



Developing a mobile augmented reality application for cultural heritage

Aktan Acar^{1*}, F. Betül Atalay², Soner Say², E. Melisa Tunca¹, Murat Can Çetin³, Şeyma Nur Çalıřkan¹, Suna Aydın Altay⁴, Pelin Gürol Öngören¹, A. Fatih Karakaya⁴

¹TOBB University of Economics and Technology, Faculty of Architecture and Design, Department of Architecture, 06560, Söğütözü, Ankara, Turkey

²TOBB University of Economics and Technology, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 06560, Söğütözü, Ankara, Turkey

³TOBB University of Economics and Technology, Faculty of Architecture and Design, Department of Interior Architecture, 06560, Söğütözü, Ankara, Turkey

⁴TOBB University of Economics and Technology, Faculty of Architecture and Design, Department of Art and Design, 06560, Söğütözü, Ankara, Turkey

Highlights:

- Geographical location based augmented reality technology.
- Point cloud and image-based scanning/modelling.
- Protection of cultural heritage and its participation in the life

Keywords:

- Augmented Reality
- Cultural Heritage
- Augustus Temple
- In-situ Learning
- Mobile Application

Graphical/Tabular Abstract

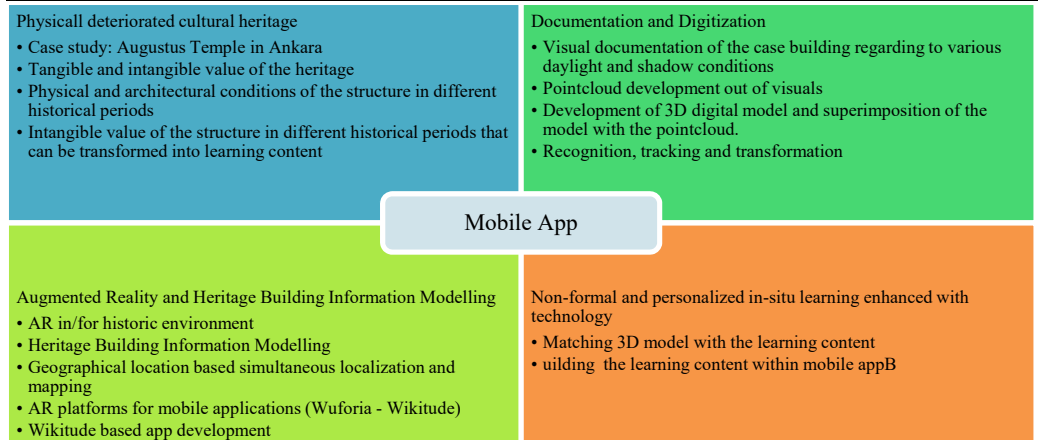


Figure A. Work model and organization

Article Info:

Research Article
Received: 04.05.2021
Accepted: 14.11.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.932478

Correspondence:

Author: Aktan Acar
e-mail:
aktanacar@etu.edu.tr
phone: +90 532 202 0149

Purpose: The aim of project was to develop an augmented reality-based environment and non-formal, free, individualized learning content appropriated for cultural and archaeological heritage which had lost its physical-structural integrity. In this respect a web-based augmented reality mobile application was developed that lets the users to inspect and explore the existing cultural heritage and related information in-situ with its various historical conditions modelled in 3D.

Methods:

Wuforia and Wikitude augmented reality platforms were examined in the project. The created point cloud of the Temple of Augustus by Wikitude Studio web interface is used as a 3-dimensional marker to recognize the structure. Wikitude matches the image of the real world with the created point cloud and the camera exposure at the time of recognition allows us to place the desired virtual object using the correct transforms. When a match is found, Wikitude initiates localization and generates a virtual map of the real world. In this way, even if the camera moves, it continues to partially recognize the object. Using many functions, the virtual restitution model of the temple can be placed correctly aligned on the real world and displayed.

Results:

Unity as game engine and Wikitude platform as Augmented Reality technology were used for mobile application. A virtual model was placed on the Temple of Augustus with SLAM technology. In the application, 3-dimensional temple models belonging to three different restitution periods can be examined. When a question mark is clicked, information about that part of the building can be accessed.

Conclusion:

The results of this research can be applied and extended to structures that have lost their structural integrity. The widespread impact of this research can be summarized under three main headings: technology use, interaction with structure and environment, and interoperability. Historical structures can be exhibited in their original state, together with the developing and easier to access technologies. This will have an important impact on the transmission and protection of cultural heritage. Secondly, it can be observed how the building interacts and changes with its environment over time with animations to be enriched with motion graphics. Last impact would be on the interoperability of building information models with mobile devices and applications. It is beneficial to conduct research to make the building information model compatible with mobile devices and applications.



Kültürel mirasa yönelik mobil artırılmış gerçeklik uygulaması geliştirilmesi

Aktan Acar^{1*}, F. Betül Atalay², Soner Say², E. Melisa Tunca¹, Murat Can Çetin³, Şeyma Nur Çalışkan¹, Suna Aydın Altay⁴, Pelin Gürol Öngören¹, A. Fatih Karakaya⁴

¹TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 06560, Söğütözü, Ankara, Türkiye

²TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 06560, Söğütözü, Ankara, Türkiye

³TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, 06560, Söğütözü, Ankara, Türkiye

⁴TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Sanat ve Tasarım Bölümü, 06560, Söğütözü, Ankara, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Coğrafi konum tabanlı artırılmış gerçeklik teknolojisi.
- Nokta bulutu ve görsel tabanlı tarama/modelleme.
- Kültürel mirasın korunması ve toplumsal yaşama kazandırılması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 04.05.2021

Kabul: 14.11.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.932478

Anahtar Kelimeler:

Artırılmış gerçeklik,
kültürel miras,
Augustus tapınağı,
yerinde öğrenme,
mobil uygulama

ÖZ

Bu araştırma, tarihi, kültürel ve arkeolojik değeri olan ancak çeşitli nedenlerle fiziksel-yapısal bütünlüğünü kaybetmiş mimari ve kültürel mirasa yönelik, kişiselleştirmeye elverişli, yaygın ve serbest öğrenme için uygun artırılmış gerçeklik tabanlı mobil uygulama kullanımı ve buna uygun içerik geliştirme amacıyla yürütülmüştür. Kültürel mirasın ve belleğin gelecek nesillere aktarılması konusunda farkındalık yaratılması ve yeni teknolojiler yardımı ile erişilebilir kılınması hedeflenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda, coğrafi konum tabanlı, eş zamanlı yerleştirme, geri çağırma, kaplama ve görselleştirme işlevlerine sahip artırılmış gerçeklik platformu içinde bir çalışma yapılmıştır. Çalışma için örnek yapı olarak Ankara'da bulunan ve önemli bir arkeolojik ören yeri olan Augustus Tapınağı seçilmiştir. Yapının sayısal 3 boyutlu modeli hazırlanmış; bu model, sözü edilen artırılmış gerçeklik platformunun ören yerinden çekilen fotoğraflar yardımıyla ürettiği nokta bulutu ile örtüşmesi sağlanmıştır. Bu örtüşme işaretleme işlevi görmüş, böylece mobil cihazlarda uygulama tarafından kullanılan kameranın açısı değişse yahut yapı görüş alanından çıkıp geri girse dahi ören yeri üzerine oturtulmuş sayısal modelin doğru açıda, ölçeklenmiş boyut ve malzeme kaplaması ile izlenmesi sağlanmıştır. Uygulama aracılığı ile yapının geometrik ve semantik bilgisinin bir bütün olarak algılanabilmesinin, dijital içeriğin etkileşimli olarak deneyimlenebilmesinin olanakları araştırılmıştır.

Developing a mobile augmented reality application for cultural heritage

H I G H L I G H T S

- Geographical location based augmented reality technology.
- Point cloud and image-based scanning/modelling.
- Protection of cultural heritage and its participation in the life

Article Info

Research Article

Received: 04.05.2021

Accepted: 14.11.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.932478

Keywords:

Augmented reality,
cultural heritage,
Augustus temple,
in-situ learning,
mobile application

ABSTRACT

The aim of the study was to investigate and implement an augmented reality-based platform and appropriate digital content for personalized non-formal and free learning of architectural and cultural heritage, which has lost its physical or structural integrity. It was aimed to raise awareness about cultural heritage and its appreciation by future generations. Developing a digital memory and making cultural heritage accessible with the help of new technologies were the main concerns of the study. In this respect, a study on a mobile, geolocation-based augmented reality application, which have simultaneous localization and mapping function, was conducted. The Temple of Augustus, which is an important archaeological site in Ankara, was chosen as a sample structure for the study. A digital 3D model of the building was prepared. This model was superimposed and aligned with the point cloud produced by the augmented reality platform with the help of photographs taken from the ruins. This overlap served as a marking function, so that even if the angle of the camera used by the application on mobile devices changes or the structure leaves the field of view and re-enters, the digital model placed on the site can be viewed at the right angle, with scaled size and material mapping. In this study, the possibilities of perceiving the geometric and semantic knowledge of the building as a whole, and experiencing that digital content interactively were investigated.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *aktanacar@etu.edu.tr, fatalay@etu.edu.tr, ssonersay@gmail.com, melisa.tunca98@gmail.com, muratcetin1995@hotmail.com, snurcaliskan@etu.edu.tr, saydinaltay@etu.edu.tr, pgurolongoren@etu.edu.tr, afkarakaya@etu.edu.tr / Tel: +90 532 202 0149

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

1.1. Araştırmanın Motivasyonu (Motivation of the Study)

Çalışma, iki temel motivasyon kaynağına sahiptir. Birinci motivasyon yapılı çevre mirasının, insanlığın gelişimine tanıklık etmiş zengin kültürünün yaşayan anıtları ve belleği olarak çok büyük öneme sahip olmasıdır. Bu mirasın bir yandan korunurken bir yandan da gündelik hayata sağlıklı ve sürdürülebilir şekilde katılması, daha fazla insan tarafından keşfedilmesi, hayat boyu öğrenmenin bir parçası haline gelmesi, gelecek nesiller tarafından sahiplenilmesinin ön koşuludur. İkinci motivasyon ise artırılmış gerçeklik (AG) ve sanal gerçeklik (SG) teknolojilerinin kültürel mirasın sahiplenilmesine yönelik çok büyük fırsatlar barındırmasıdır. Bu teknoloji, sunduğu etkileşimli deneyim ve öğrenme ortamıyla sosyal, kültürel, pedagojik ve ekonomik farkındalık oluşturmada önemli işlevler üstlenme potansiyeli taşımaktadır.

1.1.1. Kültürel miras (Cultural Heritage)

Kültürel miras, uygarlığın oluşumu ve gelişiminin birincil kaynağı, insanlığın biyolojik, sosyolojik, psikolojik varlığının hem maddi bedeni hem de hafızasıdır. Yapılı çevrenin, somut olmayan kültürel mirasla birlikte, kentlerin dayanıklı ve sürdürülebilir sosyal ve ekonomik canlılığının ve gelişmesinin asli unsurlarından olduğu söylenebilir. Bu mirasın herhangi bir parçasının bozulması veya yok olması yerelden evrensel her ölçekte telafisi olmayan kültürel, sosyal, ekonomik yoksullaşmaya neden olmaktadır.

Öte yandan tüm bu değerler doğal ve insan kaynaklı tehlikelerle karşı karşıyadır. İklim değişikliğiyle birlikte doğal afetler giderek güçlenen bir tehdide dönüşmüştür. Arkeolojik alanların korunması ve yaşatılmasını kentsel ekonominin gelişmesinin karşısında gören anlayış çok uzun bir süre yapılı çevre içinde kalan kültürel mirası bertaraf edilecek bir engel olarak değerlendirmiş ve büyük zararlar vermiştir. Savaşlar, terör, definciler nedeni ile insanlığın ortak mirası, belleği, toplumsal kimliğinin somut varlığı her geçen gün büyük bir erozyona uğramaktadır.

Çağımızda yaşanan teknolojik ve sosyoekonomik gelişmelere paralel olarak eğitim alanında pragmatist yaklaşımlar kendini göstermektedir. Bu yaklaşımlar ile yaşadığımız dijital çağın vazgeçilmez araçları, geleneksel yöntemlere eşlik ederek sosyal ve kültürel alanlarda disiplinler arası çalışmaların zorunluluğunu ortaya koymaktadır.

1.1.2. Hayat boyu öğrenme ve artırılmış gerçeklik (Lifelong learning and augmented reality)

Hayat boyu öğrenme, mekân ve zaman kısıtlarına bağlı kalmadan, örgün, yaygın ve serbest biçimde, bu deneyimlerin aralarında oluşan etkileşimli geçiş kapsamaktadır. 2019 yılı sonunda başlayan ve tüm dünyayı

saran Covid-19 salgınıyla birlikte örgün eğitim dışında kalan tüm öğrenme biçimleri ve eğitim – öğretim yöntemleri büyük önem ve ivme kazanmış, hayat boyu öğrenme içindeki yerleri daha fazla ve daha yoğun biçimde gündeme gelmiştir. Hali hazırda örgün, yaygın ve serbest öğrenmede önemli rol oynayan bilişim teknolojilerinin hacmi ve işlevselliği de katlanarak artmaktadır. Endüstri 4.0 dönüşümünün tetiklediği dijital vatandaşlık, bilişim okuryazarlığı gibi kavram ve olguların, salgınla mücadelenin zorunlu hale getirdiği uzaktan eğitim, evden çalışma, esnek üretim koşullarına uyum sürecine pozitif yöndeki etkisi tartışma götürmez bir gerçektir. Covid-19 salgını öncesinde hayat boyu öğrenme ve yaşamakta olan teknolojik dönüşümler bağlamında ele alınan dijital vatandaşlık, bilişim okuryazarlığı gibi kavramlar bugün toplumsal ve bireysel pratiklerin merkezine yerleşmiştir. Elbette hem kavramlar hem de bu yöntemlerin geçerliliği ve uygulanabilirliği imkân ve olanaklar ile orantılı olarak ele alınmalı ve tartışılmalıdır.

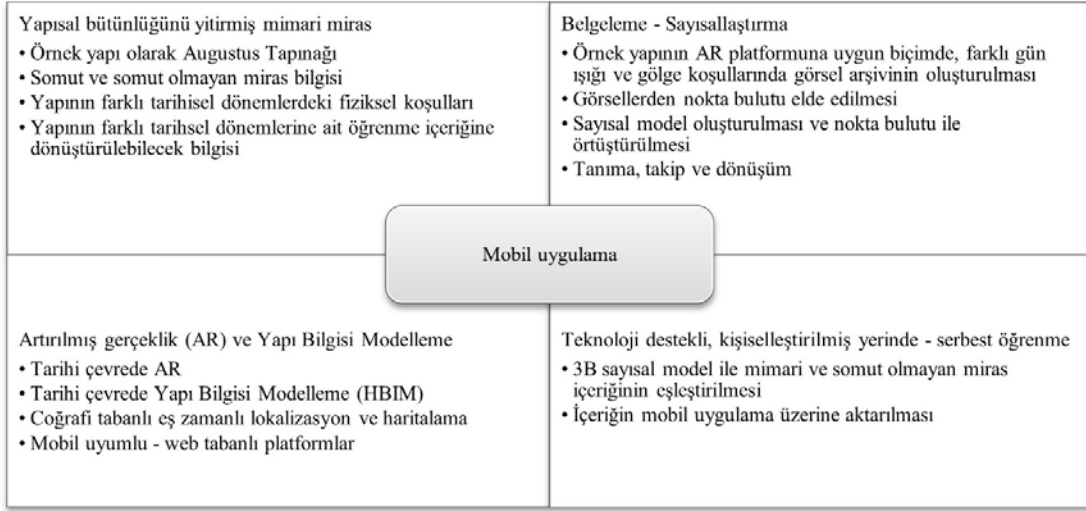
Küresel salgınla beraber, çevrim içi bilgi ve deneyim, sadece ilgililer ve uzmanlar için değil tüm insanlık için zorunlu ve acil hale gelmiştir. Bireylerin ve toplulukların, uygun fiziksel mesafe içinde daha fazla veriye ve sosyal deneyime erişebilir kılınması yönünde yapılan çalışmalar katlanarak artmaktadır. Sanal, artırılmış ve karıştırılmış gerçeklik teknoloji ve uygulamaları bu erişimin önemli bir ayağını oluşturmaktadır. İş birliği, iletişim ve eşgüdüm içinde düşünme, tasarım, üretim ve deneyim fırsatı ve ortamı sunan yazılım ve donanımların araştırma, eğitim ve üretimdeki payı giderek artmaktadır. Teknolojinin ve uygulamaların çeşitlenmesi ve erişilebilir hale gelmesiyle farklı alanlarda, transdisipliner araştırma ve geliştirme çalışmaları için daha fazla fırsat ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma böyle bir motivasyon ve sağlanan olanaklar çerçevesinde yürütülmüş olan transdisipliner bir projenin sonucu olarak yapılmıştır. Çalışma, XXX Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi ile Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü öğretim elemanları ve öğrencilerinin katılımı ve XXX Fonu desteği ile yürütülmüştür.

1.2. Çalışmanın Amacı (The Aim of the Study)

Çalışmanın amacı, tarihi, kültürel ve arkeolojik değeri olan ancak çeşitli nedenlerle fiziksel-yapısal bütünlüğünü yitirmiş yapılara yönelik, kişiselleştirmeye elverişli, yaygın ve serbest öğrenme için uygun AG tabanlı bir ortam ve buna uygun içerik geliştirmektir. Transdisipliner bir çalışma olarak tasarlanan çalışmanın modeli ve akışı Şekil 1'de sunulmuştur.

Çalışmanın hedefleri ise şu şekilde sıralanabilir:

- Fiziksel olarak zarar görmüş yapılı çevre kültür mirasının, 3 boyutlu (3B) modele dayalı, coğrafi konum tabanlı AG teknolojisi (geographical location based augmented reality) yardımı ile bütün olarak algılanabilir ve deneyimlenebilir hale getirilmesi



Şekil 1. Çalışma modeli ve iş organizasyonu (Work model and organization)

- Bu deneyim içinde kullanıcı profiline göre (yaş, eğitim düzeyi, kullanım amacı vb.) özelleşebilen ve hatta bireyselleştirilebilen, örgün, yaygın ve serbest öğrenmeye yönelik, mobil cihazlara uygun teknoloji ve içerik geliştirilmesi
- Ülkemizin kültürel mirasının yeni teknolojiler yardımı ile erişilebilir kılınması
- Kültürel mirasın ve belleğin gelecek nesillere aktarılması konusunda farkındalık yaratılması

Bu hedefler doğrultusunda Ankara'nın önemli tarihi alanlarından biri olan ve Roma Dönemine tarihlenen Augustus Tapınağı seçilmiştir. Augustus Tapınağı günümüzde tarihi Ulus bölgesinde Hacı Bayram-ı Veli Camii ile Ankara'nın en önemli simge kentsel odaklarından birinde yer almaktadır. Alan kısaca "Hacıbayram" olarak anılmaktadır. Augustus Tapınağı ve Hacı Bayram-ı Veli Camii tarihte ve dünya üzerinde eşine az rastlanır bir örnek olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı meydana bir alan iki yapı tarih boyunca birlikte varlıklarını sürdürmüşler, paylaştıkları ortak köşede birbirlerine destek olmuşlardır.

1.3. Ankara Augustus Tapınağı (Ankara Augustus Temple)

Augustus Tapınağı, kentin merkezinde ve çevreye hâkim bir tepenin üzerinde konumlanmaktadır. Bu bölge tarih boyunca kutsal bir mekân olmuştur. Tapınağın bulunduğu alan üzerinde, M.Ö. 2. Yüzyılın ikinci yarısına tarihlenen ve Bergama mimarisinin etkisini gösterdiği düşünülen, Anadolu'nun en eski kütlerinden olan Frig gök tanrısı Men ve ana tanrıça Kybele'ye adanmış bir tapınağın bulunduğu ileri sürülmektedir. Bu yapı, planı ile Augustus Tapınağı'na temel teşkil etmiştir [1, 2].

Galatların M.Ö. 274/270-266 yılları arasında Ankara'ya gelmiş oldukları tahmin edilmektedir [3]. M.Ö. 25 yılında Galatların Roma egemenliği altına girmeleri ardından kurulan Galatia Eyaleti, Roma İmparatorluğu'nun Anadolu'daki ilk imparator eyaletidir. Ankara bu eyaletin

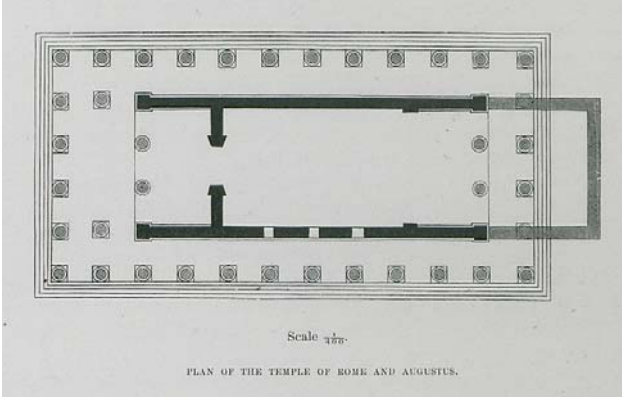
başkenti olmuştur [2]. Bu durum kentin, büyüüp gelişmesine de imkân vermiştir. Roma ile kurulan ilişkiler neticesinde kentte, M.Ö. 25-20 yılları arasında, İmparator Augustus (Octavianus M.Ö. 63- M.S. 14) ve kutsal Roma adına bir tapınak inşa edilmiştir. Böylece bölgenin kutsallığına, imparator kültü de eklenmiştir [3]. Augustus Tapınağı, bölgeye 4. Yüzyılda Hıristiyanlığın hâkim olmasıyla kiliseye çevrilmiştir.

Yapı ile ilgili olarak 16. Yüzyıldan itibaren Ankara'ya gelen seyyahların verdiği bilgiler konunun aydınlatılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu konuda verilen bilgilere ulaşabildiğimiz ilk seyyah, Kanuni Sultan Süleyman (1520-1566) döneminde elçi olarak Osmanlı topraklarına gelen ve 1555 tarihinde Ankara'ya uğrayan Augier Baron Ghislen de Busbecq'tir. Busbecq, tapınak üzerindeki yazıtı gördüğü kayda geçen ve daha sonra da kitabeyi tanıtan ilk kişi olması nedeniyle de oldukça önemlidir [4]. Busbecq ile aynı heyette bulunan bir başka isim Hans Dernschwam da yazdığı seyahatnamesinde yapıyı anlatarak bir de çizimini yapmıştır [5]. Dernschwam'ın anlatımına göre, yapı zarar görmemiş vaziyette ve çatısız olarak ayakta. Ayrıca seyyah, yapıdan saray olarak bahsetmekte ve içinde on tane odası bulunduğunu, güney cephede taş parmaklıkları olan üç tane pencere olduğunu, kapısının 12 ayak genişliğinde ve 2 mızrak boyu yüksekliğinde olduğunu anlatmaktadır. Ek olarak, yapının yanında bulunan camide de yapıda bulunan taşların kullanıldığını belirtmektedir [6].

Yine Osmanlı İmparatorluğu döneminde, 1640 yılında Ankara'ya gelen Evliya Çelebi de seyahatnamesinde yapıdan bahseder ve Hacı Bayram Külliyesi'nin 300 derviş barındıran bir tekke olduğunu ifade eder [7]. 17. Yüzyılda Ankara'ya gelen bir başka seyyah, Fransız Lainse, 1670 yılında yapıyı görmüş ve bir çizim yapmıştır. Bu çizimde, yapının arkasında konumlanan ve geç döneme tarihlenen kriptaya benzer mekân görülebilmektedir. Kutalmış Gökay, Musa Kadioğlu ve Stephen Mitchell *Roma Döneminde*

Ankyra adlı çalışmalarında, kriptaya benzer bu mekânı, İslami dönemde yapının tekkeye dönüştürülmesi ile ilişkilendirmişlerdir [8]. Tapınak hakkında bilgi veren bir başka seyyah, 18. Yüzyılın başında Ankara'ya gelen, aslen hekim ve botanikçi olan Tournefort'dur. Tournefort 22 Ekim 1701 tarihinde kente gelmiş, tapınağı incelemiş ve yapının sınırları içinde yer alan mekândan "... *perişan bir kilisenin kalıntısı...*" sözleriyle bahsetmiştir. Ayrıca, yapının üzerindeki yazıtın, duvara bitişik evler yüzünden okunamadığını da belirtmiştir [9].

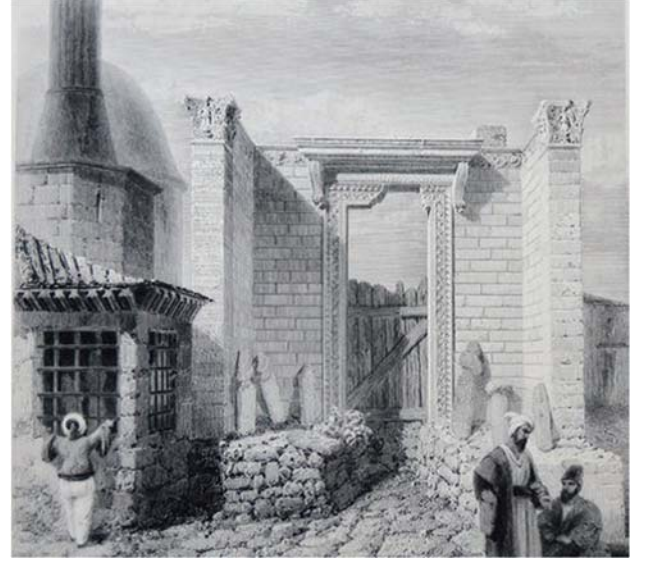
18. yüzyılda Paul Lucas, Richard Pococke ve 19. yüzyılda John Macdonald Kinneir ile Charles Texier gibi Ankara'ya gelen seyyahlar da yapıyı incelemiş özellikle de tapınağın duvarında bulunan yazıt hakkında bilgiler vermişlerdir. Bu isimlerden 1813 yılında kente gelen Kinneir, tapınağın ince işçilikle yapılmış olduğundan, duvarların yüksekliğinin 45 ayak olduğundan bahsetmektedir. Ayrıca, yapıyı bir bazilika ya da kamu binasına benzettiğini de belirtmektedir [10]. Charles Texier ise 1835 yılında Ankara'ya gelerek, yapının çizimini yapmış ve yapıya ait bir plan çıkarmıştır [11] (Şekil 2 ve Şekil 3).



Şekil 2. Charles Texier tarafından çizilmiş Augustus Tapınağı planı - 1864
(Plan of Augustus Temple by Charles Texier -1864)

Cumhuriyet döneminde başkent Ankara'da başlayan çalışmalar incelendiğinde, ilk olarak 1925 yılında İstasyon çevresi, Çankırıkapı civarı ve Augustus Tapınağı'nın konumlandığı tepe olmak üzere üç bölgede yapılan kazılar görülmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda, bu alanlarda bulunan höyüklerin Friglere ait olduğu belirlenmiştir [13]. 1926-1928 yıllarında Alman arkeolog M. Krecker başkanlığında Augustus Tapınağı üzerinde araştırmalar başlamıştır. Ancak, kazılarda podyumun güney, doğu ve kuzey kesimleri tamamen ortaya çıkarılamamıştır. Ardından tapınak alanında, 1939 yılında Türk Tarih Kurumu adına, Hamit Zübeyr Koşay başkanlığında bir başka kazı çalışması başlamıştır. Kazıda, tapınağın güneydoğu köşesinde oluşturulan hendek içinde yapı kalıntılarına ve Frig dönemine tarihlenen seramik parçalarına rastlanmıştır. Ayrıca, tapınağın altında yaklaşık 4 metre kalınlığında bir Frig yerleşkesi bulunmuştur. Ek olarak, en alt katmanda ortaya çıkarılan bir Frig evi, Orta Anadolu evlerine benzemesi ile mimari açıdan dikkat çekici olmuştur [14].

Yapılan çalışmalar, Augustus Tapınağı'nın daha erken dönemlerde yani Frig döneminde var olan bir yapının üzerine inşa edildiğini göstermiştir.



Şekil 3. Texier tarafından yapılmış Ankara Augustus Tapınağı gravürü
(Texier's engraving of the Temple of Augustus in Ankara)

Ulus bölgesi, kale, tapınak ve yakın çevresi çağlar boyunca Ankara'da varlık göstermiş hemen hemen bütün kültür, topluluk ve devletlerden izler taşımaktadır. Ankara'nın Persler, Araplar, bir dönem Haçlılar, Selçuklularca idare edildiği dönemlerin izlerini takip etmek mümkündür. Osmanlı dönemine dair bilgi ve belgelere, mahkeme kayıtlarından ve gezginlerin notlarından ulaşılmakta olduğu yukarıda da ifade edilmiştir.

Tapınakla ilgili akademik çalışmalar yapılmasına karşın koruma ve onarıma yönelik çalışmaların başlaması 1980lerin ortasını bulmuştur. Hacıbayram'da yapılan alan düzenlemesi, meydana ve çevredeki yapılarda fiziksel ve göreceli ekonomik iyileşmeye yol açmıştır. Tapınağın kuzey-batı duvarını güçlendirme projesi ise 2010 yılında tamamlanmıştır. Ancak tapınak çevresinde uzun yıllar süren çalışmalar, çeşitli nedenlerle tamamlanamayan kazı ve koruma projeleri Augustus Tapınağı'nın fiziksel olarak yıpranmasında etkili olmuştur. Yapı, Ankara'nın sert karasal ikliminden, gece gündüz sıcaklık farklarından ve uzun yıllar etkisi hissedilen hava kirliliğinden önemli derecede etkilenmiştir [15].

Augustus Tapınağı fiziksel olarak bütünlüğünü yitirmiş, yasal izin olmadan içine girilemeyen, bulunduğu meydanla ilişkisi görsel temas dışında sınırlanmış arkeolojik bir anıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Çağlar boyunca önemli tarihsel olaylara tanıklık etmiş, yapısal ve mekânsal değişimleri tarihin kaydını tutmuştur. Bu anlamda yapıyı artırılmış gerçeklik teknolojisi yardımıyla erişilebilir kılmak, farklı alanlara ve belgelere dağılmış bu tanıklıkları ve değişimleri bir araya getirmek ve ziyaretçilere açmak önemli

görülmektedir. Tarihi yapılara yönelik AG ve SG çalışmaları uzun yıllardır gündemdedir. Bu alanda yapılan araştırmalara sonraki bölümde değinilmiştir.

1.4. Tarihi Alanlarda AG ve SG Araştırmaları (AR and VR Research in Historical Areas)

Literatürde SG ve AG uygulamalarının kültürel mirasa yönelik çalışmalarda kullanıldığı araştırmalar mevcuttur [16, 18, 20]. SG ile yapının orijinal hali deneyimlenmeye çalışıldığında, kullanıcı tamamen sanal bir çevrede, bağlamından kopmuş bir 3B model ile etkileşime geçmekte, gerçek dünya sanal, yeniden yaratılmış bir dünya ile yer değiştirmektedir. AG ile yapının orijinal hali deneyimlenmeye çalışıldığında ise, mevcut bina kalıntılarının üzerine yeni bir sanal katman ile yapının 3B modeli yansıtılmakta, böylece gerçek çevrede, yapıyı kendi bağlamından koparmadan inceleme fırsatı kullanıcılara sunulmaktadır. Açık hava kullanımında, artırılmış gerçeklik uygulamaları, sanal gerçekliğe göre daha ulaşılabilir ve kullanılması daha kolaydır. Kamerası olan ve yeterli işlemci gücüne sahip cep telefonu ve tablet bilgisayarlar ile artırılmış gerçeklik uygulamaları kullanılabilir. Kişisel cihaza yüklü uygulama, ziyaret edilecek kültürel mirasın gerçek görüntüsü üzerine orijinal 3 boyutlu modelini yansıtarak cihaz ekranında beraber gösterebilir, uygulama ara yüzü ile bilgi ve belge aktarımı sağlanabilir.

Tarihle empatik ilişki kurulması üzerine yapılan bir araştırma, AG uygulaması için nokta bulutu teknolojisi kullanılmış fakat yapı için ayrıca bir 3B model oluşturulmamıştır [28]. Yapının mevcut durumunun 3B modelinin nokta bulutundan elde edilmeye çalışılması uygulamada problemlere yol açmıştır. Başka bir çalışmada ise tarihi yapının mevcut durumunu AG uygulamasına aktarmak için GPS tabanlı bir takip (tracking) sistemi kullanılmış, GPS verisi tarihi yapı üzerinde uçan bir insansız hava aracı (drone) tarafından sağlanmıştır [29]. GPS verisinin insansız hava aracı ile kullanıcı mobil cihazına iletilmesi hava koşullarının uygunluğuna ve insansız hava aracının havada kalma süresine bağlı olduğundan mobil cihazın kendi takip sistemine sahip olması daha kullanışlı bulunmuştur. AG uygulamalarını kültürel miras alanlarında farklı mobil cihazlar üzerinden kullanan diğer bir araştırmada [30] taşınabilir bilgisayar, kalemlili tablet bilgisayar ve kişisel mobil cihazlar karşılaştırılmış ve kullanım kolaylığı, hafiflik ve boyutları dolayısı ile kişisel mobil cihazlar kullanıcılar tarafından tercih edilmiştir.

AG teknolojisi, yapının belgelenmesi, temsili, korunması, tanınırlığının artması gibi çeşitli amaçlara hizmet eder. Bu doğrultuda, yapıların 3B yeniden üretimi ve dijitalleştirilmesi için olan yöntem ve yaklaşımlar önem kazanmıştır. Teknolojideki gelişmeler sayesinde yüksek çözünürlüklü 3B modelleme tekniklerinin sayısı son dönemde önemli ölçüde artmıştır [16]. Var olan yapıların modellenmesinde temassız ve temassız olarak ayrılabilir iki yaklaşım görülmektedir. Temassız yöntemlerde; koordinat ölçüm makineleri, pergeller,

geometrik kurallar ve geleneksel çizim yöntemleri kullanılırken; temassız yöntemlerde Röntgen, SAR, fotogrametri ve lazer tarama gibi araçlar kullanılır. Yüksek hız ve doğruluk sağladığı için, günümüzde 3B model üretimleri geleneksel temassız yöntemler yerine genellikle ışık dalgalarına dayalı temassız sistemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir [17].

AG ortamına gelindiğinde, kültürel miras yapılarının 3B sanal yapılandırma sürecinde dört ana aşama takip edilir: Modelleme (Reconstruction), Yerleştirme (Registration), Görselleştirme (Rendering) ve Oryantasyon Takibi (Position-Orientation tracking) [18]. Modelleme, var olan yapının işlenerek dijital ortama aktarılma aşamasıdır. Yerleştirme, alandaki gerçek ve sanal unsurların hizalanması anlamına gelir. Hassasiyet gerektirmesi sebebiyle, bu sürecin en zorlu kısımlarından biri olarak kabul edilir [19]. Sanal unsurlar ve mevcut yapı arasındaki ilişkinin ve 3B modelin yerleşiminin doğruluğu için çeşitli takip (tracking) araçları kullanılır. Bunlardan bazıları; işaretli izleme (markerless tracking), konum-oryantasyon izleme (position-orientation tracking), SLAM (simultaneous localization and mapping), LCD projektörler ve QR kod tabanlı AG sistemleri gibi yöntemlerdir [20]. Modelleme sürecinde tercih edilen teknik; yerleştirme, görselleştirme ve oryantasyon takibi süreçlerini de doğrudan etkiler. Bu sebeple modelleme aşaması için çeşitli teknikler ortaya çıkmıştır. Bu yöntemler kullandıkları kaynaklara göre Görüntü ve Tarama tabanlı modelleme olarak ikiye ayrılabilir:

Görüntü tabanlı modelleme (Image-based modelling), 3B modellerin inşası için fotoğraf ve video gibi görüntülerin kullanılmasını ifade eder. 2B görüntülerden matematiksel bir model aracılığı ile gölgeleme, doku, yansıma, kontur gibi elementleri kullanarak 3B veriler üretir. Üretilen içerik nokta bulut sistemi veya çokgen geometri formatlarında depolanabilir [18]. Bu yöntem için kullanılan araçlardan bazıları Autodesk 123D Catch ve Agisoft Metashape'dir. Görüntü tabanlı görselleştirme (Image-based rendering) ise görselleri hem modelleme hem de görselleştirme (rendering) aracı olarak kullanarak, gerçeğe yakın ve hızlı modelleme için kullanılan bir tekniktir. Görsel girdileriyle çevreyi de içeren bir 3 boyutlu model üretir. Bu tekniğin iyi sonuç vermesi için çeşitli açılardan çok sayıda yakın ve uzak çekim görsel kullanılmalıdır. Fotogrametrik modelleme çoğunlukla topografik ve tematik haritalama uygulamaları için yüksek geometrik doğruluk sağlayan bir araçtır. Bu yöntemin ana faydası aynı anda hem geometri hem de yüzey dokusu sağlayabilmesidir [18]. Tarama tabanlı modelleme ise 3B geometrik bilginin doğrudan üretilebileceği, genellikle doku bilgisinden yoksun olan, ancak çoğu formun çok ayrıntılı ve kesin geometrisini verebilen lazer tarama gibi maliyetli sensör sistemlerine dayanmaktadır. Harici sistemlerle renk ve doku gibi verilerle eşleştirildiğinde verimli sonuçlar alınabilir [18]. Her koşulda doğru ve tek bir yöntem ya da uygulama olduğu söylenemez. Önerilen yöntemler, yapıların ayrıntılarını ve iş akışında belirli otomasyon düzeylerini yakalamak için çeşitli doğruluk, tutarlılık ve kolaylık derecelerine sahiptir. Bu sebeple, sıklıkla, farklı yöntemler

beraber kullanılmaktadır [18]. Üretilen sanal model, standart birlikte çalışabilirlik prosedürü olmadığından AG yazılımına doğrudan yüklenemez. Bu nedenle, üretilmiş modelin tüm geometrik verilerinin kullanılan AG aracı çerçevesinde uygun bir dosya formatına (3ds, VRML, X3D, vb.) dönüştürülmesi gerekmektedir [20]. AG uygulamasında kullanılacak 3 boyutlu sanal modellerin temiz geometrilere sahip olmaları önemlidir; haritalama işlemi her bir geometrinin tek tek işlenmesi ile yürütüldüğünden, modelin durumu dışı aktarım sürecinin kalitesini etkiler [16].

Dönüştürülen formatlar çeşitli detaylarda bilgi ve koşullar içerebilirler. Tarihi miras yapılarının içerik ve geometrik anlamdaki zenginliği, üretilen 3B modellerin barındırabileceği bilgi düzeyi konusunda farklı tartışmalara yol açmıştır. Bu doğrultuda araştırmacılar [21], kültürel miras dokümantasyonu alanı ile Yapı Bilgisi Modelleme (YBM) yaklaşımının entegrasyonu için Tarihi Yapı Bilgisi Modellemesi (TYBM) kavramını gündeme getirmişlerdir. YBM'nin bir açılımı, özeleşmiş bir alanı olarak işlev gören TYBM; tarihi verilerden beslenerek oluşturulmuş parametrik nesnelere, önceden toplanmış 3B geometrik verilerle eşleştirilmesi için geliştirilmiş bir sistemdir [22]. TYBM oluşturduğu parametrik kütüphane ile mimari mirası anlamak, belgelemek ve müdahale etmek için yeni yaklaşım potansiyelleri doğurmaktadır [23]. AG teknolojisi de bir bilgi yönetim aracı olan TYBM sistemine bağlandığında, kullanıcı etkileşiminde yeni fırsatlar sunmaktadır. Çeşitli bilgi türlerini içeren veri tabanı TYBM, AG ortamında kullanıcıların bilgileri yönetmesine, özümsemesine ve onlarla etkileşime geçmesine olanak tanır [24].

Tarihi miras alanlarında TYBM kullanımının; yapının doku, form ve kütlesi ile ilgili kapsamlı bilgi edinebilmek, çeşitli zaman periyotlarına ve bilgilere eş zamanlı temas edebilmek, yapı üzerinde oluşmuş değişimler ve stratejilerin dokümantasyonunu oluşturmak gibi önemli avantajları bulunmaktadır [25]. Diğer yandan geliştirilmesi gereken yanları da göz ardı edilmemelidir. Öğelerin tekrarı, bileşenlerin standardizasyonu gibi durumlar YBM için temel bir özelliktir. Bu doğrultuda TYBM kullanımının en büyük handikaplarından biri, tarihi yapıların özgün, ayrıntılı ve değişken elemanlarının YBM şartlarında tekrar üretimi sürecidir. TYBM doğası gereği mevcut durumun temsil edilmesinden ziyade ideal ve yontulmuş bir model üretimine yönelmektedir [23]. Kültürel miras için kullanılan YBM araçlarından bazıları Autodesk Revit, GraphiSoft ArchiCAD, Bentley MicroStation V8i ve Tekla Structures'dir [22]. Özellikle TYBM için; modelleme yazılımlarının birlikte çalışabilirliği, farklı formatların özelliklerini optimize etmek için önemli bir unsurdur [26]. Her dosya formatı YBM nesnelere girilen tüm bilgilerin kapsamlı bir şekilde iletilmesine izin vermez. “. DWG, SAT, ACIS” gibi formatlar YBM modelini bir coğrafi bilgi modeline dönüştürürken, “. DWF, IFC” gibi formatlar, TYBM'e uygun olarak bilgi paylaşımını artırmak için geliştirilmiştir [27]. Çalışmada veri paylaşımı kullanılan Wikitude platformu sahip olduğu altyapıyı kullanarak dosya çevrimini sağlamaktadır.

2. YÖNTEM (METHOD)

2.1. AG Teknolojisi / SLAM (AR Technology/ SLAM)

AG uygulamalarında, sanal nesnelere ve gerçek uzay (ses, fotoğraf, video), yüksek hesaplama gücü kullanarak üst üste bindirilmektedir. AG yöntemleri önceleri daha çok eğitim, reklam, navigasyon gibi bilişim teknolojilerinin yoğun olarak kullanıldığı alanlarda konumlanmışlardır. AG uygulamalarının, donanımın ve yazılımın her geçen gün büyük bir hızla geliştiği sağlık, inşaat, gıda, otomotiv gibi sektörlerde de giderek daha önemli bir rol aldığı görülmektedir. Son zamanlarda ise restorasyon, yeniden yapılanma gibi alanlarında da oldukça etkilidir. Bir binanın henüz inşaatına başlanmadan bitince nasıl gözükeceği, tamamı ya da bir kısmı yıkılmış, zarara uğramış binaların eskiden nasıl gözüktüğü artırılmış gerçeklik yoluyla tespit edilebilir. Bu işlemler AG teknolojisinin SLAM yöntemlerini kullanarak gerçekleştirilir. Eş zamanlı lokalizasyon ve haritalama algoritmaları bulunan ortamın 3B haritasını çıkarmaya çalışır ve hareket ettikçe bu uzayı genişletmeye devam eder. Otonom bir robotun bulunduğu ortam hakkında bilgisi olmadan keşif yapmasından başlayarak, alacağımız bir mobilyanın evimizde nasıl gözükeceğine önceden bakabilmeye kadar pek çok kullanım alanı bulunan bu algoritmalar oldukça maliyetli işlemler içermektedir. Kullanılan ürünler ve kütüphaneler bu süreci geliştiren donanım sistemlerinin gücünü kullanarak hafifletmektedirler.

Konumlandırma, AG uygulamalarında karşılaşılan zorlukların başında gelmektedir. Gerçek dünyanın üzerine eklenecek sanal içeriği doğru şekilde konumlandırıp hizalayabilmek için, kullanıcının (kameranın) pozu belli bir koordinat sisteminde üç eksene göre döndürme (rotation) ve her bir eksenindeki yer değiştirme (translation) parametrelerini içeren 6 serbestlik derecesi (6DOF) belirlenmelidir. Bu pozu hesaplamak için işaretçi-tabanlı (marker-based) görsel takip (visual tracking) metodları, sensör-tabanlı metodlar ve SLAM gibi işaretçi kullanmayan görsel takip yöntemleri geliştirilmiştir. İşaretçi-tabanlı yöntemler oldukça doğru poz tahminleri yapabiliyor olsa da geniş alanlı dış mekânlarda yerleştirilecek işaretçilerin (markers) çok sayıda ve oldukça büyük boyutlarda olmaları gerektiğinden kullanışlı olmamaktadırlar. Sensör-tabanlı yöntemlerde poz tahmininde kesinlik istenilen düzeyde değildir. Diğer taraftan bilgisayarla görü algoritmalarına dayanan marker kullanmayan görsel takip ve SLAM yöntemleri ise oldukça maliyetli işlemler içermekte ve işlemci gücü ve diğer donanım gereksinimleri mobil cihazları zorlayabilmektedir. Fakat mobil cihazlarda gittikçe gelişen donanım özellikleri son yıllarda bu zorlukları azaltmıştır.

2.2. Wikitude ve Vuforia Platformları (Wikitude and Vuforia Platforms)

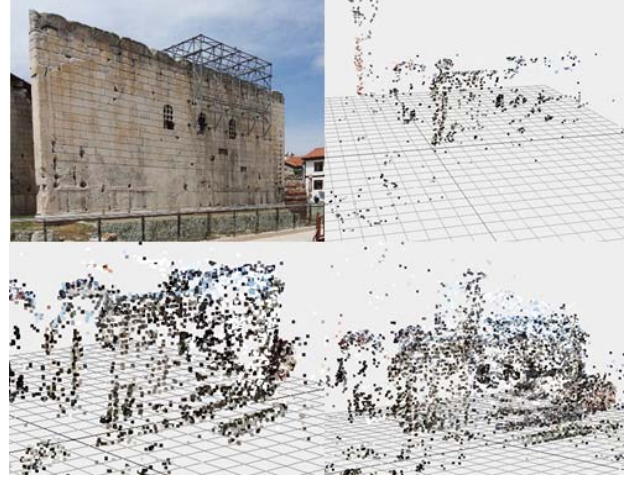
Çalışma kapsamında SLAM tabanlı platformlar olan Vuforia ve Wikitude incelenmiştir. SLAM eş zamanlı lokalizasyon ve haritalama algoritmaları çalıştırarak ortamın 3 boyutlu

haritasını çıkarmaya çalışır ve kamera hareket ettikçe haritayı genişletmeye devam eder. Vuforia tanıma işlevini tanımak istenen nesnenin 3 boyutlu modeli üzerinden gerçekleştirmektedir. Arka planda çalışan algoritmalar modelin belli bir yer ve açıdan çekilen 2B görüntüsünü çıkarır. Kameradan o açı ile bakıldığında Vuforia nesneyi tanıyıp ve nesne kamera açısından çıkmadığı veya nesneye farklı bir açı ile bakılmadığı sürece tanıma devam eder. Tanıma için 3B modeller kullanılması sayesinde ışıktan çok az derecede etkilenir ve nesnenin boyutu tanıma için bir etken olmaktan çıkar. 3B model, detaylarıyla birlikte gerçeğe ne kadar yakın olursa tanıma ve lokalizasyon aşaması o kadar başarılı olur. Dolayısıyla Vuforia modellemedeki hata veya eksiklere karşı oldukça hassastır.

Wikitude platformu nesne ve sahne (scene) tanıma özelliği fotoğraflarla çalışır. Artırılmış Gerçeklik uygulamamızda kullanılan SLAM teknolojisinde başlatma/tanıma (initialization) ve takip (tracking) aşamaları bulunmaktadır. Wikitude başlatma/tanıma aşamasını nesnenin farklı açılardan çekilmiş fotoğraflarını kullanarak ürettiği nokta bulutunu kullanarak gerçekleştirmektedir. Wikitude'un nesnenin birçok açıdan çekilmiş fotoğraflarıyla oluşturduğu nokta bulutu (point cloud) kullanımı sayesinde gerçek nesne ile 3B modellenen sanal nesnenin hata veya eksiklerine karşı lokalizasyon aşamasında daha başarılıdır. Öte yandan Wikitude tanıma algoritmaları ortamdaki ışıktan, ışığa bağlı gölge ve aydınlık alanlardan etkilenmektedir. Augustus Tapınağı için Vuforia platformunun kullanılması halinde detaylı bir 3B model gerekeceği ve detaylı modellemenin araştırmanın kapsamını aşacağı öngörülmüştür. Araştırmanın bu safhasında karşılaşılan sorunlar ve literatür taraması, gelecekte, mobil artırılmış gerçeklik uygulamaları için verimli ve yeterli detaya sahip 3B model geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Yapılan araştırma ve tartışmaların ışığında, Wikitude platformunun; nesne boyutunu aşan, yapı ölçeğindeki uygulama alanlarında daha başarılı çalıştığı sonucuna varılmış ve araştırmada bu platform tercih edilmiştir.

2.2.1. Nokta bulutu oluşturma (Creating the point cloud)

Çalışmanın ilk aşamasında Augustus Tapınağı'nın günün farklı saatlerinde, farklı gün ışığı koşullarında fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen fotoğraflar kullanılarak Wikitude Studio web ara yüzü yardımıyla Augustus Tapınağı'nın nokta bulutu oluşturulmuştur. Augustus Tapınağı oldukça büyük, birçok detay içeren, gördüğü hasar ve yıkımlar sebebi ile üzerinde destekleyici metal bir iskeletin bulunduğu bir yapı olmasından dolayı, yapının nokta bulutunu çıkarmak daha küçük ve karmaşık olmayan nesnelere göre daha zordur. Wikitude Studio ilk aşamada nokta bulutu oluşturmak için en fazla 50 fotoğraf kabul etmektedir, bu nedenle Augustus Tapınağı gibi karmaşık bir nesne için ortaya çıkan ilk nokta bulutu yeterince detay kapsamamaktadır. Fakat, Wikitude Studio'nun Nesne Genişletme (Extend Object) özelliğini kullanarak bu ilk nokta bulutunu farklı açılardan çekilmiş çok sayıda görsel ile genişletmek mümkün olmuştur. Şekil 4'te tapınağın ön duvarının bir fotoğrafı ve farklı sayılarda fotoğraflarla genişletilen nokta bulutları gösterilmiştir.



Şekil 4. Augustus Tapınağı ön duvarının fotoğrafı (sol üst) ve sırasıyla 74, 152, ve 238 fotoğraf ile oluşturulan nokta bulutları

(Photograph of the front wall of the Temple of Augustus (top left) and point clouds created with 74, 152, and 238 photographs respectively)

Oluşturulan nokta bulutu Augustus Tapınağı'nı tanımak için 3B işaretleyici (marker) olarak kullanılır. Tanıma aşamasında karşılaşılan önemli problemlerden biri tanıma başarısının o günkü gün ışığı seviyesine göre farklılaşması olmuştur. Örneğin nokta bulutu oluşturmak için kullanılan fotoğraflar az güneşli bir günde çekildiğinde, daha güneşli bir günde yapılan tanıma, yerleştirme ve görselleştirme testlerinde Wikitude tapınağı tanımakta zorlanmıştır. Nokta bulutu oluşturmakta kullanılan fotoğrafları güneş ışığının farklı seviyelerde olduğu zamanlarda çekilmiş fotoğraflarla çeşitlendirerek bu problemi çözmek mümkün olmuştur.

2.2.2. Tanıma, takip ve dönüştürme hizalama

(Recognition, tracking, and conversion alignment)

Uygulama çalıştırıldığında Wikitude kameradan aldığı gerçek dünyanın görüntüsünü, oluşturulmuş olan nokta bulutu ile eşleştirmeye çalışır. Tanımanın gerçekleştiği andaki kamera pozunu tahmini, istenen sanal nesneyi doğru dönüşümleri (transform) kullanarak yerleştirmeye olanak sağlar. Nokta bulutu ile gerçek dünya arasında bir eşleşme bulunduğunda Wikitude lokalizasyonu başlatır ve gerçek dünyanın bir sanal haritasını çıkarır. Bu sayede kamera hareket etse dahi nesne bakış açısından çıkmadığı sürece nesneyi kısmen tanımaya devam eder ve cihazı, maliyeti yüksek algoritmalar çalıştıran tanıma aşamasını tekrar tekrar yapmak zorunda bırakmaz.

Wikitude platformunun sahip olduğu geri çağırma (callback) fonksiyonları, nesne tanındığında veya nesne bakış açısından çıktığında devreye girer ve nesneye hangi açı ve konumdan ve ne kadar uzaklıktan bakıldığına dair bilgiler içerir. Bu bilgiler kullanılarak tapınağın sanal restitüsyon modeli gerçek dünya üzerine doğru şekilde hizalanmış şekilde yerleştirilerek görüntülenebilir. Fakat bu hizalama sürecinde bakış açısında hatalar, konumda kaymalar veya uzaklık hatalarından kaynaklı boyut farklılıkları söz konusu olabilir.

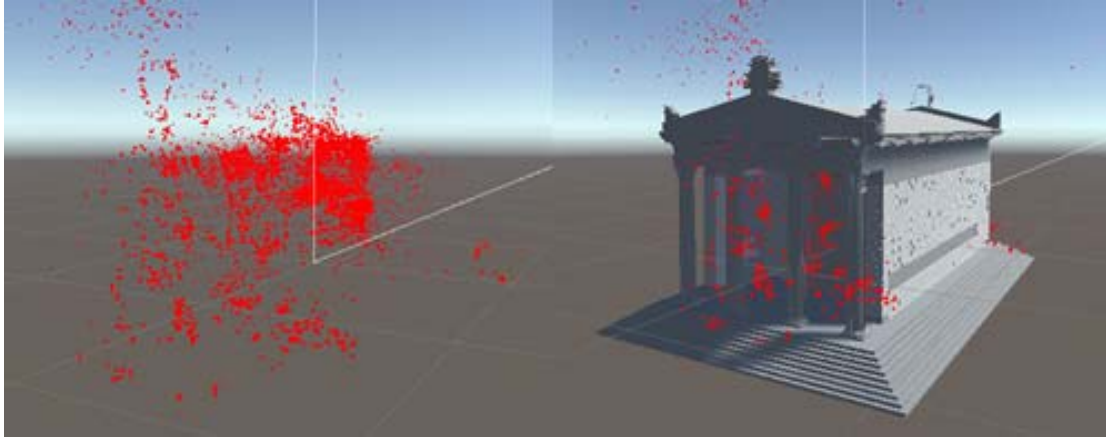
Bu hataları en aza indirebilmek için Wikitude nokta bulutunun Unity içerisinde gösterilmesine olanak sağlamak, sanal tapınak modeli ile nokta bulutu Unity içerisinde eşleştirilebilmektedir.

Şekil 5'te solda görülen nokta bulutunun yoğun olduğu kısım tapınağın ön duvarıdır ve sanal model ile nokta bulutunun eşleşmediği sağdaki görselde görülmektedir. Şekil 6'da ise "transform" değerleri değiştirilerek model ve nokta bulutu hizalanmaya (ön duvarı referans noktası olarak kullanarak) çalışılmıştır.

Şekil 7'de tapınağa ön duvarı gören farklı konum ve açılardan bakıldığında sanal modelin (farklı restitüsyon dönemlerine ait) yerleştirilmiş hali görülebilir. Uygulamada karşılaşılan en büyük problemlerden biri 360° lokalizasyonda, bir başka deyişle her açıdan doğru başlatma işleminde ve lokalizasyonunun gerçekleştirilmesinde yaşanmıştır. "Transform" değerleri tapınak modeli ile nokta bulutu hizalanacak şekilde sabitlendikten sonra, ön duvara

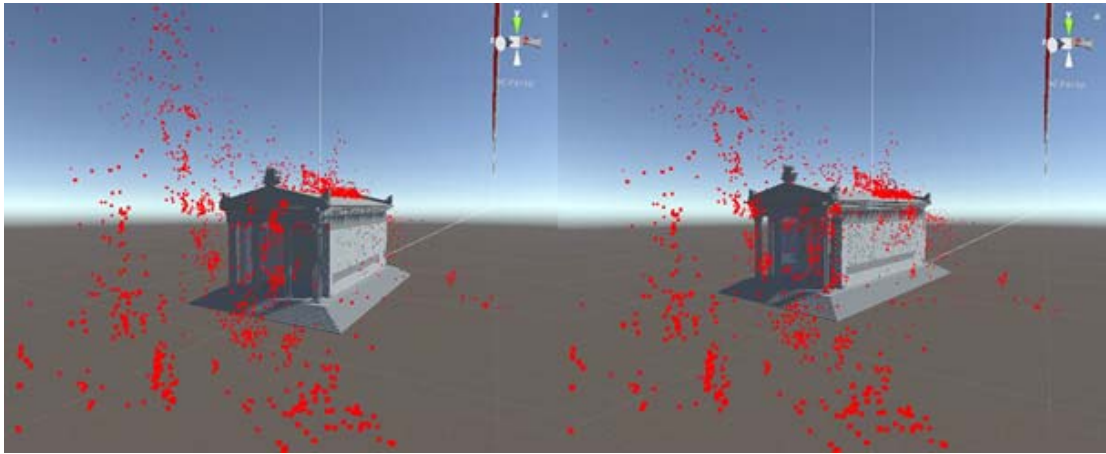
bakan bir yönden başlanarak kamera hareket ettirildiğinde başarılı bir yerleştirme ve takip sağlanmış, fakat tapınağa *arka duvar* tarafından bakıldığında, yerleştirmenin başarılı olmadığı fark edilmiştir (Şekil 8). Nokta bulutu incelendiğinde, arka duvarın üç boyutlu uzaydaki görüntüsünün, ön duvarın kadar yoğunluklu çıkarılmadığı görülmüştür (Şekil 9 ve Şekil 10).

Bu problemi çözmek için sadece arka duvar için, detay içeren fotoğraflarla yeni bir nokta bulutu oluşturulmuştur. Fakat Wikitude'un bu duvar için nokta bulutu oluşturma aşamasında yine başarısız kaldığı görülmüştür (Şekil 11). Nesne genişletme özelliğine yönelik fazla fotoğraf sunulduğunda ise Wikitude Studio, o açıdan fotoğrafın önceden verildiğini, farklı açılardan fotoğraf sunulması gerektiği şeklinde uyarı vermektedir. Bu durumun, arka duvarın bazı özelliklerinden kaynaklandığı sonucu çıkarılabilir. Arka duvarda, nokta bulutu oluşturmada etkin olan renk karşıtlıkları, pencereler gibi fiziksel farklılaşmalar daha azdır.



Şekil 5. Unity içinden görüntülenen nokta bulutu (solda) ve "transform" değerleri değiştirilmeden önce üzerine yerleştirilen sanal tapınak modeli (sağda)

(The point cloud -left- viewed from within Unity and the virtual temple model placed on it before the "transform" values are changed -right)

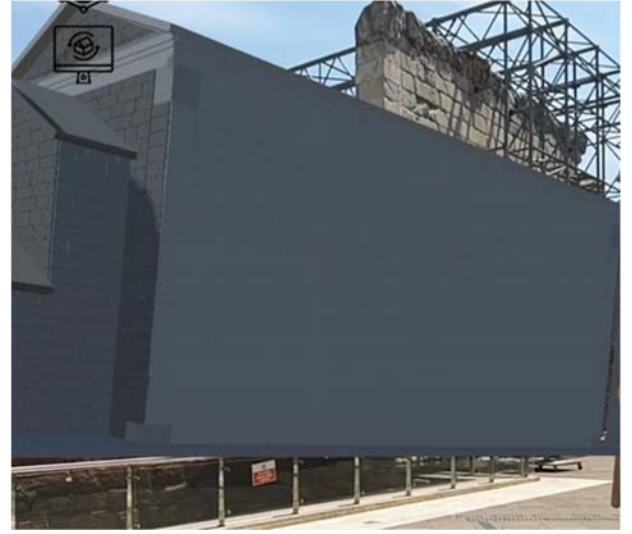


Şekil 6. Transform" değerleri değiştirildikten sonra (soldaki görselde boyutu, sağdaki görselde boyutu ve açılarını) sanal tapınak modeli ile nokta bulutunun görünümü

(View of the point cloud with the virtual temple model after changing the transform values (see the image on the left for the dimensions; for the angles and dimensions image on the right)



Şekil 7. Tapınağın ön duvar boyunca lokalizasyonu
(The localization of the temple along the front wall)



Şekil 8. Tapınağın arka cephesinde 3B model doğru konuma yerleşmiyor.
(A the back elevation of the Temple, the 3D model cannot be superposed on the image)

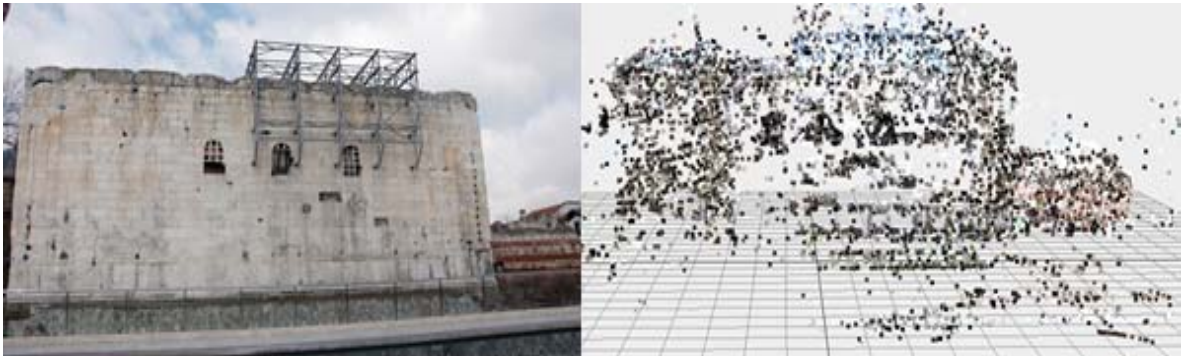
(A the back elevation of the Temple, the 3D model cannot be superposed on the image)

2.2.3. Android uygulaması (Android application)

Oyun motoru olarak Unity ve Artırılmış Gerçeklik teknolojisi olarak Wikitude ürünü kullanılan Android uygulamasında, SLAM teknolojisiyle Augustus Tapınağı



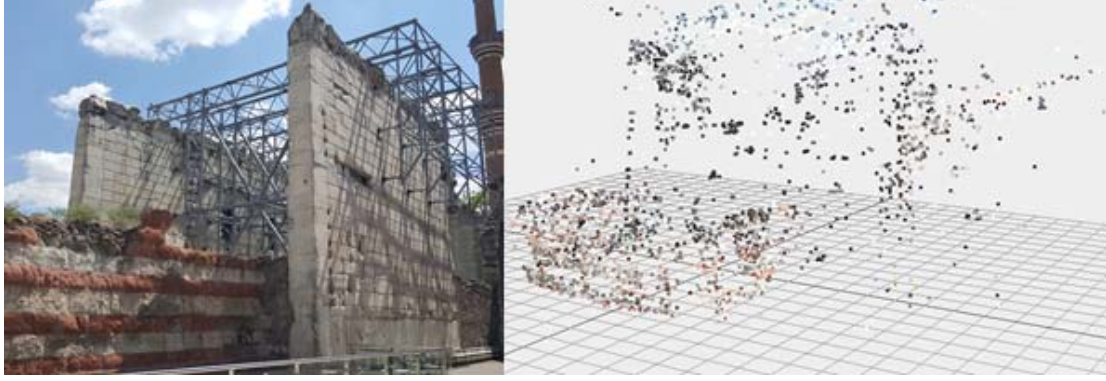
Şekil 9. Ön duvarın fotoğrafı ve tapınağın aynı açıdan nokta bulutu
(Photograph of the front wall and point cloud of the temple from the same angle)



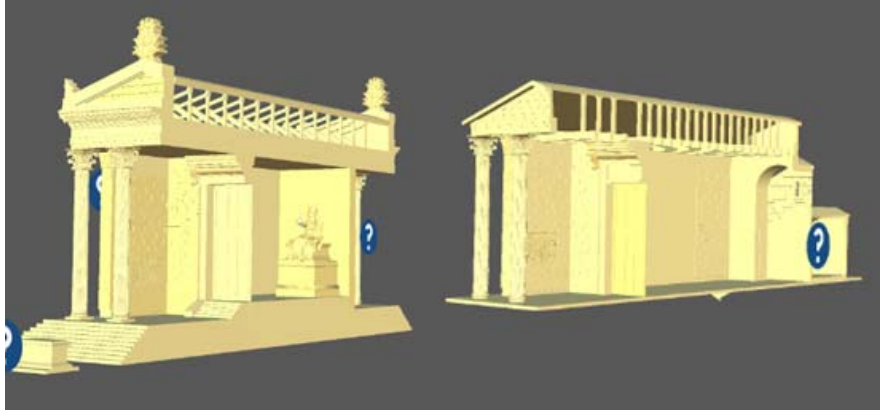
Şekil 10. Tapınağın fotoğrafı ve aynı açıdan nokta bulutu (Photo of the temple and point cloud from the same angle)

üzerine sanal model yerleştirilmiştir. Uygulama içinde, tapınağın üç farklı dönemine ait 3B görselleri de (render) görüntülenebilmektedir (Şekil 12). Uygulama içerisinde Augustus Tapınağı'nın farklı dönemlerine dair bilgilerin görüntülenebileceği iki alan bulunmaktadır. Model

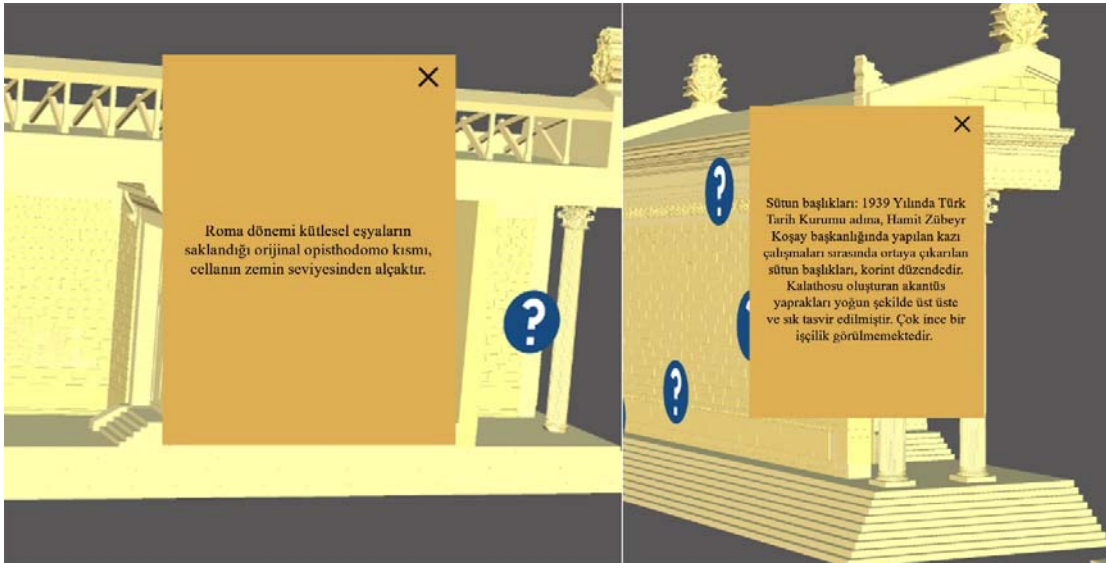
görüntüleyici içerisinde bazı noktalara soru işaretleri yerleştirilmiştir. Bir soru işaretine tıkladığında o bilinirlik dönemine ve yapının o bölümüne dair bilgi veya dönemler arasında o bölümünde nasıl bir değişiklik meydana geldiği hakkında bilgiler görüntülenebilmektedir (Şekil 13). Aynı



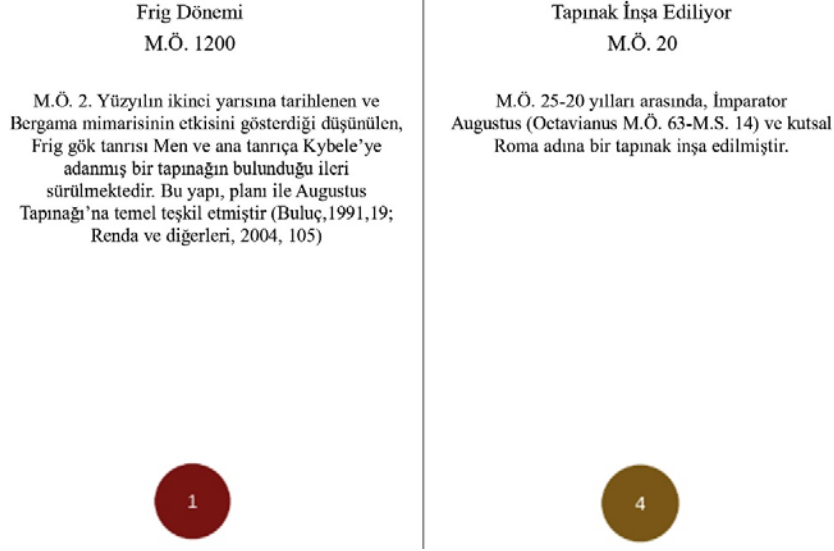
Şekil 11. Arka duvarın fotoğrafı ve sadece arka duvar için oluşturulmuş nokta bulutu
(Photo of the back wall and point cloud created for the back wall only)



Şekil 12. 3B model görüntüleyicisi (3D model viewer)



Şekil 13. Model görüntüleyicisi içinde açılan kutucuklarda tapınağa dair bilgiler görüntülenebilmektedir
(Pop-up information boxes in the model viewer)



Şekil 14. Yalnızca bilgilerin görüntülenebildiği ara yüz (Interface where only information can be viewed)

Tablo 1. Uygulamada gözlenen yaklaşık kare hızı değerleri (FPS) (Approximate frame rate values (FPS) observed in practice)

	Model Görüntüleyici	Restitüsyon 1 AR	Restitüsyon 2 AR	Restitüsyon 3 AR
Ortalama	60	20	10	20
En Yüksek	60	25	11	30
En Düşük	59	19	9	19

zamanda yıl bazında bilgiler içeren bir ara yüz bulunmaktadır (Şekil 14). Geliştirilen uygulama *Samsung Galaxy Tab S5e* cihazı üzerinde test edilmiştir. Wikitude Nesne Takip Etme ve Sahne Tanıma özelliklerinin hızlı bir şekilde çalışabilmesi için minimum Android 5.0 (API Level 21), OpenGL 2.0 (ya da daha yüksek), ve yüksek çözünürlüğe ve dört çekirdeğe sahip bir cihaz gerekmektedir. *Galaxy Tab S5e* bu özelliklere sahip ve yüksek performanslı bir cihaz olduğu için Artırılmış Gerçeklik algoritmaları hızlı bir şekilde tanıma aşamasından geçip lokalizasyon aşamasını çalıştırabilmektedir. Fbx formatında tutulan 3 boyutlu restitüsyon modellerinin bazılarında çok yüksek sayıda çokgen (polygon) bulunduğu için uygulamada anlık yavaşlamalar yaşanabilmektedir. Geliştirme aşamasında Unity 2018.4.22f1, Wikitude Studio Editor, Wikitude SDK 8.2 ve 9.3 versiyonları kullanılmıştır. Aşağıdaki tabloda AG uygulamasının farklı restitüsyon modelleri için çalıştırıldığı sırada görülen yaklaşık kare hızları (frame rate) verilmiştir.

3. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma, tarihi, kültürel ve arkeolojik değeri olan ancak çeşitli nedenlerle fiziksel-yapısal bütünlüğünü kaybetmiş mimari kültürel mirasa yönelik, kişiselleştirmeye elverişli yaygın ve serbest öğrenme için uygun artırılmış gerçeklik tabanlı bir ortam ve buna uygun içerik geliştirme amacıyla yürütülmüştür. Çalışmada Vuforia ve Wikitude artırılmış gerçeklik platformları incelenmiştir. Yapı ya da nesnenin birçok açıdan çekilmiş fotoğraflarıyla oluşturulan nokta bulutu (point cloud) sayesinde tanıma aşaması lokalizasyon

sürecinde daha başarılı olması, büyük nesnelere ve sahneler üzerinde daha verimli sonuçlar vermesi nedeniyle Wikitude platformu kullanılmıştır.

Çalışmanın örneği olarak Ankara'nın önemli tarihi alanlarından biri olan Roma Dönemi yapısı Augustus Tapınağı seçilmiştir. 2000 yıllık geçmişi olan Tapınak zaman içinde fiziksel olarak büyük zarar görmüş, yapısal bütünlüğünü yitirmiştir. Günümüzde kuzey-batı duvarı çelik iskelet ile korumaya alınmıştır. Yapının içine yasal izinle girilebilmektedir. Çevresinde koruma amaçlı bariyerler bulunmaktadır. Yapı bu özelliklerinden dolayı araştırma için uygun bir yapıdır. Augustus Tapınağı ve parçası olduğu Hacıbayram bölgesi Ankara'nın en önemli ve en canlı tarihi ve kültürel alanlarından biridir. Komşusu olduğu Hacı Bayram-ı Veli Camii ile farklı yaş grupları için arkeolojik bir anıt olarak ilgi odağı, farklı eğitim kademelerinden ve üniversite programlarından öğrenciler ve meslek gruplarından profesyoneller için öğrenme içeriği ve bilgi kaynağıdır.

Çalışmada kullanılan Wikitude platformu, artırılmış gerçeklik uygulamaları geliştirmek için ortam ve araç sağlayan ticari bir platformdur. Wikitude, akademik kurumlar, eğitimciler ve öğrenciler için ticari olmayan lisans seçeneği sunmaktadır. Bu seçenek için başvurulmuş ve eğitim lisansı alınmıştır. Lisans süresi bir yıldır ve tek bir platform için 200 kişiye kadar dağıtılabilecek bir uygulama geliştirme (iOS, Android veya Windows) izni vermektedir. Çalışmanın sonunda, fiziksel olarak zarar görmüş mimari bir

yapının, coğrafi konum tabanlı 3B modele dayalı artırılmış gerçeklik teknolojisi (geographical location based augmented reality) yardımı ile bütün olarak algılanabilir ve uygun içerik yardımıyla yerinde deneyimlenebilir hale getirilmesi hedefine ulaşılmıştır. Tanıma, takip ve dönüşüm, hizalama ve geri çağırma işlevleri başarıyla çalıştırılmış, hareketli izleyici / kamera açısına göre doğru konumlanma ve görselleştirme sağlanmıştır.

Çalışma, karma ve sanal gerçeklik için üretilen 3B modelin salt geometrik bir model olarak görülmemesi gerektiğini, tıpkı mirasın kendisi gibi üretilen modelin de katmanlardan oluşan bilgi biçimi olduğunu göstermiştir. Arkeolojik, sosyal, kültürel, ekonomik katmanlar içeren bu bilginin bir araya getirilmesi tarihi yapı bilgisi modelleme olarak adlandırılmaktadır. Çalışma, artırılmış ve sanal gerçeklik teknolojileri için hızlı tanıma ve görselleştirme sağlayan detaysız 3B modellerin yapıların orijinal hallerinin temsili ve turizm amaçlı içerik üretimi için uygun olmakla birlikte akademik – bilimsel çalışmalar, kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri için yetersiz olduğunu ortaya koymuştur. Geometrik ve semantik bilgi açısından zengin 3B sayısal modellerin, yazılım ve donanım anlamında gelişen, hafifleyen ve hızlanan karma gerçeklik teknolojilerine uyumunu araştırmaya ve geliştirmeye yönelik çalışmalara ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.

2019 yılı sonu itibariyle dünyayı saran ve hayatı her alanda kesintiye uğratan Covid-19 salgınıyla birlikte hayat boyu, en başta ve özellikle serbest öğrenme büyük önem ve ivme kazanmıştır. Salgın deneyimi, her bir bireyin uygun fiziksel mesafe içinde daha fazla veriye ve sosyal deneyime daha erişilebilir kılınmasını bir öncelik haline getirmiştir. Hayat boyu öğrenme, mekân ve zaman kısıtlarına bağlı kalmadan, örgün, yaygın ve serbest öğrenme ve deneyimlerin aralarında etkileşimli ve geçişken bir süreçtir. Bu süreçte bilişim teknolojilerinin hacmi ve işlevselliği de katlanarak artmaktadır. Sanal, artırılmış ve karıştırılmış gerçeklik teknoloji ve uygulamaları en hızlı gelişen alanlardan biridir. Bu teknolojiye dayanan uygulamalar iş birliği, iletişim ve eşgüdüm içinde düşünme, tasarım, üretim ve deneyim fırsatı ve ortam sağlamaktadır.

Bu araştırmanın sonuçları yapısal bütünlüğünü kaybetmiş hem yerel hem de küresel ölçekteki yapılar için uygulanabilir ve genişletilebilir. Bu çalışmanın yaygın etkisi üç ana başlık altında özetlenebilir: teknoloji kullanımı; yapı ve çevresi ile etkileşim, tarihi yapı bilgisi modellemeyle birlikte çalışabilirlik. İlk yaygın etkide; günden güne gelişen ve yaşamın her alanında var olan mobil teknolojilerin kullanımı sayesinde; gelişen ve ulaşılması kolaylaşan teknolojilerle birlikte tarihi yapılar yerinde, orijinal halleri ve farklı çağlardaki durumları ile sergilenebilmektedir. Bu durum kültürel mirasın belgelenmesinde, korunmasında ve aktarılmasında önemli bir etkiye sahip olacaktır. Alan uzmanlarının (arkeologlar, müze eğitimcileri, mimarlık ve sanat tarihçileri, vb.) bu teknolojilere erişimlerinin artması, bu uygulamalara yönelik geliştirmeleri, hatta Wikitude ve Vuforia gibi platformları kullanarak kendi uygulama ve ara

yüzlerini hazırlamaları mümkündür. İkinci olarak, geliştirilecek çok katmanlı ara yüzler sayesinde yapının sadece malzemesi, formu veya üzerindeki kitabesi değil, aynı zamanda hareketli grafikler ile zenginleştirilecek animasyonlar ile yapının zaman içinde çevresi ile nasıl bir etkileşim ve değişim içinde olduğu da gözlemlenebilir. Bu ara yüzler eğitim ve turizm alanları için güçlü bir potansiyel içermektedir. Araştırmanın üçüncü ve son yaygın etkisinin, yapı bilgisi modellerinin mobil cihazlar ve uygulamalar ile çalışabilirliğine yönelik olacağı öngörülmektedir. Yapı bilgisi modelinin, mobil cihazlar ve uygulamalara uyumlu hale gelmesi için araştırmalar yapılmasında fayda görülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Buluç S., İlkçağda Ankara, Ankara Dergisi, Mayıs, 13-28, 1991.
2. Renda G., Durukan A., Öztan Y., Erkman M., Ankara: Başkentin Tarihi, Arkeolojisi ve Mimarisi, Editör: Erpolat M.S. ve Eser E., Ankara Enstitüsü Vakfı, Ankara, 7-105, 2004.
3. Erzen A., İlkçağda Ankara, TTK Yayınları, Ankara, 43-53, 2010.
4. Eyice S., Ankara'nın Eski Bir Resmi, Atatürk Konferansları, Cilt 4, Türk Tarih Kurumu, Ankara, 69-145, 1972.
5. Dernschwam H., Tagebuch einer Reise nach Konstantinopel und Kleinasien (1553-55), Ed. Babinger F., Duncker & Humblot, München-Leipzig, 187-193, 1923.
6. Dernschwam H., İstanbul ve Anadolu'ya Seyahat Günlüğü, Çeviri: Önen Y., Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları, Ankara, 256-257, 1987.
7. Çelebi E., Evliya Çelebi Seyahatnâmesi, Çeviri: Danışman Z., Zuhuri Danışman Yayınevi, İstanbul, 1970.
8. Kadioğlu M., Gökay K. ve Mitchell S., Roma Döneminde Ankyra, Yapı Kredi Yayınları, İstanbul, 2011.
9. Tournefort J., Tournefort Seyahatnamesi, Cilt II, Editör: Yerasimos S., Çeviri: Berkay A. ve Tunçdoğan T., Kitap Yayınevi, İstanbul, 227-228, 2005.
10. Kinneir J. M., Journey Through Asia Minor, Armenia and Koordistan in the years 1813 and 1814, London: John Murray, 70-71, 1818.
11. Texier C., Küçük Asya Coğrafyası, Tarihi ve Arkeolojisi, Çeviri: Suat A., Ankara: Enformasyon ve Dokümantasyon Hizmetleri, 2002.
12. Akurgal E., Türkiye'nin kültür sorunları, Bilgi Yayınevi, Ankara, 1998.
13. Makridi T., Ankara Höyüklerindeki Hafriyata Dair Rapor, Maarif Vekâleti Mecmuası, 6, 35-45, 1926.
14. Koşay H. Z. ve Akok M., Türk Tarih Kurumu Tarafından Yapılan Büyük Güllücek Kazısı, 1947 ve 1949'daki Çalışmalar Hakkında İlk Rapor, Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara, 137-138, 1957.
15. Serin U. Bizans Ankarası ve Kaybolan Bir Kültür Mirası: 'St. Clement' Kilisesi, METU JFA, 31 (2), 65-92, 2014.

16. Clini P., Quattrini R., Frontoni E., Pierdicca R., Nespeca R., Real/not real: Pseudo-holography and augmented reality applications for cultural heritage, *Handbook of Research on Emerging Technologies for Digital Preservation and Information Modeling*, Eds.: Ippolito A. & Cigola M., IGI Global, 201–227, 2016.
17. Remondino, F., El-Hâkim, S., Image Based 3D Modeling: A Review, *The Photogrammetric Record*, 21 (115), 269–291, 2006.
18. Noh Z., Sunar M. S., Pan Z., A Review on Augmented Reality for Virtual Heritage System, *Learning by Playing Game-based Education System Design and Development*, 4th International Conference on E-Learning and Games Edutainment, Banff-Canada, 50–61, 9-11th August, 2009.
19. Azuma R. T., A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6 (4), 355–385, 1997.
20. Gîrbacia F., Butnariu S., Orman A. P., Postelnicu C. C., Virtual Restoration of Deteriorated Religious Heritage Objects Using Augmented Reality Technologies, *European Journal of Science and Theology*, 9 (2), 223–231, 2013.
21. Murphy M., McGovern E. ve Pavia S., Historic Building Information Modelling (HBIM), *Structural Survey*, 27 (4), 311–327, 2009.
22. Logothetis S., Delinasiou A., Stylianidis E., Building Information Modelling for Cultural Heritage: a Review, *ISPRS Annals of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2 (5W3), 177–183, 2015.
23. Attenni M., Informative Models for Architectural Heritage, *Heritage*, 2 (3), 2067–2089, 2019.
24. Lee J., Kim J., Ahn J., Woo W., Context-Aware Risk Management for Architectural Heritage Using Historic Building Information Modeling and Virtual Reality, *Journal of Cultural Heritage*, 38, 242–252, 2019.
25. Maddigan J., BIM and Heritage Conservation, HCF National Heritage Summit, Canadian Association of Heritage Professionals, October 11-13, 2012.
26. Banfi F., Building information modelling -A novel parametric modeling approach based on 3D surveys of historic architecture, *Digital Heritage*, Ed.: Ioannides M., *Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection*, 10058 LNCS, 116–127, 2016.
27. Banfi F., Brumana R., Stanga C., Extended Reality and Informative Models for the Architectural Heritage: From Scan-To-BIM Process to Virtual and Augmented Reality, *Virtual Archaeology Review*, 10 (21), 14–30, 2019.
28. Sweeney K., Newbill P., Ogle T., Terry K. Using Augmented Reality and Virtual Environments in Historic Places to Scaffold Historical Empathy, *TechTrends*, 62, 114–118, 2018.
29. Unal, M., Bostanci, E., Sertalp, E., Guzel, M.S., Kanwal, N. Geo-location based augmented reality application for cultural heritage using drones. In: 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), 1–4, 2018.
30. Vlahakis, V., Karigiannis, J., Tsotros, M., Gounaris, M., Almeida, L., Stricker, D., Gleue, T., Christou, I., Carlucci, R., Ioannidis, N. ARCHEOGUIDE: First results of an Augmented Reality. In: *Mobile Computing System in Cultural Heritage Sites, Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage International Symposium (VAST 2001)*, Glyfada, Nr Athens, Greece, 2001.