

Araştırma Makalesi - Research Article

Tarihi Eserlerin 3B Modellenmesi ve Artırılmış Gerçeklik ile Görselleştirilmesi

3D Modeling of Historical Artifacts and Visualization by Augmented Reality

Abdurahman Yasin Yiğit^{1*}, Murat Uysal²

Geliş / Received: 17/10/2021

Revize / Revised: 10/12/2021

Kabul / Accepted: 10/12/2021

ÖZ

Fotogrametri yöntemi; üç boyutlu modelleme, dijital belgeleme, görselleştirme, sanal müzeler oluşturma ve simülasyon alanında yeni fırsatlar sunmaktadır. Bu yöntem kullanılarak oluşturulan fotogerçekçi üç boyutlu model ile artırılmış gerçeklik ve görselleştirmenin kombinasyonu, tarihi eser ve kültürel mirasın sanal platformlarda etkileşimli sunumu için büyük bir potansiyele sahiptir. Mobil cihazların kullanımının oldukça artması ile birlikte ortaya çıkan mobil artırılmış gerçeklik uygulamaları, kullanıcılara hızlı ve kolay görsel sunum imkânları sunmuştur. Bu çalışmada fotogrametri yöntemi ile üretilen üç boyutlu model kullanılarak tarihi öneme sahip eserlerin mobil artırılmış gerçeklik uygulamalarında (aplikasyonlarında) etkileşimi araştırılmış ve örnek bir çalışma sunulmuştur. Öncelikle üç boyutlu model üretimi aktarılmış ardından iki farklı araç (Unity ve Augment) ile mobil artırılmış gerçeklik çalışması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca eserin kendisine ait mobil aplikasyon geliştirilerek kültürel miras anlamında sanal, interaktif ve sürükleyici yeni deneyim ve fırsatların sunulması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler- Kültürel Miras, Fotogrametri, Mobil Artırılmış Gerçeklik, Unity, Augment

ABSTRACT

Photogrammetry technique; offers new opportunities in three-dimensional modelling, digital documentation, visualization, creating virtual museums, and simulation. The combination of augmented reality and visualization with a photorealistic three-dimensional model created using this technique has great potential for the interactive presentation of historical artifacts and cultural heritage on virtual platforms. Mobile augmented reality applications, which emerged with the increase in the use of mobile devices, offered users quick and easy visual presentation opportunities. In this study, the interaction of historically important works in mobile augmented reality applications was investigated by using the three-dimensional model produced by the photogrammetry technique, and a sample study was presented. First of all, three-dimensional model production was represented, and then mobile augmented reality work was carried out with two different tools (Unity and Augment). In addition, it was aimed to create virtual, interactive, and immersive new experiences and opportunities in terms of cultural heritage by developing the mobile application of the work itself.

Keywords- Cultural Heritage, Photogrammetry, Mobile Augmented Reality, Unity, Augment

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: abdurahmanyasinyigit@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-9407-8022>)

Harita Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye

²İletişim: muysal@aku.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-5202-4387>)

Harita Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye

I. GİRİŞ

Kültürel miraslar ve tarihi eserler, doğal afetler ve insan faktörüne karşı savunmasızdırlar. Bu mirasların gelecek nesillere aktarılabilmesi için öncelikle korunması gerekmektedir. Korumanın ilk aşaması mirasın belgelenmesi ve kayıt altına alınmasıdır [1,2]. Kültürel ve doğal miraslara konu olan tarihi eserler paha biçilmezdir gerçeği genellikle bu miraslar tehdit edildiğinde hatta yok edildiğinde fark edilir. Bu nedenle, herhangi bir nesnenin üç boyutlu (3B)modelinin üretilmesi ve kültürel mirasın korunması dijital dokümantasyon alanında özellikle önemlidir. Üç boyutlu modelleri kullanarak tarihi eserleri yenilemek veya kültürel miras nesnelere yeniden inşa etmek mümkündür. Bu eserlerin uzun süreli dijital olarak korunması ve belgelendirilmesinin yanı sıra, eserleri 3B modeller kullanarak etkileşimli olarak sunmak ve görselleştirmekte mümkündür [3].

Kültürel mirasın belgelenmesi konusunda disiplinler arası çeşitli araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda tercih edilecek yöntemin seçiminin önemi kadar doğru ve güvenilir veri toplama araçları da önem arz etmektedir. Bu nedenle, kültürel mirasa ait her bir unsur önce tanımlanmalı, daha sonra depolanmalı ve gerekirse eser diğer temel bilgilerle ilişkilendirilmelidir. Belgeleme çalışmalarında doğru, hassas ve güvenilir veriye ulaşmak için yapılan araştırmalar, belgeleme çalışmalarında modern yöntemlerin ortaya çıkmasına katkı sağlamış ve gelişen teknolojiler ile geleneksel yöntemler yerini modern dijital belgeleme yöntemlerine bırakmıştır. Bu durum belgeleme tekniklerinin ilerlemesine olanak sağlamış ve günümüz teknoloji çağında, tarihi öneme sahip eserlerin daha hızlı ve hassas bir şekilde belgelenmesi ve gelecek nesillere aktarılması mümkün hale gelmiştir. Gelişen bu yöntemlerden biri de fotogrametri yöntemidir. Fotogrametri yöntemi; farklı açı ve konumlardan çekilmiş, sıralı ve üst üste binen iki boyutlu görüntülerden hızlı ve etkin bir şekilde 3B veri toplama sağlayan görüntü tabanlı bir yöntemdir [4]. Teknik açıdan fotogrametri ise; fotoğraflık görüntü verilerinin ve yayılan elektromanyetik enerjinin şekillerinin kayıt ölçme ve yorumlama işlemleri sonucu fiziksel cisimler ve çevre hakkında güvenilir bilgileri ortaya koyan bir bilim dalıdır [5-7]. Fotogrametri, yerbilimcilerin çevrenin geometrisini daha iyi anlamak ve zaman içinde meydana gelen topoğrafik değişiklikleri tespit etmek için kullandıkları güçlü ve kullanışlı bir araç olarak da karşımıza çıkmaktadır [8,9]. Fotogrametri ayrıca, foto gerçeğe entegreli miras belgelemelerinde geometrik doğruluk ve hassasiyet açısından yüksek oranda veri kalitesi sunabilen, düşük maliyetli ve kullanımı kolaylığı gibi avantajları olan yaklaşımlardan biridir [4-10]. Fotogrametri yöntemi, eserin özelliklerini nesneye temas etmeden 3B olarak yeniden belirlemeye yarayan bir yöntem [11] olmasının yanı sıra; hızlı, verimli, ekonomik ve güvenilir bir biçimde veri sağladığı için yıllardır arkeolojik ölçmeler, kültürel mirasın dokümantasyonu ve 3B modellenmesi uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılmaktadır [12-15]. Son dönemlerde artırılmış gerçeklik (AG) ve fotogrametrinin birlikte kullanılması ile ortaya çıkan sinerji beraberinde, kültürel mirasa ait öznitelik ve gerçek doku ile kaplı 3B model bilgilerini sunmak için giderek yaygınlaşmasına katkı sağlamıştır [16]. Artırılmış gerçeklik ile sunum ve görselleştirme uygulamaları yalnızca basit imkânlar sağlamakla kalmaz aynı zamanda gerçek dünyadaki nesnelere aktarıldığı sanal modellerin, sürükleyici ve etkileşimli bir deneyimini aktarmaktadır.

Kültürel mirasa konu olan eserlerin gerçek ölçü değerlerinde kullanıcılara ve araştırmacılara aktarılması bu eserlerin hem korunması hem de gelecek nesillere aktarılması açısından önem arz etmektedir. 3B model uygulamaları ile tarihi eserleri arşivleme çalışmaları daha kolay hale gelmiştir ve bunun yanı sıra eserlerin sunumu, anlaşılabilirliği ve yorumlanmasında önemli derecede kolaylıklar sağlanmıştır. Bunlara ek olarak 3B modeller ile sanal müzeler oluşturulabilir ve kullanıcılara uzaktan erişim imkânı ile sunulmasıyla tanıtım çalışmaları teknolojik uygulamalar ile desteklenebilmektedir. Kültürel mirasın sayısal ortamlara aktarılarak belgelenmesi ve sanal müzelerin oluşturulmasında fotogrametri ve AG [17-19] görselleştirilmesinin entegreli uygulanması üzerine çalışmalar son dönemlerde artmıştır. Yapılan çalışmaların bazıları; dijital platformda yeniden modeli oluşturulan, erişilmesi zor tarihi alanlar ve tarihi öneme sahip eski eserler ile ilgilenerek sanal erişim imkânı ve kültürel değerlerin daha iyi anlaşılmasını amaçlamaktadır [20,21]. Diğer çalışmalar ise, kültürel miras dokümantasyonu için fotogrametri yöntemi ile elde edilen mimari objelerin ve tarihi eserlerin üç boyutlu modellerini kullanarak sanal müzeler aracılığıyla sunum amaçlanmıştır [16].

Bu çalışmada, kültürel mirasın sunumu için fotogrametri yöntemi kullanılarak Structure from motion/Hareket tabanlı yapısal algılama (SFM) yöntemiyle üretilen 3B modellerin yenilikçi mobil görselleştirme teknolojileri arasında bir kombinasyon oluşturulmuştur. Daha önceleri bu amaç doğrultusunda Hölleler (2004), kentsel çevreyi keşfetmeyi amaçlayan bir tur makinesi olan ilk mobil AG uygulamasını geliştirmiştir [46]. Haritos ve Macchiarella (2005) eğitim ve bakım amaçlı mobil AG bir sistem geliştirmiştir [22]. Papagiannakis ve ark. (2008), antik Pompeii, İtalya'da, bazı antik Roma karakterlerini resme dayalı hikayeleri yeniden canlandırmada görselleştirmek için bir AG sistemi geliştirmişlerdir [23]. Damala ve ark. (2008), Fransa'nın Rennes şehrindeki Güzel Sanatlar Müzesi'nde elde ettikleri 3B model ile AG teknolojisine dayalı bir müze rehberi geliştirmişlerdir

[24]. Tom Dieck ve ark. (2016) ve Tussyadiah (2014) ziyaretçilere zahmetsiz bir yaklaşımla erişme fırsatı sunan kültürel miras alanları için 3B modellerin akıllı gözlükler ile AG uygulamalarında kullanımını önermişlerdir [25].

Bu çalışmada ise diğer çalışmalardan farklı olarak 3B modeller fotogrametri tekniği ile oluşturulmuş ve gerçekçi dokular kaplanarak tam bir belgeleme çalışması yapılmıştır. Yapılan fotogerçekçi 3B model, artırılmış gerçeklik uygulamaları ile sunulması amacıyla aplikasyon geliştirilmiş ve ayrıca bulut tabanlı artırılmış gerçeklik uygulaması ile desteklenerek diğer çalışmalardan farklılık öne çıkarılmıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda; kültürel mirasın farklı platformlarda etkin kullanımı ve yaygınlaştırılması için interaktif, etkileyici ve sürükleyici deneyimlerle dijital platformların oluşturulması sağlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Mersin St. Paul Anıt Müzesi'nde sergilenen bir sütun kaidesi, fotogrametri yöntemi ile elde edilen foto gerçekçi 3B modelinin ayrıntılı analiz ve keşfi için mobil AG tabanlı görselleştirme ve dijital erişim teknolojileri ile birleşimi sağlanmıştır.

II. MATERYAL VE METOD

A. Çalışma Objesi ve Materyalleri

Çalışmada Mersin St. Paul Anıt Müzesi'nde sergilenen Attika-ion tipi sütun kaidesi seçilmiştir (Şekil 1). Sütun, İki torus (dış bükey profil) üzerine bir trokhilos (iç bükey) ile biçimlendirilmiştir. Ana öğelerinde değişiklikler olabilmekle birlikte süreç içerisinde bölgelere ve kullanım yerlerine göre değişiklikler olmuştur. Bu sütun kaidesinin üzerinde profilli bir alt kısımdan sonra muhtemelen tek parçadan oluşan monolit bir sütun yükselmektedir. Sütun üzerinde yiv ve kanalliler bulunmaktadır. Özellikle sütunun ait olduğu yapının büyük bir deformasyona uğradığı düşünülmektedir.



Şekil 1. Farklı açılardan çekilmiş Attika-ion tipi sütun kaidesi

Çalışmada, materyal olarak arkeolojik eserin fotoğraflarının çekiminde Tablo 1'de özellikleri gösterilen mobil telefon kamerası; fotogrametrik işlemler ve foto gerçekçi 3B model oluşturmak için Context Capture yazılımı; artırılmış gerçeklik tabanlı görselleştirme ve mobil AG uygulaması için Unity Artırılmış gerçeklik geliştirme yazılımı ve Vuforia Engine aracı ayrıca Augment web tabanlı artırılmış gerçeklik geliştirme platformu kullanılmıştır.

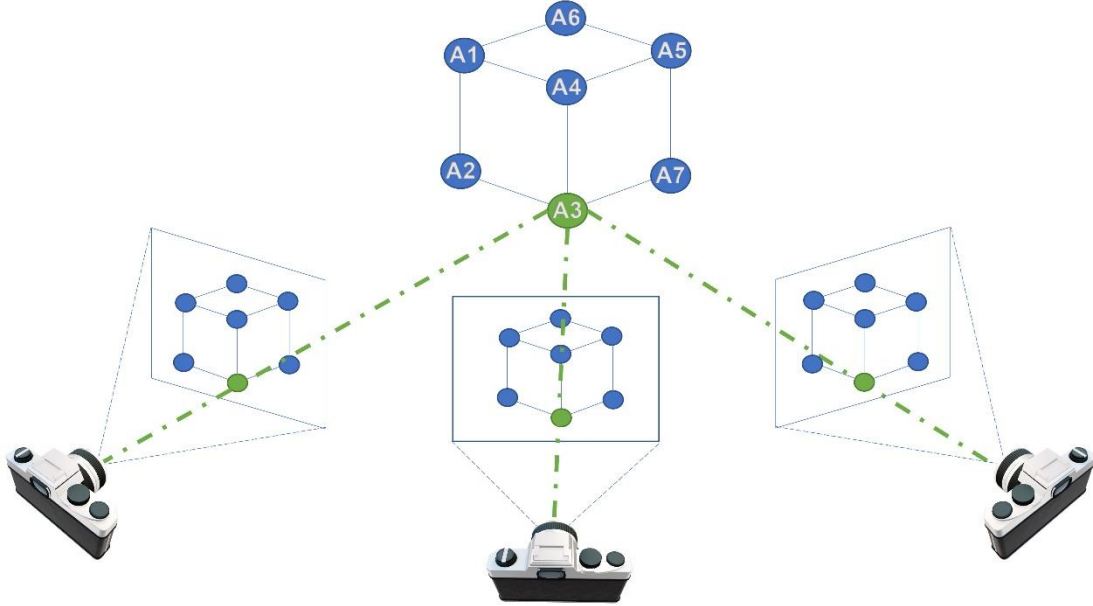
Tablo 1. Kullanılan kameranın teknik özellikleri

Öznitelik	Değer
Kamera Modeli	Xiaomi Mi6
Kamera Çözünürlüğü	12 MP - 1.25µm
Renk Sayısı	16 Milyon
Diyafram Açıklığı	F1.8
Odak Uzaklığı	27 mm
Coğrafi konum etiketleme	Var

B. Fotogrametri ve Hareket tabanlı yapısal algılama (Structure from Motion/SfM)

Fotogrametri, objenin farklı açılardan çekilmiş fotoğraflardan yararlanarak yerini, konumunu ve şeklini hassas bir şekilde belirleyen bir bilim dalıdır [26]. Teknolojinin ilerlemesi ile fotogrametri ve bilgisayarlı görüntüleme teknolojisinin entegrasyonu, 3B modelleme çalışmalarında daha fazla esneklik ile 3B model üretim otomasyonunda ilerlemelere yol açmıştır [27]. Günümüzde, geleneksel kameralarla çekilmiş fotoğraflardan yüzeylerin 3B modellemesini yapmamızı sağlayan çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Bu yazılımların çoğu, Structure from Motion (SfM) [28-30] gibi özel algoritmalara dayanmaktadır. SfM; sahnenin geometrisini, kamera konumlarını ve oryantasyonu, bilinen 3B konumlara sahip bir hedef ağının önceden tanımlanmasını gerektirmeden otomatik olarak çözen bir fotogrametrik algoritmadır[30-32]. Bilgisayarla görselleştirme yöntemi kaynaklı bir

ölçüm yöntemi olan SfM; dijital kameralar, video kamera veya kameralı akıllı telefonlar kullanıldığından son zamanlarda popülerlik kazanan ve çok pahalı olmayan bir yöntemdir[30,33-36]. Bu sebepten dolayı bilimsel araştırmalarda kullanımı çok yaygın hale gelmiştir. SfM algoritması; düşük maliyeti, son derece hızlı sonuç vermesi ve kolay 3B ölçüm kabiliyeti sebebiyle yerbilimleri araştırmaları üzerinde dönüştürücü bir etkisi olmuştur. SfM algoritmasında 3B yapıları oluşturabilmek için birbiri üzerine binen bir dizi resim çerçeveleri kullanılmaktadır. Bir dizi örtüşen fotoğraf boyunca ortak noktaları bularak ve eşleştirerek çalışır (Şekil 2). SfM algoritmasının temel çalışma prensibi Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. SfM resim çekim tekniği

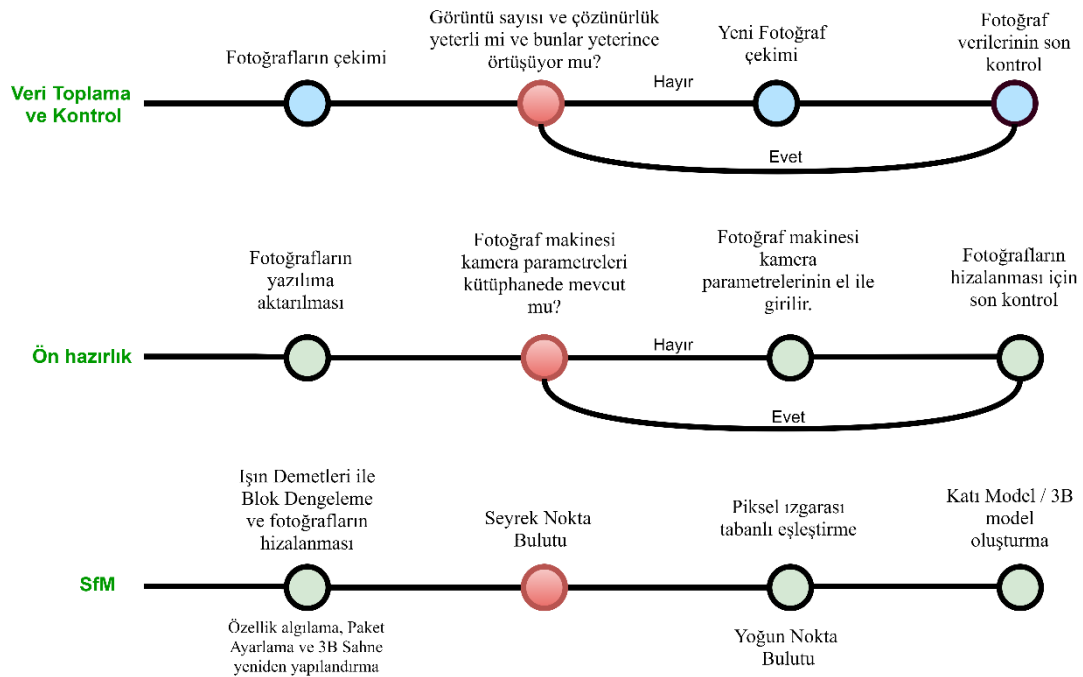
Bu yöntem stereoskopik fotogrametri yöntemi ile aynı ilkelere dayanmaktadır. Stereoskopik fotogrametri ile SfM algoritması arasındaki temel fark, üç boyutlu uzayda bir noktanın kesin konumunun elde edilmesi için gerekli hesaplamaların tam otomatik yapılması ve kameraların hassas konumlandırılmasına gerek olmamasıdır. Ayrıca, kameranın yönündeki değişiklik uzaydaki noktaların yeniden yapılandırılmasını etkilemediği için video kayıtlarını da SfM’de kullanmak mümkündür.

Fonstad vd. (2013), SfM'nin yalnızca maliyet tasarrufu ve yapım kolaylığı açısından yararlı olabileceğini belirtmiştir [28]. Carrivick vd. (2013), ise SfM iş akışının önemli ölçüde daha fazla otomasyona sahip olduğunu ve bu nedenle kullanıcılar tarafından fotogrametriden çok daha kolay ve basit olarak algılandığını öne sürmüşlerdir [37]. Gienko ve Terry (2013), SfM algoritması ile elde edilen foto gerçekçi 3B modellerin; doğru, hassas ve güvenilir bir simülasyonu olabileceğini aktarmışlardı. Ayrıca fotogrametri yönteminin ve SfM algoritmasının verimli ve hassas ölçüm için avantajlarından bahsetmişlerdir [38]. SfM algoritmasını kullanan fotogrametrik yazılımlarda, fotoğraf ile hesaplanan nokta konumları arasında oluşan projeksiyon hatalarını optimum seviyeye getirmek için ışın demetleri ile blok dengeleme algoritması kullanılmaktadır. Bu algoritma ve yöntemleri kullanan yazılımlar, ilk olarak fotoğrafları sıralayarak ön bir dengeleme yapar ve seyrek nokta bulutu (Sparse point cloud) oluşturur. Bunun için görüntüler arasında birbiri ile eşleşen noktaların otomatik olarak konumlandırılmasına yönelik algoritmalar ile çalışılmaktadır. SfM’deki bir diğer aşama ise yoğun nokta bulutu (dense point cloud) oluşturma işlemidir. Bu aşamada kullanılan algoritma ise yoğun çoklu görüntülü stereo (Dense Multi View Stereo-DMVS) algoritmasıdır. Yoğun nokta bulutunun üretildiği bu süreçte, birbiriyle eşleşmesi gereken pikseller ve onların sanal olarak 3B konumlarının tahmini ile katı model ve nokta bulutu oluşturulur. Son aşamada, sanal bir uzayda oluşan modele gerçek ve doğal bir yüzey kaplamak için görüntüler kullanılarak foto gerçekçi bir 3B model elde edilir.

III. UYGULAMA

A. SfM yöntemi ile 3B Model üretimi

Fotogrametrik değerlendirme yazılımları 3B modelleme çalışmaları için önemi büyüktür. Ticari olarak kullanılan pek çok yazılım günümüzde kullanılmaktadır. Fakat yapılacak olan çalışmanın içeriğine göre fotogrametrik yazılım seçimi büyük önem arz etmektedir. Her bir yazılımın ön plana çıkan yetenekleri bulunmaktadır. Burada en önemli hususlar; sonuç ürünün kalitesi ve işlemlerin kaç aşamada ve ne kadar sürede yapılacağıdır. Context Capture yazılımı; fotogrametrik veri üretiminde SfM algoritması kullanan yazılımlar arasında fotoğercçekçi model üretiminde daha etkin sonuçlar[39] verdiği için tercih edilmiştir. SfM ile 3B model üretimindeki temel iş akışı Şekil 3' te gösterilmiştir.



Şekil 3. Veri toplama ve SfM iş akışı

Context Capture yazılımında ilk olarak, projede kullanılacak tüm fotoğraflar içe aktarılır. Fotoğrafları toplamak için kullanılan kameranın sensör boyutu ve odak uzunluğu otomatik olarak kütüphaneden tanımlanır. Eğer kütüphanede kullanılan öznelikler bulunmuyor ise manuel olarak tanımlanması gereklidir. Daha sonra fotoğrafların çekim sırası dikkate alınarak hizalama işlemi yapılır. Burada temel amaç fotoğrafları sıralamak ve ön bir model oluşturmaktır. Yönlendirme/dengeleme işleminden sonra yoğun nokta bulutu ve 3B model gibi dijital ürünlerin üretimi için yeni iş akışı tanımlanır. Yeniden yapılandırma aşamasında, bilgisayar bellek alanını korumak için alanların ayrı ayrı işlenmesi sağlanarak bilgisayar performansı artırılabilir. Sonuç olarak mobil artırılmış gerçeklik tabanlı görselleştirme için “.obj ve .FBX” uzantılı gibi üç boyutlu fotoğercçekçi dokulu modeli oluşturulmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Attika-ion tipi sütun kaidesinin 3B modeli

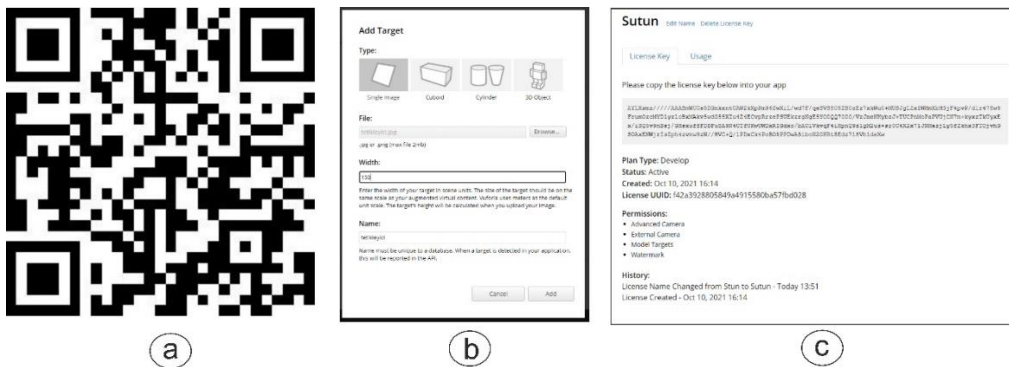
B. Artırılmış Gerçeklik

Artırılmış gerçeklik (AG) teknolojisi; çevrede algılanan fiziksel unsurlara ait görsel, işitsel ve dokunsal bilgileri bilgisayar ortamında oluşturulan 3B model ile gerçekliği zenginleştirerek farklı bir gerçeklik algısı sağlayan etkileşimli bir deneyim türüdür [21]. Bu şekilde, herhangi bir nesne yeniden oluşturulabilir ve AG uygulamaları için sanal içerik olarak kullanılabilir [3]. Klasik bir müze öğesinin 'sanal' bir temsili kullanmanın birçok avantajı vardır: dinamik unsurları içerebilir ve eserin aksi takdirde gizlenebilecek yönlerine erişime izin verir [40]. Bununla birlikte, dijital miras teknolojileri aracılığıyla eksiksiz ve karmaşık bir kültürel temsil oluşturmak için geliştiriciler, kullanıcıların sistem veya ara yüzle nasıl etkileşime girdiğini de anlamalıdır [41]. AG uygulamaları tasarlarlarken, kullanıcılara uygun elektronik bilgileri sunmak için en iyi teknik kombinasyonunu seçmek önemlidir. İçeriğin kabul edilebilmesi için ilgi ve ihtiyaçlarını karşılaması gerekir. Bu nedenle, AG uygulamalarının kullanılabilirlik değerlendirmesi birincil öneme sahiptir. AG nispeten yeni bir teknoloji olduğu için ve son yıllarda mobil teknolojilerde yaşanan gelişmelerle birlikte mobil cihazlarda AG uygulamalarının oluşturulması 'mobil artırılmış gerçeklik' kavramını ortaya çıkarmıştır [21,42]. Mobil cihazlarda AG teknolojisi uygulamaları mühendislik, sağlık, eğitim, pazarlama, endüstri ve oyun sektörü gibi çeşitli alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır [42].

Artırılmış gerçeklik yazılımları yapabilmek için birçok geliştirme aracı bulunmaktadır. Bunların bazıları ücretsiz ve açık kaynak kodlu olarak bulunmaktadır bazıları ise ücretlidir. Kullanım kolaylığı, ücretsiz olması ve zengin kaynak desteği açısından gerçekleştirilen çalışmada Unity oyun motoru yazılımı [43] ve Vuforia aracı kullanılmış ve artırılmış gerçekliğin gerçekleştirilmesinin yanında söz konusu esere ait uygulama/aplikasyon geliştirilmiştir. Ayrıca çalışmada artırılmış gerçeklik çalışması için web tabanlı çalışan ve kolay kullanım imkânı veren Augment platformu ile de çalışılmıştır.

Unity ve Vuforia Aracı: AG uygulamasını (aplikasyonunu) geliştirmek için tercih edilen ilk araç Unity3B oyun motorudur. Bu oyun motoru aracılığıyla geliştirilen bir aplikasyonun farklı mobil işletim sistemlerine yönelik yenilikçi sürümleri üretebilme açısından önemli bir desteği bulunmaktadır [44]. Unity yazılımı ilk olarak oyun yapmak amacıyla ortaya çıkmıştır. Bu oyun motorunun en büyük avantajları; programlama dillerini, çeşitli kütüphaneleri içinde bulundurması ve diğer birçok yazılımların ürettiği eklentiler ve modeller ile kolaylıkla çalışma alanı sağlayan bir yapıya sahip olmasıdır. Ek olarak Unity'i kullanan kişilere sağlanan başka bir büyük kolaylık da geliştirilen bir aplikasyonun ya da oyunun herhangi bir altyapı değişikliğine ihtiyaç olmadan farklı ara yüzler ve araçlarla (PC, Mac, Web, iOS, Android, Windows Phone) uygun olarak derlenip çalışabilmesidir. Unity 3B oyun motorunun diğer muadili oyun motorlarından üstün kılan taraflarından biri de geliştiriciye program kodu yazma olanağı vermesidir. Diğer oyun motorlarının ekserisi grafik ile kodu ayırmışken, Unity ile grafik ve kod birlikte entegreli bir şekilde çalışmaktadır. Bu çalışma mantığı uygulama ve oyun geliştiricisine esneklik sağlamanın yanında süreci önemli ölçüde kısaltmaktadır.

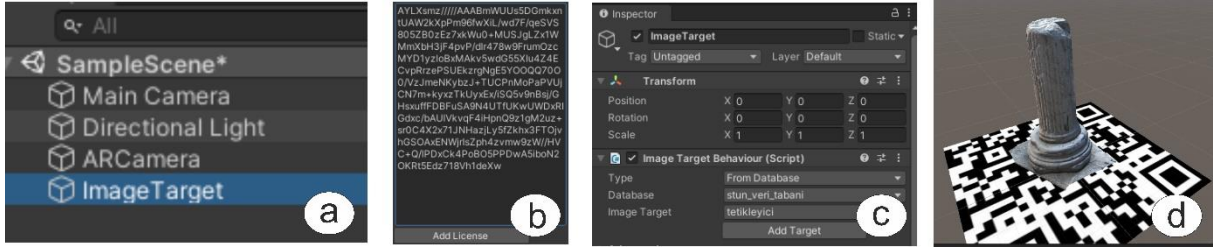
Unity 3B oyun motoru, 3B modelleri de desteklemektedir ve başka programlarda oluşturulan 3B modeller Unity 3B içine aktarılabilir. Proje kapsamında Fotogrametri yöntemi ile Context Capture yazılımında oluşturulan 3B modeller Unity ara yüzüne aktarılarak bu araç ile artırılmış gerçeklik uygulaması/aplikasyonu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Vuforia veri tabanına artırılmış gerçeklik için tetikleyici oluşturma. Tetikleyici için hazırlanan karekod (a). Tetikleyici için öz nitelik tablosu oluşturma (b). Tetikleyicinin çalıştırılması için oluşturulan lisans kod (c).

Mobil cihaz için aplikasyon uygulaması Unity programı ile geliştirilmiştir. Vuforia ise kamerası çevirdiğimizde etrafta bizim önceden belirlediğimiz yapay işaretçiyi arayarak Unity üzerinde tariflenen modelleri video akışı üzerine yerleştirir. Özetleyecek olursak Unity uygulama geliştirme amaçlı Vuforia ise artırılmış gerçeklik kütüphanesi olarak çalışmaktadır. Vuforia: resim veya herhangi bir nesne (Şekil 5a) ile 3B modelin bir sahnede gösterimi için tetikleyici (Şekil 5b) olarak veri tabanı oluşturabileceğimiz bir platformdur. Bu araç sayesinde çevrimiçi veri tabanı oluşturabilmektedir. Bu veri tabanları sayesinde tetikleyici olarak kullanılacak objeye lisans kodları (Şekil 5c) alınmakta ve Unity’de kullanılmaktadır. Öncelikle bir fotoğraf veya nesnenin üzerinde bir 3B simülasyonu gösterebilmek için bu veri tabanı içerisine bir tetikleyici yüklememiz gerekmektedir. Bu tetikleyici herhangi bir resim veya oluşturulmuş karekod (Şekil 5a) olabilir. Bu sayede bu tetikleyici algılandığı an 3B modeli ekranda sunulmaktadır.

Tetikleyici oluşturmaya imkân veren, kullanıcıya sunan ve görüntülenmesine yarayan yardımcı farklı platformlar mevcuttur. Vuforia tercih edilmesinin sebebi hem Unity ile birebir entegre çalışması hem de ücretsiz olarak hizmet vermesidir. Vuforia veri tabanından tetikleyici hazırlandıktan sonra Unity 3B oyun ve artırılmış gerçeklik geliştirme ara yüzüne bir artırılmış gerçeklik kamerası (ARCamera), tetikleyici (ImageTarget) ve sahne eklenir (Şekil 6a). Ardından tetikleyici aktifleştirmek için oluşturulan lisans kodu girilir (Şekil 6b), tetikleyici ölçeklendirilir (Şekil 6c) ve son olarak 3B katı model eklenir (Şekil 6d).



Şekil 6. Unity 3B oyun ve artırılmış gerçeklik geliştirme ara yüzüne; sahnelerin (a) ve tetikleyici lisans kodu (b) eklenmesi, tetikleyici ölçek ayarı (c) ile katı modelin eklenmesi (d).

Unity 3B oyun ve artırılmış gerçeklik geliştirme ara yüzüne eklenen tetikleyici ve 3B katı model ile artırılmış gerçeklik simülasyonu sanal sahnede oluşturulur ve mobil uygulama geliştirilir. Geliştirilen mobil uygulama [47] indirilebilir ve tetikleyici ile (Şekil 5a, Şekil 7) açılan uygulamada kamera ekranına yansıtılarak artırılmış gerçeklik ile söz konusu tarihi eser sunulabilmektedir.



Şekil 7. Unity 3B oyun ve artırılmış gerçeklik geliştirme ara yüzü ile oluşturulmuş mobil uygulama (aplikasyon), uygulamada karekod aktifleştirence 3B modelin artırılmış gerçeklik ile sunulması ve görselleştirilmesi (b) ve Vuforia çevrimiçi platformunda oluşturulan tetikleyici.

1) *Augment*: Çalışmada ayrıca, bulut tabanlı olarak hizmet veren ve mobil artırılmış gerçeklik uygulaması olan Augment yazılımında da artırılmış gerçeklik gerçekleştirilmiştir.

Augment, gerçek boyutlarında ve ortamlarında gerçek zamanlı olarak entegre edilmiş 3B modelleri Artırılmış Gerçeklikte görselleştirmek için çevrimiçi tabanlı bir mobil uygulamadır. Augment, kullanıcıların ürettiği 3B modelleri gerçek ortamda ve gerçek zamanlı olarak tabletler veya akıllı telefonlar aracılığıyla 3B olarak görselleştirme imkânı sağlayan artırılmış gerçeklik platformudur. Yazılım Perakende, E-Ticaret, mimari ve diğer amaçlarla kullanılmaktadır [45-48]. Fotogrametrik yöntem ve SfM algoritması ile oluşturulan 3B modelin “.obj” uzantılı model dosyası, yüksek kalitede yüzey kaplaması ve öznetelik içeren materyal dosyası Augment uygulamasına aktarılarak (Şekil 8) hem web tabanlı görsel sunum hem de Augment mobil uygulaması ile mobil artırılmış gerçeklik geliştirilmiştir.



Şekil 8. Attika-ion tipi sütun kaidesi Augment uygulamasında görselleştirilmesi (a), tetikleyici karekodun taratılması ile sütun kaidesinin 3B modelinin mobil AG tabanlı görselleştirilmesi (b) ve artırılmış gerçeklik olarak görselleştirilmesi ve sunulması (c).

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Son on yılda teknolojinin gelişimi, insanlar ve bilgisayarlar arasında yeni etkileşim yollarının uygulanmasına imkân vermiştir. Dijital platformlarda bilginin ilerlemesi, kültürel mirasın bu platformda yayılmasının gelişimini de önemli ölçüde etkilemiştir. Özellikle turizm hizmetleri alanını geliştirmek için yeni olanaklar sunulmaktadır. Bu anlamda bir mobil uygulama, çevrimiçi katalog veya sosyal medya olsun, bu yeni paradigmalara hayatımızın tüm yönlerini etkilemektedir. Yeni etkileşim yolları sunan bu teknolojilerden biri de artırılmış gerçekliktir. Bu teknoloji, kültürel mirasın tanıtımı ve korunması için muazzam bir potansiyele sahiptir.

Araştırmalara göre insanlar, öğrenmeyi eğlenmekle birleştiren sosyal ve işbirlikçi deneyimler istiyorlar [49]. Kültürel miras alanı ile ilgili çalışan kuruluşların önceliğinde, yenilikçi uygulamaları bu alanda kullanmak amacıyla artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik çalışmalarına ağırlık verilmeye başlanmıştır [50]. Kültürel mirasın alanında, kurumlar ve şirketler bu teknolojiyi turistlere ve müze ziyaretçilerine daha gerçekçi deneyimler sunabilmek için kullanmaya başlamışlardır. Bu bağlamda artırılmış gerçeklik teknolojisinin koruma ve/veya belgelemenin sürdürülebilirliği için uygun bir ortam olduğunu düşünmekteyiz. Artırılmış gerçeklik, önümüzdeki yıllarda farklı disiplinlerin ortak kullanımı ile daha erişilebilir hale gelecek ve insanlar bu tarz uygulamaları kullanmaya daha açık hale gelecektir.

Artırılmış gerçeklik sunumlarında en önemli ve ilk adım olan 3B modelin oluşturulması önemli bir aşamadır. Bu anlamda uzun zamandır farklı disiplinlerce kullanılan fotogrametri yöntemi bu çalışmada tercih edilmiştir [51]. Fotogrametri; 3B modelleme yapımında, web tabanlı görselleştirme ve artırılmış gerçeklik teknolojileri alanlarında kültürel mirasla ilgili insanlara deneyimini geliştirme potansiyeli bakımında önemli avantajlar sağlamaktadır. Fotogrametri yönteminin tercih edilmesindeki en birincil faktör SfM algoritmasının bu teknoloji ile entegre olmasıdır. Bu algoritma ile kamera parametreleri, sıralı çekilen fotoğraf çiftleri kullanılarak otomatik hesaplanabilmektedir [52]. Son zamanlarda mobil telefonlar aracılığıyla çekilen fotoğrafların fotogrametri yönteminde kullanılması da SfM algoritmasının bu alanda kullanılmasına dayanmaktadır. SfM algoritması kullanan çeşitli fotogrametrik yazılımlar mevcuttur. Bu yazılımlar içinde çalışmaya uygun olanın seçilmesi önemlidir. Biz yazarlar olarak belgeleme ve artırılmış gerçeklik uygulaması yapacağımız için doku sayısı ve piksel kalitesi bakımında yüksek istatistiksel değerler [53] veren context capture yazılımı tercih ettik.

Bu çalışmada artırılmış gerçeklik uygulaması için iki farklı platform kullanılmıştır. Çalışmada; açık kaynak kodlu oyun motoru olan ve web tabanlı kütüphaneler ile entegreli çalışan artırılmış gerçeklik uygulaması (aplikasyonu) yapılabilen Unity oyun motoru ayrıca bulut tabanlı çalışan hem web tabanlı görselleştirme hem de

mobil artırılmış gerçeklik sunumu yapılan ve kendi mobil uygulamasında görselleştirme imkânı veren Augment yazılımı tercih edilmiştir.

Çalışmada kullanılan ve diğer oyun motorlarının çoğunda yerleşik arazi düzenleyicileri bulunmaktadır. Unity gibi oyun motorlarında, kullanıcı için yoğun kodlamaya ihtiyaç duyulmadan araziye veya 3B modeli oluşturmak daha kolaydır. Ancak oyun içi 3B model ve coğrafi bilgi sistemleri verilerini kullanmak, kodlamanın kendisinde birkaç çalışma gerektirse de oyun motorlarından bazıları farklı eklentiler sağlamaktadır. Green tarafından yapılan çalışmada, 3B model ve sayısal arazi modeli gibi verileri görüntülemek için gerekli kodlamalar ve eklentilerin nasıl kullanılabileceği araştırılmıştır [54]. Bu anlamda fotogrametri yöntemi ile elde edilen modellerin oyun motorlarında etkin olarak kullanılması ve bir tetikleyici vasıtası ile çalıştırılması gerekmektedir. Unity oyun motoru Vuforia web tabanlı kütüphane ve tetikleyici hizmeti veren platform ile çalışmaktadır. Çalışmada Unity oyun motoru aracılığıyla mobil uygulama geliştirilmiş ve kullanıcıların erişimine imkân verilmiştir. Bu tarz uygulama sayesinde üçüncü parti yazılımlara gerek duyulma zorunluluğu ve herhangi bir ücret ödeme gereksinimi ortadan kalkmıştır. Artırılmış gerçeklik çalışması ayrıca web tabanlı çalışan artırılmış gerçeklik ara yüzü Augment tercih edilmiştir. İki farklı platformda artırılmış gerçeklik uygulamasının gerçekleştirilmesi ile beraber araştırmacılara hazır paket programların kullanımı ile tamamen araştırmacıların geliştirebileceği mobil uygulama geliştirme arasındaki farklılıklar sunulmaya çalışılmıştır. Augment, diğer artırılmış gerçeklik yazılımlarına göre daha kolay bir ara yüze sahiptir. Ayrıca kullanıcıların ürünlerini gerçek zamanlı olarak akıllı mobil cihazlar aracılığıyla 3B olarak görselleştirmelerini sağlayan hem bulut tabanlı hem de kendi mobil uygulamasında sunan bir artırılmış gerçeklik platformudur.

İki farklı platform ile oluşturulan artırılmış gerçeklik uygulaması avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Augment gibi hem bulut tabanlı hem de mobil sunum imkânı veren platformlar, erişim ve kullanım kolaylığı açısından avantaja sahip olsa da uygulamanın kitle kaynaklı olarak gelişime açık olmaması ve ücretsiz model sayısının sınırlı olması büyük dezavantaj oluşturmaktadır. Unity gibi açık kaynak platformlarda artırılmış gerçeklik uygulaması geliştirilmesinde önemli bir tecrübe ve bilgiye gereksinim duyulması dezavantaj gibi görünse de sürekli güncellemeye ve geliştirmeye açık olması, farklı yazılımlar ile entegreli çalışması, hazır kütüphanelere erişim imkânı olması, kod geliştirme ara yüzü olması gibi avantajlarının yanında operatör tarafından uygulama geliştirilebilmesi ve ücretsiz olması en büyük avantaj olarak görülmektedir.

3B modellerin kullanıldığı artırılmış gerçeklik uygulamalarda farklı model uzantıları çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Örneğin, Unity 3B'ye eklenecek 3B modeller “.FBX” formatında olmasını tavsiye ediyoruz. FBX formatı içerisinde modele ait oluşturulmuş fotogerçekçi kaplamaları barındırabilen bir formattır. Diğer format türlerindeki modelleri Unity 3B içerisine aktarırken modelin gerçek dış yüzeylerde ve renklendirmesinde bozukluklar oluşabilmektedir bu durumda bu format türleri otomatik doku kaplamaktadır. Bu yüzden veri kaybı ve bozulmasını önlemek amacıyla “.FBX” seçilmesi önemlidir. Augment platformunda ise “.obj” formatında olmasını tavsiye etmekteyiz. Ayrıca bu platforma model dosyası aktarılmasında dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise; model dosyası, yüzey kaplama ve öznitelik materyal dosyasının sıkıştırılarak Augment uygulamasına aktarılmalıdır.

Bu çalışma ile fotogrametri yöntemi ve SfM algoritmasının özellikle profesyonel olmayan kameraların 3B model üretimindeki avantajı ortaya konulmuştur. Bu sayede dijital platformda oluşturulan 3B modellerin artırılmış gerçekliğe aktarılması ile kültürel eserlere erişmek isteyenlerin sayısı artırılabilir buna ek olarak ekonomik kalkınmaya katkı sağlamak için araç olarak kullanılabilir. Tarihi eserlere herhangi bir zarar vermeden tanıtılması ve sunulması önemli olduğu için bu çalışmada da olduğu gibi artırılmış gerçeklik ve web tabanlı görselleştirme ile oluşturulan uygulamalar ve sanal ortamlar kolay bir şekilde ziyaretçilere sunulabilir. Çalışmada tanımlanan yaklaşım ile sanal turizm aktiviteleri desteklenmektedir. Bu tarz çalışmalar ile kültürel mirasa hızlı ve etkin erişimlere olan engeller ortadan kaldırılarak akıllı ve dinamik kültürel miras hizmetlerinin gelişimi sağlanmış olmaktadır. Sonuç olarak; fotogrametri, artırılmış gerçeklik ve web tabanlı görselleştirmenin birlikte kullanılması ile kültürel mirasın etkileşimli sunumu ve görşelliği için erişilebilir uygulamaların geliştirilmesine önemli fırsatlar sağladığı görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Çalışmada 3B modeli ve artırılmış gerçekliği yapılan Attika-ion tipi sütun kaidesine erişim imkânı veren Mersin St. Paul Anıt Müzesi'ne ve sütun kaidesi hakkında bilgi veren Öğretim Görevlisi Bilhan Subaşı'ya katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Styliadis, A. D. (2008). Historical photography-based computer-aided architectural design: Demolished buildings information modeling with reverse engineering functionality. *Automation in construction*, 18(1), 51-69.
- [2] Ulvi, A. (2021). Documentation, Three-Dimensional (3D) Modelling and visualization of cultural heritage by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners. *International Journal of Remote Sensing*, 42(6), 1994-2021.
- [3] Boboc, R. G., Duguleană, M., Voinea, G. D., Postelnicu, C. C., Popovici, D. M., & Carrozzino, M. (2019). Mobile augmented reality for cultural heritage: Following the footsteps of Ovid among different locations in Europe. *Sustainability*, 11(4), 1167.
- [4] Remondino, F., & El-Hakim, S. (2006). Image-based 3D modelling: a review. *The photogrammetric record*, 21(115), 269-291.
- [5] Kasser, M., & Egels, Y. (2002). *Digital photogrammetry*.
- [6] Korumaz, A. G., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Dijital Yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 67-83.
- [7] Rinaudo, F., Chiabrando, F., Lingua, A., & Spanò, A. (2012). Archaeological site monitoring: UAV photogrammetry can be an answer. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39(B5), 583-588.
- [8] Mikhail, E. M., Bethel, J. S., & McGlone, J. C. (2001). *Introduction to modern photogrammetry*. New York, 19.
- [9] Luhmann, T., Fraser, C., & Maas, H. G. (2016). Sensor modelling and camera calibration for close-range photogrammetry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 37-46.
- [10] Bot, J. A., Irschick, D. J., Grayburn, J., Lischer-Katz, Z., Golubiewski-Davis, K., & Ikeshoji-Orlati, V. (2019). Using 3D photogrammetry to create open-access models of live animals: 2D and 3D software solutions. *Grayburn et al., eds. D*, 3, 54-72.
- [11] Kraus, K. (2007). *Photogrammetry: geometry from images and laser scans*. Walter de Gruyter, Berlin. ISBN: 978-3-11-019007-6.
- [12] 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.
- [13] Uslu, A., & Uysal, M. (2017). Arkeolojik Eserlerin Fotogrametri Yöntemi İle 3 Boyutlu Modellenmesi: Demeter Heykeli Örneği. *Geomatik*, 2(2), 60-65.
- [14] Şenol, H., Memduhoglu, A., & Ulukavak, M. (2020). Multi instrumental documentation and 3D modelling of an archaeological site: a case study in Kizilkoyun Necropolis Area. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11 (3), 1241-1250.
- [15] Zeybek, M., & Kaya, A. (2020). Tarihi Yığma Kiliselerde Hasarların Fotogrametrik Ölçme Tekniğiyle İncelenmesi: Artvin Tibeti Kilisesi Örneği. *Geomatik*, 5 (1), 47-57.
- [16] Obradović, M., Vasiljević, I., Đurić, I., Kićanović, J., Stojaković, V., & Obradović, R. (2020). Virtual Reality Models Based on Photogrammetric Surveys—A Case Study of the Iconostasis of the Serbian Orthodox Cathedral Church of Saint Nicholas in Sremski Karlovci (Serbia). *Applied Sciences*, 10(8), 2743.
- [17] Marques, L., Tenedório, J. A., Burns, M., Romão, T., Birra, F., Marques, J., & Pires, A. (2017). Cultural Heritage 3D Modelling and visualisation within an Augmented Reality Environment, based on Geographic Information Technologies and mobile platforms. *Architecture, City and Environment*, 11(33), 117-136.
- [18] Panou, C., Ragia, L., Dimelli, D., & Mania, K. (2018). An architecture for mobile outdoors augmented reality for cultural heritage. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(12), 463.
- [19] Carrión-Ruiz, B., Blanco-Pons, S., Weigert, A., Fai, S., & Lerma, J. L. (2019). Merging photogrammetry and augmented reality: The Canadian Library of Parliament. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2/W11), 367-371.
- [20] Paladini, A., Dhanda, A., Reina Ortiz, M., Weigert, A., Nofal, E., Min, A., & Santana Quintero, M. (2019). Impact of virtual reality experience on accessibility of cultural heritage. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 929-936.
- [21] Uslu, A., & Uysal, M. (2020). Kültürel Mirasın Etkileşimli Keşfi İçin Mobil Artırılmış Gerçeklik ve Web Tabanlı Görselleştirme Teknolojilerinin Kullanılması: Sfenks Heykeli Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(6), 1024-1031.
- [22] Şenol, H. İ., Ernst, F. B., & Akdağ, S. (2018). Kentsel Dönüşüm Alanlarının Geotasarım Yöntemi ile Planlanması: Eyyübiye Örneği. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3), 63-69.

- [23] Papagiannakis, G., Gurminder, S., & Nadia, M. T. (2008). A survey of mobile and wireless technologies for augmented reality systems. *Comput. Animat. Virtual Worlds*, vol. 19(1), 3-22, 2008.
- [24] Damala, A., Cubaud, P., Bationo, A., Houlier, P., & Marchal, I. (2008). Bridging the gap between the digital and the physical: design and evaluation of a mobile augmented reality guide for the museum visit. *in Proc. 3rd Int. Conf. on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts (DIMEA '08)*, ACM, New York, NY, USA, pp. 120-127, 2008
- [25] Tom Dieck, M.C., Jung, T., & Han, D. (2016). Mapping requirements for the wearable smart glasses augmented reality museum application. *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, 7, 3
- [26] Şasi, A., & Yakar, M. (2018). Photogrammetric modelling of hasbey dar'ülhuffaz (masjid) using an unmanned aerial vehicle. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(1), 6-11.
- [27] Fernández-Hernandez, J., González-Aguilera, D., Rodríguez-González, P., & Mancera-Taboada, J. (2015). Image-based modelling from unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry: an effective, Low-cost tool for archaeological applications. *Archaeometry*, 57, 128-145.
- [28] 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*, 2013, 38, 421-430.
- [29] Memduhoglu, A., Şenol, H. İ., Akdağ, S., & Ulukavak, M. (2020). 3D Map Experience for Youth with Virtual/Augmented Reality Applications. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(3), 175-182.
- [30] Polat, N., & Kaya Y. (2021). Investigation of the Performance of Different Pixel-Based Classification Methods in Land Use/Land Cover (LULC) Determination. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(1), 1-6.
- [31] Snavely, N., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2008). Modeling the world from internet photo collections. *Int. J. Comput. Vis.* 80, 189-210. <http://dx.doi.org/10.1007/s11263-007-0107-3>.
- [32] Vasuki, Y., Holden, E.J., Kovesi, P., & Micklethwaite, S. (2014). Semi-automatic mapping of geological structures using UAV-based photogrammetric data: an image analysis approach. *Comput. Geosci.* 69, 22-32.
- [33] Alsadik, B., Remondino, F., Menna F., Gerke, M., & Vosselman, G. (2013). Robust extraction of image correspondences exploiting the image scene geometry and approximate camera orientation. 3D-ARCH 2013 - 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, Trento, Italy. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XL-5/W1
- [34] Korumaz, A. G., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Dijital Yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 67-83.
- [35] Gomez, Ch., Hayakawa, Y., & Obanawa, H. (2015). A study of Japanese landscapes using structure from motion derived DSMs and DEMs based on historical aerial photographs: New opportunities for vegetation monitoring and diachronic geomorphology. *Geomorphology*, 2015, 242, 11-20,
- [36] Niethammer, U., James, M. R., Rothmund, S., Travelletti, J., & Joswig, M. (2011). UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology*, 128, 2-11.
- [37] Carrivick, J. L., Geilhausen, M., Warburton, J., Dickson, N. E., Carver, S. J., Evans, A.J., & Brown, L.E. (2013). Contemporary geomorphological activity throughout the proglacial area of an alpine catchment. *Geomorphology*, 188, 83-95.
- [38] Gienko, G.A., & Terry, J. P. (2013). Three-dimensional modeling of coastal boulders using multi-view image measurements. *Earth surface processes and Landforms*, 39, 853-864.
- [39] Yakar, M., & Dogan, Y. (2018). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. *In Conference of the Arabian Journal of Geosciences*, 73-75.
- [40] Malpas, J. (2008). Cultural heritage in the age of new media. In *New Heritage: New Media and Cultural Heritage*; Kalay, Y.E., Kvan, T., Affleck, J., Eds.; Routledge: London, UK, 2008, 13-26
- [41] Thwaites, H. (2013). Digital Heritage: What Happens When We Digitize Everything? In *Visual Heritage in the Digital Age*; Ch'ng, E., Gaffney, V., Chapman, H., Eds.; Springer London: London, UK, 327-348.
- [42] Van Krevelen, D. W. F., & Poelman, R. (2010). A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International journal of virtual reality*, 9(2), 1-20.
- [43] Noh, Z., Sunar, M. S., & Pan, Z. A. (2009). Review on Augmented Reality for Virtual Heritage System. In *Learning by Playing. Game-based Education System Design and Development: 4th International Conference on E-Learning and Games*, Edutainment 2009, Banff, Canada, 9-11 August 2009; Springer: Berlin, Germany, 2009.
- [44] Gürel, U. (2021). Artırılmış Gerçeklik Yardımı İle Öğrenme Deneyimi. *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi*, 2(1), 42-45.

- [45] Uslu, A., & Uysal, M. (2021). Kitle Kaynaklı Fotoğraflar Kullanılarak Kültürel Mirasın Üç Boyutlu Modellenmesi ve Web Tabanlı Görselleştirilmesi: Afrodisias - Tetrapylon Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(3), 632-639.
- [46] Höllerer, T., & Feiner, S. (2004). Mobile augmented reality. *Telegeoinformatics: Location-based computing and services*, 21.
- [47] Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2021). *Mobil Arttırılmış gerçeklik uygulaması indirme bağlantısı*. https://drive.google.com/file/d/1JonYSYX_MFpd0nM65_-IOFFaaIRYfntG/view?usp=sharing (13.10.2121)
- [48] Augment. (2021). *Augment provides everything you need from 3D content to optimized AR experiences*. <https://www.augment.com>, (14.10.2021)
- [49] Creed, C., Sivell, J., & Sear, J. (2013). Multi-Touch Tables for Exploring Heritage Content in Public Spaces. In *Visual Heritage in the Digital Age*; Ch'ng, E., Gaffney, V., Chapman, H., Eds.; Springer London: London, UK, 67–90.
- [50] Thwaites, H. (2013). Digital Heritage: What Happens When We Digitize Everything? In *Visual Heritage in the Digital Age*; Ch'ng, E., Gaffney, V., Chapman, H., Eds.; *Springer London: London, UK*, 327–348.
- [51] Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Mersin Akyar Falezî'nin 3B modeli. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2 (1), 5-9.
- [52] Şenol, H. İ., & Kaya, Y. (2019). İnternet Tabanlı Veri Kullanımıyla Yerleşim Alanlarının Modellenmesi: Çiftlikköy Kampüsü Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 11-16.
- [53] Hamal, S. N. G., Sarı, B., & Ulvi, A. (2020). Using of Hybrid Data Acquisition Techniques for Cultural Heritage a Case Study of Pompeiopolis. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 55-60.
- [54] Green, D. (2012). Terrains from DEMs: Using Digital Elevation Models