokta No	Vi Farklar (mm)			Vi Vi Farkların karesi (mm ²)		
	Vx	Vy	Vz	Vx Vx	Vy Vy	Vz Vz
2	-13	-9	-15	169	81	225
3	12	8	-11	144	64	121
4	-16	-13	9	256	169	81
8	-10	-11	13	100	121	169
6	-5	12	-7	25	144	49
10	-9	8	9	81	64	81
15	-11	-5	4	121	25	16
16	9	-10	11	81	100	121
20	-14	-11	15	196	121	225
23	7	-8	10	49	64	100

3B dijital modelin x,y,z koordinatlarında ortalama konum hatası farkların karesi (ViVi) ve nokta sayısı (n) dikkate alınarak Eşitlik 3.2 yardımıyla hesaplanmıştır. Tablo 4’ te 3B dijital modele yönelik doğruluk araştırması sonuçları gösterilmiştir.

$$m = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} \quad (3.2)$$

Tablo 4
3B dijital modele yönelik doğruluk araştırması sonuçları

Karasel Ortalama Hata (mm)				
n	mx	my	mz	mxyz
10	11.65	10.29	11.48	19.33

n: Nokta sayısı, mx: X koordinatında karesel ortalama hata, my: Y koordinatında karesel ortalama hata
mz: Z koordinatında karesel ortalama hata, mxyz: x,y,z koordinatlarında ortalama hata

Doğruluk analizi sonucunda 3B dijital modelin X yönündeki karasel ortalama hatası 11.65 mm, Y yönündeki karasel ortalama hatası 10.29 mm, Z yönündeki karasel ortalama hatası 11.48 mm ve x,y,z koordinatlarındaki ortalama konum hatası ± 19.33 mm olarak bulunmuştur.

4. Tartışma, Sonuç ve Öneriler

Modern dijital çağın önemli bir bileşeni olan 3B modelleme teknolojisi, kültürel mirasın belgelenmesi, korunması, yeniden inşası, 3B baskılarının oluşturulması ve sanal ortamlarda görselleştirilmesi gibi farklı amaçlar için önemli bir ilgi odağı haline gelmiştir. Bu çalışmada anıt ağaçların, fotogrametri tekniğine dayalı olarak düşük maliyetli bir ölçüm ve yüksek çözünürlüklü dijital 3B modellerin elde edilmesini sağlayan bir yaklaşım sunulmuştur. İş akışı Kütahya ili, Domaniç ilçesi, Domur Köyü'nde yer alan Mızık Çamı Tabiat Anıtına uygulanmış ve anıt ağacın 3B dijital modeli yersel fotogrametri tekniği ile düşük maliyet, yüksek çözünürlük ve ± 19.33 mm konum doğruluğunda oluşturulmuştur. Doğruluk analizi sonuçları dikkate alındığında 3B dijital modelin, koruma uzmanlarca gerçekleştirilebilecek restorasyon çalışmalarında ve zamanla anıt ağaç üzerinde meydana gelebilecek bozulmaların belirlenmesinde referans bir altlık olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir. Çalışmada veri kaynağı olarak akıllı telefon ile çekilmiş fotoğraflar kullanılmıştır. Akıllı telefonlar nispeten ucuz, küçük ve taşınabilir, bu da veri toplama verimliliğini büyük ölçüde arttırmaktadır. Bu bağlamda çalışma ülkemizde bir ilki teşkil etmekte olup, fotogrametri tekniği ile anıt ağaçların 3B modellenmesi üzerine çalışmalar gerçekleştiren araştırmacılara ulaşmayı hedeflemekte, anıt ağaçların korunması ve yönetimi, peyzaj planlaması ve tasarımı için bilimsel referans oluşturacak bir çalışma niteliğindedir. Çalışmanın sonuçları, anıt ağaçların 3B dijital dokümantasyonu ve analizi çalışmalarında fotogrametri tekniğinin doğruluk ve ürün çeşitliliği açısından büyük avantajlar sağladığını, bununla birlikte fotogrametrik yaklaşımın farklı disiplinlere de çözümler sunabileceğini ortaya koymuştur.

Çalışmada açıklanan yaklaşım ve çalışmanın sonuçları dikkate alınarak geleceğe yönelik bazı öneriler getirilmiştir:

- Mızık Çamı Tabiat Anıtının dijital ortama aktarılması kayıt altına alınması, anıt ağacın gelecek nesillere aktarılmasına ve çok daha geniş bir kitlelere tanıtılmasına imkân sağlayacaktır.
- Anıt ağaç üzerinde zamanla meydana gelebilecek deformasyonların tespitinde ve koruma uzmanlarınca gerçekleştirilecek restorasyon çalışmalarında fotogrametri tekniğine dayalı 3B dijital modelin referans veri olarak kullanılabilirliği.
- Fotogrametik dijital modellerin, 3B sanal ortamlara entegrasyonu sağlanarak kültürel miras eserleri daha erişilebilir ve kapsayıcı hale getirilebilecektir.

Gelecek çalışmalarda kültürel mirasın artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, web tabanlı görselleştirme ve 3B baskı teknolojilerine entegrasyonun sağlandığı uygulamalar gerçekleştirilecektir.

Kaynaklar

- Asan, Ü. (1987). Türkiye ormanlarında saptanabilen anıt nitelikli ağaçların dünyadaki benzerleriyle karşılaştırılması. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 37(2).
- Asan, Ü. (1991). Doğal ve Kültürel Miraslarımızdan Anıt Ağaç ve Ormanlarımız. *Yeşil Çerçeve*, 6, 22-24.

- Briffa, K. R. (2000). Annual climate variability in the Holocene: interpreting the message of ancient trees. *Quaternary Science Reviews*, 19(1-5), 87-105.
- Çelik, M. Ö., Yakar, İ., Hamal, S., Oğuz, G. M., Kanun, E. (2020). SfM Tekniği ile Oluşturulan 3B Modellerin Kültürel Mirasın Belgelemesi Çalışmalarında Kullanılması: Gözne Kalesi Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 22-27.
- Díaz-Varela, R. A., De la Rosa, R., León, L., Zarco-Tejada, P. J. (2015). High-resolution airborne UAV imagery to assess olive tree crown parameters using 3D photo reconstruction: application in breeding trials. *Remote Sensing*, 7(4), 4213-4232.
- Fonstad, M. A., Dietrich, J. T., Courville, B. C., Jensen, J. L., Carbonneau, P. E. (2013). Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(4), 421-430.
- Huang, H., Tang, L., Chen, C. (2015). A 3D individual tree modeling technique based on terrestrial LiDAR point cloud data. In 2015 2nd IEEE international conference on spatial data mining and geographical knowledge services (ICSDM) (pp. 152-156).
- Iglhaut, J., Cabo, C., Puliti, S., Piermattei, L., O'Connor, J., Rosette, J. (2019). Structure from motion photogrammetry in forestry: A review. *Current Forestry Reports*, 5(3), 155-168.
- Liang, X., Jaakkola, A., Wang, Y., Hyypä, J., Honkavaara, E., Liu, J., Kaartinen, H. (2014). The use of a hand-held camera for individual tree 3D mapping in forest sample plots. *Remote Sensing*, 6(7), 6587-6603.
- Maravelakis, E., Bilalis, N., Mantzourou, I., Konstantaras, A., Antoniadis, A. (2012). 3D modelling of the oldest olive tree of the world. *IJCER*, 2(2), 340-347.
- Mohan, M., Silva, C. A., Klauberg, C., Jat, P., Catts, G., Cardil, A., ... & Dia, M. (2017). Individual tree detection from unmanned aerial vehicle (UAV) derived canopy height model in an open canopy mixed conifer forest. *Forests*, 8(9), 340.
- Rahlf, J., Breidenbach, J., Solberg, S., Næsset, E., Astrup, R. (2017). Digital aerial photogrammetry can efficiently support large-area forest inventories in Norway. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 90(5), 710-718.
- Remondino, F., Rizzi, A., Girardi, S., Petti, F. M., Avanzini, M. (2010). 3D Ichnology—recovering digital 3D models of dinosaur footprints. *The Photogrammetric Record*, 25(131), 266-282.
- Shum, H. Y., Ke, Q., Zhang, Z. (1999). Efficient bundle adjustment with virtual key frames: A hierarchical approach to multi-frame structure from motion. In Proceedings. 1999 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition (Cat. No PR00149) (Vol. 2, pp. 538-543). IEEE.
- Torres-Sánchez, J., de Castro, A. I., Pena, J. M., Jimenez-Brenes, F. M., Arquero, O., Lovera, M., Lopez-Granados, F. (2018). Mapping the 3D structure of almond trees using UAV acquired photogrammetric point clouds and object-based image analysis. *Biosystems Engineering*, 176, 172-184.
- Uslu, A., Polat, N., Toprak A.S., Uysal, M. (2016). Kültürel Mirasın Fotogrametrik Yöntemle 3B Modellenmesi Örneği. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(2), 165-176.
- Uslu, A. (2021). Kültürel Mirasın Kullanıcı Merkezli Etkileşimli Deneyimi için Bütünsel Bir Uygulama: 3B Baskı, Artırılmış Gerçeklik ve Web Tabanlı Görselleştirme Kombinasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ejosat Special Issue 2021 (ICAENS), 1291-1295.
- Uslu, A. ve Uysal, M. (2021). Kitle kaynaklı fotoğraflar kullanılarak kültürel mirasın üç boyutlu modellenmesi ve web tabanlı görselleştirilmesi: Afrodisias- Tetrasyon örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(3), 632-639.
- Uzun, Ö. ve Gül, A. (2017). Fotoğraf yardımı ile 3 boyutlu ağaç modellenmesinde uygun programın araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 621-631.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.
- Wu, C., He, L., Du, X., Chen, S. (2014). 3D reconstruction of Chinese hickory tree for dynamics analysis. *Biosystems Engineering*, 119, 69-79.
- Zarco-Tejada, P. J., Diaz-Varela, R., Angileri, V., Loudjani, P. (2014). Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *European Journal of Agronomy*, 55, 89-99.
- Zhang, Y., Wu, H., Yang, W. (2019). Forests growth monitoring based on tree canopy 3D reconstruction using UAV aerial photogrammetry. *Forests*, 10(12), 1052.

Zhou, X., Wang, W., Di, L., Lu, L., Guo, L. (2020). Estimation of Tree Height by Combining Low Density Airborne LiDAR Data and Images Using the 3D Tree Model: A Case Study in a Subtropical Forest in China. *Forests*, 11(12), 1252.

URL-1. <http://www.domanic.gov.tr/mizik-cami>, (15.09.2021).

URL-2. <https://spectrageospatial.com>, (25.12.2021).

URL-3. <http://www.theia-sfm.org/sfm.html>, (25.12.2021).