

## Mimarlık Öğrencilerinin Sanal Gerçeklik Ortamında Safranbolu Tabakhanesinde Rölöve Alma Deneyimi

Muhammed Yusuf KÜÇÜKKARA<sup>1\*</sup>, Kasım ÖZACAR<sup>2</sup>, Yasin ORTAKCI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bilgisayar Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

<sup>2,3</sup> Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

\*<sup>1</sup> muhammedkucukkara@subu.edu.tr, <sup>2</sup> kasimozacar@karabuk.edu.tr, <sup>3</sup> yasinortakci@karabuk.edu.tr

(Geliş/Received: 04/07/2023;

Kabul/Accepted: 25/10/2023)

**Öz:** Doğal afetler ve insan kaynaklı tahribatlar sebebi ile zarar gören tarihi yapılar ilk haline en yakın bir görünüme kavuşacak şekilde restore edilmektedir. Aynı zamanda mimarlık öğrencileri bu yapılar üzerinde restorasyon süreçlerini öğrenmek için araştırmalar yapmakta ve bilgi toplamaktadır. Fakat erişebilirliği kısıtlayan pandemi, hastalık, tehlike ve olumsuz hava gibi koşullar öğrencilerin bu yapılara erişmelerini engellemektedir. Bu çalışma, mimarlık öğrencilerinin restorasyon derslerinde tarihi yapıları inceleme sırasında yaşadıkları erişim zorluklarını Sanal Gerçeklik (SG) teknolojisinden faydalanarak gidermeyi ve özellikle öğrencilere uzaktan erişimle, restorasyon dersindeki ölçme tekniklerini sanal ortamda uygulamalı olarak öğretmeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, restorasyon öncesi veri toplama işlemi tamamlanmış olan Tarihi Safranbolu Tabakhane Binası gerçek ölçüleri ile modellenmiş ve sanal gerçeklik ortamına aktarılmıştır. Öğrencilerin bu binada etkileşimli olarak beraber çalışabilmeleri için geleneksel ölçme araçları olan metre, su hortumu, şakül ve yazı tahtasının sanal versiyonları sisteme entegre edilmiştir. Böylece mimari restorasyon alanında literatürde yer alan diğer çalışmalardan farklı olarak, birden fazla öğrencinin fiziksel olarak farklı ortamlarda olmalarına rağmen aynı ortamdaymış gibi eş zamanlı olarak birbirleriyle etkileşimde bulunduğu, sesli ve görsel iletişim kurabildikleri sanal bir eğitim ortamı oluşturulmuştur. Kullanıcı deneyi sonrası yapılan anketlerde, öğrencilerin geliştirilen yöntemle genellikle olumlu bakış açısı sergiledikleri ve anketteki toplam 14 ifadenin puanlamasında sistemin %88,62'lik bir puan ortalamasına ulaştığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar, sanal gerçekliğin yüz yüze eğitime ulaşımın olmadığı durumlarda, restorasyon derslerine yönelik uygulamalı bir eğitim fırsatı sunduğunu ortaya koymaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Restorasyon, rölöve eğitimi, sanal gerçeklik, etkileşim teknikleri, çok kullanıcı etkileşim.

## Building Surveying Experience of Architecture Students in Safranbolu Tannery using Virtual Reality

**Abstract:** Historical buildings damaged due to natural disasters and man-made destruction are restored to have the most similar appearance to their original state. At the same time, architecture students conduct research and gather information on these buildings to learn about the restoration process. However, conditions such as pandemics, diseases, dangers, and adverse weather conditions that restrict accessibility prevent students from accessing these buildings. This study aims to overcome the access difficulties experienced by architecture students during the examination of historical buildings in the restoration courses by utilizing Virtual Reality (VR) and especially to teach the measurement techniques in the restoration course in a virtual environment with remote access. Within the scope of the study, the Historic Safranbolu Tannery Building, whose data collection process was completed before restoration, was modeled with its actual dimensions, and transferred to the VR environment. For students to work together interactively in this building, we implemented virtual versions of traditional measuring tools such as tape measure, water hose, plumb and whiteboard into the system. Thus, unlike other studies in the literature in the field of architectural restoration, a virtual educational environment has been created in which multiple students interact with each other simultaneously as if they were in the same environment, despite being in physically different environments. In the post-experiment questionnaires, it was observed that the participants generally had a positive perspective on the developed method. The system achieved an average score of 88.62% across a comprehensive set of 14 statements within the questionnaire. These findings indicate that VR presents a valuable opportunity for practical training in restoration courses, particularly when face-to-face education is not accessible.

**Key words:** Restoration, building surveying education, virtual reality, interaction techniques, multi-user interaction.

\* Sorumlu yazar: [muhammedkucukkara@subu.edu.tr](mailto:muhammedkucukkara@subu.edu.tr). Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup> 0000-0003-0600-3651, <sup>2</sup> 0000-0001-7637-0620, <sup>3</sup> 0000-0002-0683-2049

## 1. Giriş

Sanal gerçeklik (SG) teknolojisi, tarihi koruma ve mimari restorasyon eğitimi alanlarında büyük bir potansiyele sahiptir. Doğal afetler ve insan kaynaklı hasarlar çoğu zaman tarihi yapıları tahrip ederek varlıklarını yavaş yavaş ortadan kaldırıyor. Sonuç olarak, bu binalar mevcut tarihi veriler ve belgeler le orijinal formlarına ve görünümüne uygun olarak titizlikle yeniden inşa edilmektedir [1]. Mimarlık öğrencileri, akademik müfredatları dahilinde, öncelikle tarihi yapılarda olmak üzere restorasyon süreci için kapsamlı araştırma ve veri toplama faaliyetlerinde bulunurlar. Bununla birlikte, salgın hastalıklar, tehlikeler ve elverişsiz hava koşulları gibi faktörler, yerinde inceleme ve ölçüm yapma becerilerine sınırlamalar getirmektedir. Bu zorluklar sebebi ile SG, mimarlık öğrencilerinin uzaktan eğitime erişmelerini ve kendilerini gerçek ölçümlere göre doğru bir şekilde görselleştirilen tarihi yapılarda çalışma yapmalarını sağlayan etkili bir araç olarak ortaya çıkmaktadır [2, 3]. Dahası, SG teknolojisi, öğrencilerin bu gerçekçi modellere dayalı etkileşimli derslere aktif olarak katılmalarını sağlayan bir dizi geliştirme aracı sunmaktadır. Aynı zamanda, mimari restorasyon eğitimi, kültürel mirası gelecek kuşaklara taşımak ve tarihi dokunun sürdürülmesi için temel taş olarak durmaktadır [4]. Mimarlık eğitimi müfredatında yer alan restorasyon dersleri, öğrencilerin tarihi ve kültürel mirasın değerini anlamalarını ve restorasyon süreçlerini etik ve uzman bir bakış açısıyla yönetmeyi öğrenmelerini amaçlamaktadır. Bu bağlamda, Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi'nin (ICOMOS) [5] mimari restorasyon eğitimine ilişkin ilkeleri doğrultusunda, kültürel mirasın korunmasına katkıda bulunacak restorasyon uzmanlarının yetiştirilmesi için bir temel oluşturmaktadır.

Mimarlık öğrencileri dersleri kapsamında tarihi yapıları analiz eder, bulguları belgeler, malzeme ve teknikleri inceler ve restorasyon projeleri hazırlar. Teorik bilgileri pratik uygulamalarla birleştiren öğrenciler, tarihi dokunun korunmasına ve aktarılmasına katkıda bulunur. Bu süreçte, öğrenciler mimari mirası koruma ve restorasyon konularında yetkin profesyoneller haline gelirler. Yapı analizi ve belgeleme sürecinde, öğrenciler tarihi yapıların mevcut durumunu analiz eder ve detaylı belgeleme çalışmaları yaparlar. Bu aşamalarda, yapıların planlarını, kesitlerini ve cephe çizimlerini hazırlarlar. Var olan yapıyı inceleyerek hazırladıkları eskizler üzerine aldıkları ölçüleri aktarırlar. Bu ölçümleri yaparken geleneksel sistemde metre, su terazisi ve şakül gibi araçları kullanırlar.

Literatürde sanal gerçeklik teknolojisi ile yapılmış çalışmalar [6–9], genellikle restore edilen yapının sadece görselleştirilmesi ve kullanıcılara sanal tur imkanı ile sunulmasını konu edinmiştir. Bununla birlikte, farklı alanlarda uygulamalı ve etkileşimli bir eğitim modeli sunan çalışmalar yer alsa da [10–12], mimari rölöve eğitiminde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu eksikliği gidermek amacıyla bu çalışmada iki temel işlem gerçekleştirilmiştir:

- Tarihi binaların sanal gerçeklik ortamına aktarılması.
- Mimarlık öğrencilerinin restorasyon derslerindeki saha ölçümleri için etkileşimli bir sanal gerçeklik ortamının oluşturulması.

Bu kapsamda, alan çalışması olarak Tarihi Safranbolu Tabakhane Binası seçilmiş ve yapının restorasyon öncesi veri toplama işlemi tamamlanmıştır. Bu veriler ışığında bina üç boyutlu olarak modellenerek, sanal gerçeklik ortamına aktarılmıştır. Daha sonra, mimarlık öğrencilerinin ölçüm yapabilmeleri için gerekli olan metre, su terazisi, şakül ve yazı tahtası gibi temel araçların sanal versiyonları geliştirilmiş [13] ve Tarihi Safranbolu Tabakhane Binası'nda ölçüm işlemleri için ortama entegre edilmiştir. Birden fazla öğrenci bu sanal ortamda eş zamanlı olarak hareket edebilmekte ve beraber ölçüm yapabilmektedir. Öğrenciler, bu ortamda avatarlarla temsil edilirken, birbirlerinin bütün hareketlerini görebilerek görsel iletişim kurabilirler. Aynı zamanda birbirleri ile sesli iletişim de kurarak yüz yüze eğitimde sahip oldukları bütün olanaklara erişebilmektedirler. Yapılan çalışmada, restorasyon ile ilgili derslerin sanal ortamda gerçekleştirilmesine yönelik geliştirdiğimiz modelin verimliliği ve etkinliği öğrenci deneyimleri ile ölçülmüştür.

## 2. Literatürdeki Benzer Çalışmalar

Dünya genelinde ve ülkemizde pek çok tarihi yapının sanal gerçeklik ortamına aktarılması ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Literatürdeki bazı çalışmalar, restorasyon öncesi veri toplama işlemini ve yapıların mevcut hallerinin modellenerek sanal gerçeklik ortamına aktarılmasını ele almaktadır.

### 2.1. Sanal gerçeklik ve interaktif yapı görselleştirmesi

Walmsley vd. [14], Königsutter'deki İmparatorluk Katedrali için bir Sanal Gerçeklik (SG) uygulaması geliştirmiştir. Bu uygulama, lazer tarama ve 360° panoramik fotoğrafçılığın birleştirilmesiyle bilgi açısından zengin etkileşimli 3-boyutlu (3B) içerikler oluşturabilme potansiyelini göstermiştir. Fukuda vd. [8], yüksek

çözünürlüklü bir SG uygulaması geliştirmek için Azuchi Kalesi ve kasabasını modellemişlerdir. 286 kişi üzerinde test edilen uygulamanın yapılan değerlendirmesinde, katılımcıların büyük çoğunluğu uygulamayı 'Çok İyi' veya 'İyi' olarak nitelendirmiştir. Hrozek vd. [15], Köstice Devlet Tiyatrosu'nu 3B modelleyerek yapıyı sanal ortama aktarmış, bu modeli projeksiyon ve bilgisayar monitörleri üzerinden kullanıcılara sunmuştur. Ferwati ve Menshawy [7] tarafından Katar'daki Zübare Harabesi'nin modellenmesi yapılmıştır. Bu süreç, şehrin kentsel yapısı, mimari tarzı ve orada yaşayanların hayatları hakkında yeni bir perspektif sunmuştur. Kersten vd. [16], "Alt-Segeberger Bürgerhaus" adlı tarihi bir yapının ve müzesinin sanal modelini 3B lazer tarama teknolojisi kullanılarak oluşturmuş ve interaktif hale getirmiştir. Katılımcılar sanal müzeyi denemiş ve büyük çoğunluğu uygulamayı beğendiklerini belirtmişlerdir. Arrighi vd. [6], Avustralya'nın Newcastle kentindeki Victoria Tiyatrosu'nu dijitalleştirmiştir. Yapılan anket çalışmasında, kullanıcıların uygulama hakkında genel olarak olumlu bir izlenim edindikleri görülmüştür. Erbaş ve Tuncel [17], Yerebatan Sarnıcı'nın dijital modellemesini ve oyun motorları aracılığıyla sanal gerçeklik ortamına aktarılmasına yönelik bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma ile Yerebatan Sarnıcı'nın bir bölümü dijital sergi olarak kullanıcılara sunulmuştur. De Paolis vd. [18], Güney Murgia Klasik Öncesi Medeniyetler Müzesi için kullanıcılara Üst Paleolitik döneme ait yerleşimleri keşfetme ve eski eserlerle etkileşim kurma imkanı sunmuştur. Çalışma kapsamında kullanıcıların uygulama hakkındaki değerlendirmelerini almak için bir kullanıcı deneyim anketi uygulanmış ve anket sonuçlarına göre, uygulamanın görsel/işitsel doğruluk açısından yüksek seviyede performans gösterdiği ortaya konmuştur.

## 2.2. Sanal gerçeklikle mimari eğitim

Şahbaz [19], öğrencilerin mimari detayları öğrenebilecekleri ve tarihi yapıların mekânsal etkilerini yerindeymiş gibi deneyimleyebilecekleri bir ortam oluşturmuş ve bu konuda deneyler yapmıştır. Bashabsheh ve diğerleri [20], inşaat aşamalarının yönetimi için tasarladıkları bir yazılım ile inşaat yapım aşamalarını 4B (3B model ve zaman boyutu) sunarak kullanıcılara hem sürükleyici (immersive) hem de sürükleyici olmayan bir ortamda sanal gerçeklik deneyimi sunmuştur. Williams vd. [21], tasarım stüdyolarına sanal gerçeklik teknolojisini entegre etmiş ve Western Kentucky Üniversitesi'ndeki mimarlık öğrencileri için bir sanal gerçeklik laboratuvarı kurmuşlardır. Erkan [22], öğrencilerin mimari bileşenleri ve bileşenler arası ilişkileri inceleyebilecekleri etkileşimli ve katılımcı bir eğitim ortamında SG teknolojisini teorik olanaklarını araştırmıştır. Aboushal vd. [23], mimarlık eğitiminin geleceğini daha nitelikli ve daha akıllı hale getirmek için sanal gerçeklik teknolojisini uygulanmasını önermiştir. Ibrahim vd. [24], SG teknolojisini kullanılmasının öğrencilerin mimarlık tarihi öğrenme becerileri üzerindeki etkisini incelemiştir. Jenek vd. [25], Avustralya ve Almanya'daki mimarlık okullarında Medya Mimarisi tasarımında sürükleyici teknolojilerin kullanımına odaklanmışlardır. Anifowose vd. [26], tasarım pedagojisinin geometrik soyut kavramlarını geliştirmenin, oyun içeriği ve seviyeleri için değişen ayrıntı düzeyleri kullanmanın ve montaj sırasında kullanıcı katılımını artırmak için "snap-to-grid", "snap-to-position" ve "snap-to-angle" gibi yeni geliştirilen özellikleri kullanmanın mimari emsal çalışması için daha derin öğrenme hedefleri sağlayabileceğini göstermiştir.

Genel olarak, tarihi yapıların SG ortamında modellenmesi, uygulamaya dayalı ve etkileşimli öğrenme imkanları sunmaktadır [27]. Sanal gerçeklik teknolojisi, bina inşaatı ve mimari tasarımları görselleştirme ve bunlarla etkileşim kurma aracı olarak son yıllarda büyük ilgi görmüştür. SG, kullanıcıların bu alanlardaki çeşitli sorunlara ve zorluklara verimli bir çözüm sunarak, sanal ortamları deneyimlemelerine olanak tanımaktadır. Yapıların gerçeğe uygun oluşturulmuş SG modelleri tarihi yapıların restorasyonunda uygulayıcılara bir rehber araç olarak kullanılabilir. Bu teknoloji, mevcut bilgi ve verileri kullanarak 3B modeller oluşturur. Bu modeller, sanal bir ortamda görselleştirilir ve kullanıcılar bu modelleri gerçek hayat boyutlarında deneyimler.

Sanal gerçeklikteki bu gelişmeler ışığında bizim çalışmamız literatürdeki mimari çalışmalardan farklı olarak etkileşimli bir öğrenme ortamı sunmaktadır. Literatürdeki çalışmalar genel olarak tarihi yapıların görselleştirilmesini ve bu görselleştirmeler üzerinde çok kısıtlı etkileşimlerle eğitim amaçlı kullanılmasını içermektedir [6-9]. Halbuki mimarlık öğrencilerinin konuları daha iyi öğrenebilmeleri için ölçüm işlemlerini bu ortamlarda gerçekleştirebilmeleri gerekmektedir. Bu kapsamda çalışmamız öğrencilere çok kullanıcılı bir öğrenme ortamı sunmakta ve eş zamanlı olarak 3B sürükleyici bir ortamda hem görüntüleme hem de sanal araçlarla ölçüm yapma olanağı sağlamaktadır. Ayrıca, uygulamada öğrenciler farklı fiziksel konumlarda olsalar bile sisteme bağlanarak birbirleriyle sesli iletişime geçebilmekte ve gerçekçi avatarlarla görsel etkileşimde bulunabilmektedirler. Bu özelliğiyle geliştirdiğimiz sistem yüz yüze eğitim şartlarının olmadığı durumlarda mimarlık öğrencilerinin rölöve eğitimindeki pratik yapma ihtiyacını gidermeye imkan tanımaktadır. Kullanıcı deneyimi olarak, öğrenciler gerçek ölçülerde modellediğimiz tarihi yapıda gezinmenin yanı sıra sanal araçlarla ölçüm yapabilmekte ve oluşturdukları taslakları yazı tahtasına aktarabilmektedir.

### 3. Safranbolu Tabakhane Binasının SG Uygulamasının Geliştirilmesi

Bu çalışmada, günümüzde harap durumdaki ve mevcut hali Şekil 1’de gösterilen Tarihi Safranbolu Tabakhane Binası restorasyon projesine göre modellenmiş ve mimari restorasyon öğrencileri için bir ölçüm gerçekleştirme ortamı olarak kullanılmıştır.

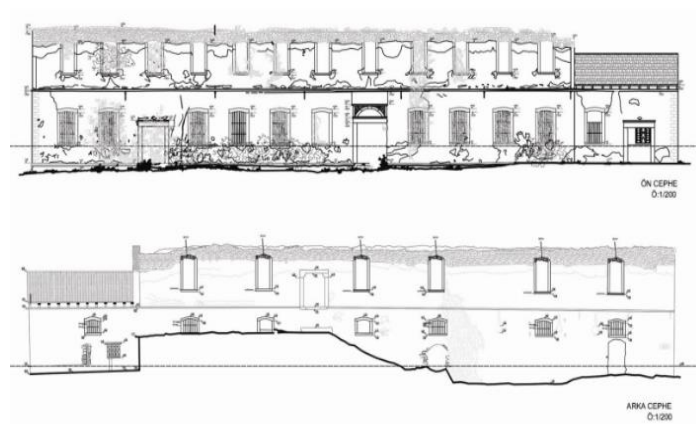
#### 3.1. Üç Boyutlu modelin oluşturulması

Tarihi Safranbolu Tabakhane Binası, bölgenin ilk tabakhane yapılarından biri olarak kabul edilir. Yapı 1920 yıllarında kurulmuş ve uzun yıllar boyunca Kastamonu'nun deri ihtiyacını karşılayarak önemli bir sanayi tesisini oluşturmuş, ancak sonraları demir-çelik gibi yeni sektörlerin gelişimi ve ekonomik dalgalanmalar nedeniyle kapanmıştır. Bölgenin turistik yapılarından biri olarak yıllardır restore edilmeyi bekleyen ve restorasyon öğrencileri için önemli bir uygulama alanı olan bu yapı, çalışmamızda örnek model olarak seçilmiştir. İki katlı olan bina, geçirdiği yangın nedeniyle döşemeleri ve çatısı yanmış ve şu anda harabe durumundadır. Yapının günümüzde dış duvarları, mekânı ikiye bölen iç duvarı ve iki kolonu mevcuttur. Yapıya bitişik olarak, geçmişte üretim sürecine destek sağlamak amacıyla inşa edilmiş tek katlı bir teknik servis binası bulunmaktadır. Yapının içinde ve cephesinde bitkilenmeler ve bozulmalar gözlemlenmektedir. Yapıya bitişik olan, geçmişte üretim sürecine destek sağlamak için yapılmış tek katlı teknik servis yapısının içinde ve cephesinde bitkilenmeler ve bozulmalar gözlemlenmektedir. Ayrıca, yapının üç adet girişi bulunmaktadır [28].



Şekil 1. Tarihi Safranbolu Tabakhane Binasının günümüzdeki durumu.

Yapının dijitalleştirilmesi için mevcut hali fotoğraflanarak kaydedilmiş, tarihi kaynaklar incelenmiş ve aynı dönemde inşa edilmiş diğer yapılarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca yapının mevcut durumuna şahitlik etmiş kişilerle görüşmeler yapılarak binayla ilgili bilgiler toplanmıştır. Literatürde, Şekil 2’de görülebileceği gibi, yapının çizimlerine ulaşılmış, eldeki bilgi ve belgeler ışığında Şekil 3’te verilen kesitler elde edilmiştir.



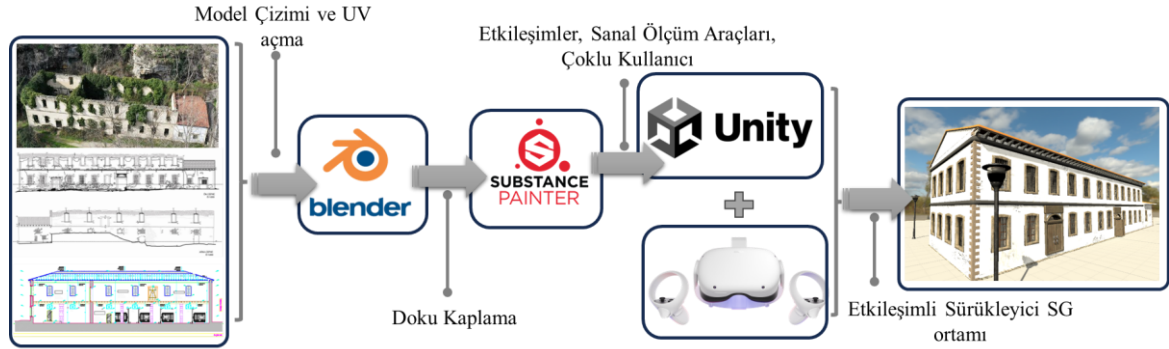
Şekil 2. Fidan tarafından hazırlanan yapının ön ve arka cephe rölöve çizimleri [28].



Şekil 3. Tabakhane yapısının restorasyon projesine ilişkin kesitler.

Yapı, Blender adlı açık kaynak ve ücretsiz bir bilgisayar destekli çizim aracı ile modellenmiştir. Model, yapı ölçüleriyle birebir uyumlu ölçülerde hazırlanmıştır. Gerçekçi bir kaplama oluşturmak için model, çizim aracında UV açma işlemine tabi tutulmuştur. UV açma, doku koordinatlarının belirlenmesine olanak tanır. Duvarlar, sütunlar, pencereler ve kapılar gibi nesnelerin ayrı ayrı UV'leri açılarak, kaplamaların modele tam olarak uyum sağlaması ve kullanıcıya gerçekçi bir deneyim sunması amaçlanmıştır. UV açma işlemi tamamlandıktan sonra kaplama oluşturma aşamasına geçilmiştir. Yapıya en uygun dokular, Adobe Substance Painter© kütüphanesinden seçilmiştir. Kullanıcı deneyimini zenginleştirecek şekilde ışık ve gölge ayarları yapılmıştır. Modelleme sürecinden SG uygulamasına kadar yapılan uygulama geliştirme iş akışı Şekil 4'te verilmiştir.

### 3.2. Sanal gerçeklik uygulaması



Şekil 4. Uygulama geliştirme iş akışı.

Bu uygulamada, öncelikle tarihi Safranbolu Tabakhane Binasının gerçek boyutlarında bir sunumu gerçekleştirilmiştir. Unity© içerisinde materyallerin ayarları yapılarak gerçeğe uygun bir görünüm elde edilmiştir. Bu aktarım gerçekleştirildikten sonra, model çalışma alanına yerleştirilmiş ve ışıklandırma ayarları yapılmıştır (Şekil 5). Bir sonraki aşamada, mimari restorasyon öğrencilerine yönelik bir eğitim modeli oluşturulmuştur. Bu eğitim modeli sayesinde, öğrenciler çok kullanıcı bir ortamda restore edilmiş tarihi Safranbolu Tabakhane Binası'nı inceleyebilir ve ölçüm faaliyetlerinde bulunabilir. Ölçüm yaparken, araçlarla etkileşim kurarak çizimler gerçekleştirebilir. Ayrıca, çok kullanıcı ortamında sesli iletişim imkanına sahip olacaklar ve sanal ortamdaki konumlarını belirlemek için avatar sisteminden yararlanmaktadırlar.



(a)



(b)

Şekil 5. Tabakhane Binasının üç boyutlu modelinin dış (a) ve iç (b) görüntüsü.

### 3.2.1. Etkileşimler

SG uygulamasındaki etkileşimleri sağlamak amacıyla uygulamaya Mixed Reality ToolKit© (MRTK) yazılım çerçevesi entegre edilmiştir. MRTK, oyun motorlarına entegre edilebilen, platformlar arası karma gerçeklik uygulamalarını geliştirmeyi hızlandıran ve çeşitli bileşenler ile özellikler sunan bir araçtır [29]. Bu araç sayesinde kullanıcıların, modeldeki objelerle (pencere ve kapı) ve sanal ölçüm araçlarıyla ile etkileşime girmesi mümkün kılınmıştır. Şekil 6’te görüldüğü üzere kullanıcıların daha iyi bir gezinti deneyimi yaşaması için ışınlanma (teleport) ile hareket etmeleri sağlanmıştır.



Şekil 6. Tabakhane Binasının içinde ışınlanma ile hareket.

Bu çalışmada, mimari restorasyon öğrencileri, ders kapsamında gerçekleştirdikleri ölçüm işlemlerini sanal ortamda da gerçekleştirebilmektedirler. Geliştirilen modül, öğrencilere iki nokta arasındaki uzaklığı ölçebilmeleri için sanal ortamda bir metre sunmaktadır (Şekil 7.a). Öğrenciler, bu metreyi tut-sürükle-bırak etkileşimiyle

kullanarak, iki nokta arasındaki mesafeyi ölçebilmektedir. Ölçüm tamamlandığında, metrenin şerit kısmında ölçülen mesafe görsel olarak sunulmaktadır. İki noktanın arasındaki mesafeyi hesaplamak için, öklidyen uzaklık kullanılmıştır.

Öğrencilerin kullandığı bir başka ölçüm aracı ise su terazisidir (Şekil 7.b). Su terazisi, ölçüm yapılacak alandaki yatay ekseni belirlemek yani kot alma işlemi için kullanılır. Öğrenci, su terazisinin uçlarından tutarak duvarlardaki eş yükselti noktalarını belirleyebilirler ve bu noktaları işaretleyebilirler. Böylece metre ile ölçüm yaparken kullanacakları referans noktalarını belirlemiş olurlar.

İki parçadan oluşan şakül aracı (Şekil 7.c) ise, tutamaç ve yer çekimi ile hareket eden gövde kısmını içerir. Bu araçla, öğrenciler yüksekteki objelerin yerdeki iz düşümünü bulur ve böylece dikey düzlemdeki eğimleri ölçebilir. Öğrenci, tutamaç kısmından tutarak şakülü tavandaki referans noktaya taşır. Şakülün gövde kısmı otomatik olarak zemine doğru hareket eder ve yere çarptığında durur. Öğrenci yerdeki referans noktasını işaretleyerek tavandaki noktanın zemindeki iz düşümünü bulur.



(a)



(b)



(c)

Şekil 7. Sanal ölçüm araçları: (a) metre, (b) su terazisi ve (c) şakül.

Yazı tahtası aracı, öğrencilerin binanın kaba çizimini yapmasını sağlamak ve ölçüm değerlerini not etmek amacıyla kullanılmaktadır. Sadece bir öğrenci tarafından kullanılabilen yazı tahtasında, öğrencinin elindeki kalem tahta yönünde kullanıcının eli ile hareket eder. Kalem tahtaya değdiğinde etrafında sarı bir vurgu tonlayıcı belirir ve çizim başlar. Benzer olarak, Şekil 7'de görüldüğü gibi diğer ölçüm araçları da öğrenciler tarafından kullanılmaya başlandığında bu sarı tonlayıcı belirir.

### 3.2.2. Çoklu öğrenci ve sesli iletişim desteği

Bu uygulamada, çok kullanıcı ve sesli iletişim desteği sağlamak için Photon© PUN2 kullanılmıştır. Photon Unity Networking (PUN), çok kullanıcı uygulamaları için geliştirilmiş bir Unity paketidir [30].



Şekil 8. Uygulama karşılama arayüzü.

Kullanıcı uygulamaya girdiğinde, ilk olarak karşılama arayüzüyle etkileşime girer (Şekil 8). Bağlantı butonunu seçtiğinde, kullanıcı sunucuya bağlanır. Sisteme bağlanan kullanıcılar eş zamanlı olarak sanal ölçüm araçlarını kullanabilir. Ölçümler sırasında kullanıcıların yer değişiklikleri, konuşma sesleri ve sanal araçlardaki ölçüm sonuçları gerçek zamanlı olarak diğer kullanıcılara iletilir (Şekil 9).



Şekil 9. Çoklu kullanıcı etkileşiminden bir örnek.

### 3.2.3. Kullanıcı avatarları

Kullanıcılara ortamda bulunma hissini artırmak ve birbirleriyle iletişimini desteklemek amacıyla Meta Avatar kütüphanesi kullanılmıştır. Meta Avatar milyonlarca kıyafet ve fiziksel özellik kombinasyonları ile kullanıcılara özelleştirilebilir avatarlar sunmaktadır [31]. Avatarlar ile kullanıcılar birbirlerinin sanal ortamdaki konumlarını görebilirler. Sistem kullanıcıların jest ve mimiklerini sanal avatarlara yansıtarak, bu sayede sesli iletişimlerini beden diliyle desteklemekte ve onlara gerçek ortamda iletişim kuruyormuş hissini vermektedir. Şekil 10'da uygulamamızda kullanılmış olan örnek bir avatar görüntüsü sunulmuştur.





Şekil 10. Uygulamada kullanılan bir avatar görüntüsü.

#### 4. Kullanıcı Deneyleri

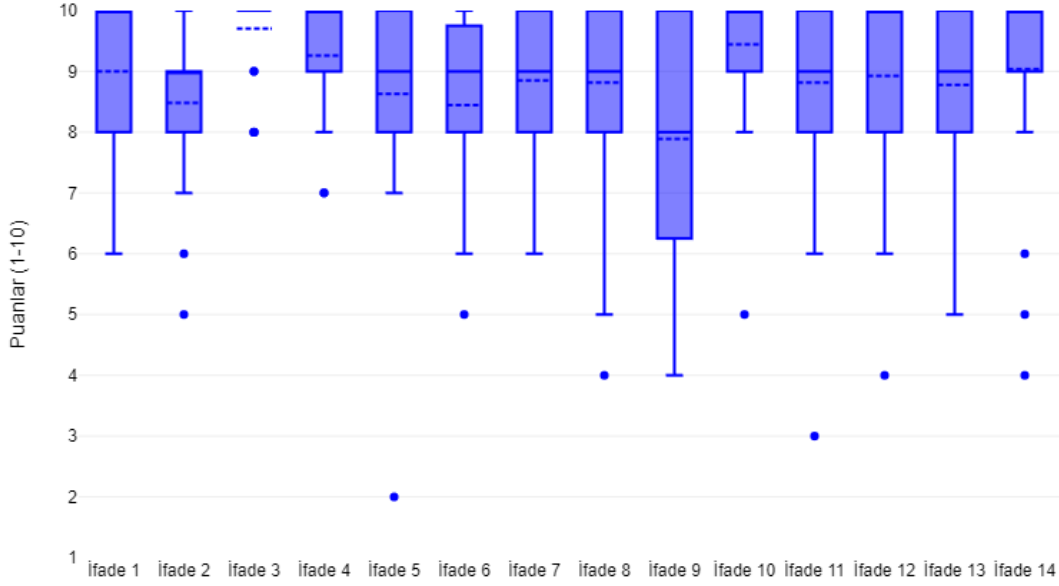
Çalışmada kullanıcı deneylerine daha önce alanda tarihi binalarda yerinde ölçüm yapmış 27 mimari restorasyon öğrencisi katılmıştır. Bu öğrenciler yüz yüze derslerde yaptıkları gibi üçer kişilik gruplara ayrılarak geliştirdiğimiz sanal sistemi 10'ar dakika test etmiştir. Dördüncü bir kişi olarak sanal ortamda bir öğretim görevlisi yer almıştır. Kullanıcılara deney başlamadan önce SG cihazı kullanımı ve uygulama hakkında 5 dakikalık bir bilgilendirme yapılmıştır. Deney sırasında kullanıcılara binayı incelemeleri ve geliştirilen araçlarla bina üzerinde ölçüm yapmaları istenmiştir. Ölçümler esnasında kullanıcılar geliştirilen tüm modülleri (ölçüm araçları, avatar, çok kullanıcı sistem, sesli iletişim vb.) kullanmışlardır. Test sonucunda kullanıcılara Tablo 1'de uygulamadaki etkileşimleri, sanal ölçüm araçlarının kullanım kolaylığını ve ortamın gerçekçiliği ile ilgili değerlendirmeleri içeren 14 maddelik bir anket uygulanmıştır. Bu anketin hazırlanmasında literatürdeki benzer çalışmalardaki [32] yaklaşımlar örnek alınmıştır. Cevaplar için 10 puanlı likert ölçeği kullanılmıştır. Ölçek kapsamında ankete verilen cevaplar 1 hiç katılmıyorum, 10 ise tamamen katılıyorum olarak değerlendirilmiştir. Çalışmaya katılan 27 katılımcının 13'ü kadındır. Tümünün yaş ortalaması ise 22,85'tir.

Tablo 1. Anketle kullanıcılara yöneltilen ifadeler

No	Açıklama
1	Sanal ortamın ölçüleri gerçekçiydi.
2	Ortamın görüntü kalitesi yüksekti.
3	Sistemi kullanmak eğlenceliydi.
4	Sistemi kullanmayı öğrenmek kolaydı.
5	Sistemdeki ölçüm görevlerini yapmak basitti.
6	Sistemin hızı yeterliydi.
7	Sistemin arayüzü kullanıcı dostuydu.
8	Sistem, bir ders aracı olarak yüz yüze eğitime göre daha motive edicidir.
9	Sistem, mimarlık eğitiminde yüz yüze eğitim modeline göre daha öğreticidir.
10	Sistem, mimarlık eğitiminde yüz yüze eğitime göre daha az yorucudur.
11	Sistemde sanal araçlar ile ölçüm yapmak gerçek cihazlar ile ölçüm yapmaktan daha kolaydı.
12	Sistemde ölçümleri yüz yüze eğitime göre daha hızlı gerçekleştirdim.
13	Sistemde öğrenciler yüz yüze eğitim modeline göre daha aktiftir.
14	Sistemde öğretim elemanları yüz yüze eğitim modeline göre daha aktiftir.

#### 4.1. Bulgular

Tablo 2, katılımcıların anketteki ifadelere verdikleri puanların ortalamasını, standart sapmasını göstermektedir. Anket sonuçları, katılımcıların geliştirdiğimiz sanal gerçeklik sisteminin genel performansını olumlu bulduklarını göstermektedir.



Şekil 11. Deney sonuçlarının kutu grafiği.

Şekil 11 her bir ifade için verilen puanların medyan, ortalama ve aykırı değerleri görselleştirmektedir.

- İfade 1'e göre, katılımcıların büyük bir kısmı ölçüleri 8 ile 10 arasında puanlamıştır. Bu sonuçlar sistemin ölçülerinin gerçekçi olduğunu göstermektedir.
- İfade 2'ye göre her ne kadar iki katılımcı sistemin görüntü kalitesini 5 ve 6 olarak puanlasalar da katılımcıların yarısı sistemin görüntü kalitesini 8 ve 9 olarak puanlamıştır.
- İfade 3 için katılımcıların vermiş olduğu 8 ve 9 puanları bile birer aykırı değer olarak ortaya çıkmıştır. Katılımcıların 22'si sistemin eğlenceli olmasını 10 tam puanla değerlendirmiştir.
- İfade 4'e göre kullanıcıların %75'i sistemin kullanım kolaylığını 9 ve 10 olarak puanlamıştır.
- İfade 5'e göre 1 kullanıcı sistemdeki ölçüm görevlerini yerine getirmeyi 2 gibi çok düşük bir puanla değerlendirirse bile bu görev tüm kullanıcılar tarafından ortalama 8,6 puanla değerlendirilmiştir.
- İfade 6'e göre sistem hız açısından kullanıcılardan ortalama 8,4 puan almıştır.
- İfade 7'de sistemin kullanıcı dostu bir arayüze sahip olduğu katılımcıların %75'inin bu ifadeyi 8 ile 10 arasında puanlaması ile görülmektedir.
- Diğer ifadelere göre daha geniş bir puan dağılımına sahip olan ifade 8'de sistem, yüz yüze eğitime göre daha motive edici olma konusunda 8,8'lik ortalamaya ulaşmıştır.
- İfade 8'e benzer şekilde, ifade 9'un puanlanması da geniş bir dağılıma sahiptir. Sistemin bir ders aracı olarak yüz yüze eğitime göre daha öğretici olması 4 ile 10 arasında değişen puanlar almış ve medyanı 8 çıkmıştır.
- İfade 10'da sistemin yüz yüze eğitime göre daha az yoruculuğunu 1 öğrenci 5 ile puanlamıştır. Geriye kalan bütün öğrenciler bu ifadeyi 8 ile 10 arasında puanlamıştır.
- İfade 11'de bir kullanıcı sanal araçlarla ölçüm yapmayı gerçek araçlarla yapılandırılana göre 3 gibi düşük bir puanla daha zor bulurken, diğer kullanıcılar ortalama 8,8 ile sanal araçlarla ölçüm yapmayı daha kolay bulmuşlardır.
- İfade 12'de kullanıcılar %75'i sistemdeki ölçüm görevlerini yüz yüze eğitime göre daha hızlı bulmuşlardır.
- İfade 13 ve 14'te kullanıcılar sırası ile öğrencilerin ve öğretim elemanının etkinliklerini yüz yüze eğitime göre ortalama 8,8 ve 9,0 ile puanlamışlardır.

Genel olarak, sanal ortamın ölçüleri ve görüntü kalitesi katılımcıları tatmin ederken (İfade 1 ve 2), katılımcılar sistemin kullanımını eğlenceli ve öğrenmesi kolay (İfade 3 ve 4), sistemde ölçüm yapmayı basit ve sistemin hızını yeterli (İfade 5 ve 6), arayüzünün kullanımını kolay (İfade 7), yüz yüze eğitimle karşılaştırıldığında, daha motive edici ve konuları öğrenmek için kolaylaştırıcı bir araç olarak değerlendirmişlerdir (İfade 8, 9 ve 10). Katılımcılar,

sanal araçlarla ölçüm yapmanın gerçek cihazlarla ölçüm yapmaktan daha kolay ve hızlı olduğunu belirtmişlerdir (İfade 11 ve 12). Ayrıca, sistemi kullanırken kendilerinin ve öğretim elemanlarının daha aktif rol aldığını düşünmektedirler (İfade 13 ve 14).

Sonuç olarak, anket, sanal gerçeklik sisteminin mimarlıkta yüz yüze eğitime göre avantajlar sunabileceğini göstermektedir. Bu avantajlar daha iyi bir öğrenci ve öğretim elemanı etkileşimini, hızlı ve kolay ölçüm yapmayı ve yüksek motivasyon düzeyini içerir.

#### 4.2. Tartışma ve çıkarımlar

Uygulamaya aktarılan bina modeli, yapım aşamasında önemli ölçüde zaman maliyetine yol açmaktadır. Binanın bilgisayar ortamında modellenmesi için mevcut planlarının elde edilmesi ya da aktarılması ve bilgisayar destekli çizimin gerçekleştirilmesi süreçleri yerine, derinlik sensörü gibi alternatif modelleme teknolojilerinin kullanılmasıyla zaman maliyetinin azaltılması mümkün olabilir.

Sanal eğitim sisteminin mimarlık eğitimindeki kullanıcılardan genellikle olumlu geri bildirimler aldığı görülmektedir. Ankette, "1. Sanal ortamın ölçüleri gerçekçiydi" ifadesi katılımcılar tarafından yüksek puan alınırken, düşük standart sapma değeri göstermiştir. Bu durum bina modelinin gerçek ölçülere göre tasarlandığını ve yüksek kalitede kaplamalarla görselleştirildiğini göstermektedir. Bunun yanı sıra sanal ölçüm araçlarının da doğru ölçümler yapacak şekilde geliştirildiği sonucuna varılmaktadır. Sistem hızı ve kullanıcı dostu arayüz de nispeten yüksek puanlar almıştır, bu da sistemin genel kullanılabilirliği ve işlevselliği açısından olumlu bir gösterge olarak yorumlanabilir. 3 numaralı "Sistemi kullanmak eğlenceliydi" ifadesi, diğer ifadelerle kıyasla en yüksek ortalama değeri ve en düşük standart sapmayı elde etmiştir.

Diğer yandan, "5. Sistemdeki ölçüm görevlerini yapmak basitti" ifadesi ortalama olarak diğerlerine göre daha düşük puan almış ve standart sapma değeri daha yüksek çıkmıştır. Yine "10. Sistem, mimarlık eğitiminde yüzyüze eğitime göre daha az yorucudur" ve "11. Sistemde sanal araçlar ile ölçüm yapmak gerçek cihazlar ile ölçüm yapmaktan daha kolaydı" ifadelerinde standart sapma, diğer ifadelerle göre daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuçlar, sanal gerçeklik teknolojisi ile ölçüm görevlerini yapma konusunda bütün öğrencilerin aynı beceriye sahip olmadığını göstermektedir. Fakat katılımcıların sanal gerçeklik ortamındaki deneyimleri arttıkça ölçüm işlemlerindeki kabiliyetlerinin artacağını düşünmekteyiz.

Ayrıca, "9. Sistem, mimarlık eğitiminde yüz yüze eğitime göre daha öğreticidir" ifadesi diğer maddelerle karşılaştırılmıştır. Klasik eğitimle karşılaştırıldığında daha düşük bir ortalama puan alınırken, daha yüksek bir standart sapma göstermiştir. Bu durum, katılımcıların sanal eğitim sisteminin geleneksel yüz yüze eğitime göre daha öğretici olup olmadığı konusunda fikir ayrılığı yaşadıklarını 3B olarak göstermektedir. Fakat biz bu sistemi yüz yüze eğitime alternatif değil, yüz yüze eğitime erişim olmadığında ya da yüz yüze eğitimi destekleyici bir araç olarak tasarlanmış bulunmaktayız.

Geliştirilen sistem öğrenciler tarafından yüz yüze eğitime göre daha az yorucu bulunmuştur. Bu durum yüz yüze derslerde öğrencilerin ölçüm işlemlerinde fiziksel olarak çok daha fazla efor sarfettiklerini, buna karşın sanal ortamda ise daha az hareket ile daha fazla iş yapabildikleri göstermektedir. Sonuç olarak, bu bulgular, geliştirdiğimiz sistemin mimarlık eğitiminde sanal bir yardımcı araç olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Bunun yanı sıra bu yaklaşımın başka alanlardaki uygulamalı derslerde kullanılabilirliği öngörülmektedir.

Çalışmalarımız sırasında bazı önemli çıkarımlarda bulduk. Öncelikle, tarihi alanların genellikle doğal engelikleri göz önünde bulundurmak gerekiyor. Öğrencilere gerçekçi bir deneyim sunabilmek adına, bu tür engeli ve düz olmayan zeminlerin ya da eğimli duvarların, hataların kabul edildiği bir öğrenme ortamı yaratabileceğini fark ettik. Ayrıca yansıtıcı yüzeyler bazen SG başlıklarının konum ve poz takibi sorunları ve takip kayıp hataları ile karşılaşabileceğini gördük. Dolayısıyla, kullanıcıların yansıtıcı olmayan yüzeylerle etkileşime girmesi, bu tür hataları önlemeye yardımcı olabilir. Son olarak, kullanıcıların fiziksel hareket alanı da önemlidir. Eğer birden fazla kullanıcı aynı fiziksel ortamı paylaşıyorsa, onların birbirleriyle çarpışmalarını önlemek için her birine geniş hareket alanları sağlanması gerektiğini anladık.

#### 4.3. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, restorasyon öncesi veri toplama işlemi tamamlanmış olan Tarihi Safranbolu Binası ilk haline benzer olarak yeniden dijital olarak inşa edilmiştir, etkileşimli sanal gerçeklik ortamına aktarılmış, mimarlık öğrencilerinin eğitim ve öğretim süreçlerine katkı sağlamak amacıyla bu dijital ortamda kullanılmak üzere çeşitli ölçüm araçları geliştirilmiştir. Öğrenciler, Safranbolu Tabakhane Binası'nı sanal ortamda incelemiş ve sanal ölçüm araçlarını kullanmışlardır. Bu çalışma, sanal gerçeklik teknolojisinin tarihi yapıların restorasyonunda bir eğitim aracı olarak kullanılabilir potansiyelini incelerken, mimarlık öğrencileri için interaktif

bir uygulamalı öğrenme deneyimi sunmuştur. Uygulanan anket çalışmasının sonuçlarına göre, öğrencilerin büyük çoğunluğunun ilk SG deneyimi olmasına rağmen, uygulama öğrenciler tarafından gerçekçi ve kullanımı kolay bulunmuştur. Pandemi, doğal afet ve olumsuz hava koşulları gibi erişim engellerini ortadan kaldırarak, öğrencilerin tarihi bir yapının restorasyon sürecini gerçek ölçülerde ve gerçek zamanlı olarak farklı fiziksel ortamda olmalarına rağmen aynı ortamdaymış gibi deneyimlemelerine olanak sağlamıştır.

Bu uygulamanın öğrenciler üzerindeki etkisi incelendiğinde, öğrenciler sanal gerçeklik ortamında elde ettikleri deneyimin gerçekçi ve kullanıcı dostu olduğunu belirtmişlerdir. Sanal ortamda yapılan etkileşimlerin ve ölçüm uygulamalarının, gerçek bir restorasyon sürecine hazırlanmaları konusunda önemli bir adım olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma sanal gerçeklik teknolojisinin restorasyon eğitimine katkıda bulunabileceğini göstermiştir. Bunun yanı sıra, sanal gerçeklikteki ölçüm araçları, restorasyon sürecinde kullanılan gerçek ölçüm araçlarına benzer olduğundan öğrencilerin bu araçları kullanırken deneyim kazanmalarını sağlamıştır. Yani bu teknoloji, öğrencilere gerçekçi bir uygulamalı öğrenme deneyimi sağlamaktadır. Bu sayede, tarihi yapıların korunması ve restorasyonu konusunda eğitim alan öğrencilere daha fazla pratik yapma fırsatı da sağlanmıştır.

Her ne kadar öğrenciler geliştirilen uygulamayı çok beğenerek ve eğlenerek kullansalar da uygulamanın çizim doğruluğu açısından çıktılarının yüz yüze eğitimle kıyaslanamayacağı kullanıcı deneyimlerinde görülmüştür. Bu kapsamda gelecekte rölöve çizim doğruluğunu arttıracak, ölçüm araçlarını kullanım konusunda kullanıcıları uyuracak ve daha gelişmiş ölçüm aletlerini sanal versiyonlarını da içerecek şekilde uygulamamızı geliştirmeyi hedeflemekteyiz.

## Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Ulusal Ajansı tarafından Erasmus+ Yükseköğretim Programı 2020 Yılı Ana Eylem – KA226 Dijital Eğitime Hazırlık İçin Ortaklıklar çağrısı kapsamında yer alan “Digitizing Architectural Restoration Education through Virtual Reality” isim ve 2020-1-TR01-KA226-HE-098433 proje numarası ile desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Donath D, Thurow T. Integrated architectural surveying and planning: methods and tools for recording and adjusting building survey data. *Autom Constr.* 2007;16:19–27.
- [2] Maghool SAH, Moeini SH (Iradj), Arefazar Y. An educational application based on virtual reality technology for learning architectural details: challenges and benefits. *International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR.* 2018;12:246-272.
- [3] Jumani AK, Siddique WA, Laghari AA, Abro A, Khan AA. Virtual reality and augmented reality for education. *Multimedia Computing Systems and Virtual Reality.* CRC Press, 2022;189–210.
- [4] Embaby, Mohga E. Heritage conservation and architectural education: An educational methodology for design studios. *HBRC Journal.* 2014;10(3):339-350.
- [5] ICOMOS, UK. Guidelines on education and training in the conservation of monuments, ensembles and sites. London; ICOMOS, 1993.
- [6] Arrighi G, See ZS, Jones D. Victoria theatre virtual reality: a digital heritage case study and user experience design. *Digital applications in archaeology and cultural heritage.* 2021;21:e00176.
- [7] Ferwati MS, El Menshawy S. Virtual reconstruction of the historic city of Al-Zubarah in Qatar. *Digital applications in archaeology and cultural heritage.* 2021;21:e00177.
- [8] Fukuda T, Ban H, Yagi K, Nishiie J. Development of high-definition virtual reality for historical architectural and urban digital reconstruction: a case study of Azuchi Castle and Old Castle Town in 1581. *Communications in Computer and Information Science.* Springer Verlag; 2015;75–89.
- [9] Oudatzi K. Virtual reality in restoration of historic buildings: 3d model projection of the restoration project of Alaca Imaret Cami with intuitive and interactive application through hyper realism technology. In: 2010 16th International Conference on Virtual Systems and Multimedia; 20–23 Oct. 2010; Seoul, Korea: IEEE. pp. 361–364.
- [10] Daşdemir Y. A brain-computer interface with gamification in the Metaverse. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi.* 2021;12(4):645–652.
- [11] Zhang Y, Liu H, Kang S-C, Al-Hussein M. Virtual reality applications for the built environment: Research trends and opportunities. *Autom Constr.* 2020;118:103311.
- [12] Radianti J, Majchrzak TA, Fromm J, Wohlgenannt I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Comput Educ.* 2020;147:103778.
- [13] Özacar K, Ortakçı Y, Küçükçakara MY. VRArchEducation: Redesigning building survey process in architectural education using collaborative virtual reality. *Comput Graph.* 2023;113:1–9.

- [14] Walmsley AP, Kersten TP. The imperial cathedral in Königsplatz (Germany) as an immersive experience in virtual reality with integrated 360° panoramic photography. *Applied Sciences*. 2020;10(4):1517.
- [15] Hrozek F, Sobota B, Szabó C. Digital preservation of historical buildings using virtual reality technologies. *Open Computer Science*. 2012;2:272–282.
- [16] Kersten TP, Tschirschwitz F, Deggim S. Development of a virtual museum including a 4D presentation of building history in virtual reality. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2017;2/W3:361–367.
- [17] Erbaş E, Tuncel D. Kültür Varlıklarının Sanal Ortamda Yeniden İşlevlendirilmesi: Yerebatan Sarnıcı Örneği. *European Journal of Science and Technology*. 2022;41:362-372
- [18] De Paolis LT, Faggiano F, Gatto C, Barba MC, De Luca V. Immersive virtual reality for the fruition of ancient contexts: The case of the archaeological and Naturalistic Park of Santa Maria d’Agnano in Ostuni. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 2022;27:e00243.
- [19] Şahbaz E. VR-based interactive learning in architectural education: a case on Safranbolu Historical Bathhouse. *Iconarp International Journal of Architecture and Planning*. 2020;8:342–356.
- [20] Bashabsheh AK, Alzoubi HH, Ali MZ. The application of virtual reality technology in architectural pedagogy for building constructions. *Alexandria Engineering Journal*. 2019;58:713–723.
- [21] Williams J, Orooji F, Aly SJ. Integration of virtual reality (vr) in architectural design education: exploring student experience. In: *ASEE Annual Conference and Exposition; 15-19 June 2019; Tampa, Florida, USA:ASEE*. 27354:1-11.
- [22] Erkan İ. Investigation of the contribution of virtual reality to architectural education. *Art, Design & Communication in Higher Education*. 2020;19:221–240.
- [23] A. Aboushal E, Salah Gharib M. The future of architectural education in Egypt: Architecture pedagogy focuses on educational concepts and approaches. *Engineering Research Journal*. 2021;171:301–313.
- [24] Ibrahim A, Al-Rababah AI, Bani Baker Q. Integrating virtual reality technology into architecture education: the case of architectural history courses. *Open House International*. 2021;46:498–509.
- [25] Jenek W, Caldwell G, Donovan J, Garcia Hansen V, Adcock M, Xi M, et al. Media architecture in architecture studio education capturing dynamics in the process: exploring how architecture students design with virtual design environments tools. In: *MAB20: Media Architecture Biennale 20; 28 June - 2 July 2021; Amsterdam and Utrecht, Netherlands*: pp. 200–204.
- [26] Anifowose H, Yan W, Dixit M. BIM LOD + Virtual Reality - Using game engine for visualization in architectural & construction education. *CoRR*. 2022;abs/2201.09954.
- [27] Safikhani S, Keller S, Schweiger G, Pirker J. Immersive virtual reality for extending the potential of building information modeling in architecture, engineering, and construction sector: systematic review. *Int J Digit Earth*. 2022;15:503–526.
- [28] Fidan F. Safranbolu’da tabakhane bölgesi örneğinde endüstriyel alanların incelenmesi, kamusal fonksiyonlarla yeniden değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi; İstanbul, Türkiye, 2011.
- [29] MRTK-Unity Developer Documentation - MRTK 2 | Microsoft Docs. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mrtk-unity/mrtk2/?view=mrtkunity-2022-05>. Erişim Tarihi 21 Haziran 2022.
- [30] Photon. <https://www.photonengine.com/>. Erişim Tarihi 20 Haziran 2022.
- [31] Oculus VR, 2021. <https://developer.oculus.com/blog/meta-avatars-sdk-now-available/>. Erişim Tarihi 20 Haziran 2022.
- [32] Karaoglan-Yılmaz FG, Yılmaz R, Zhang K, Ustun AB. Development of educational virtual reality attitude scale: A validity and reliability study. *Virtual Reality*. 2023;27:1875-1885