



**MAKİNE VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİNDE  
KULLANILMAK ÜZERE SANAL VE ARTTIRILMIŞ  
GERÇEKLİK UYGULAMALARI GELİŞTİRİLMESİ**

**Muhammed KOFOĞLU**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MAKİNE VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİNDE KULLANILMAK ÜZERE  
SANAL VE ARTTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMALARI  
GELİŞTİRİLMESİ**

**Muhammed KOFOĞLU**

Prof. Dr. Abdil KUŞ  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI


BURSA - 2019

## TEZ ONAYI

Muhammed KOFOĞLU tarafından hazırlanan “Makine ve İmalat Mühendisliğinde Kullanılmak Üzere Arttırılmış ve Sanal Gerçeklik Uygulamaları Geliştirilmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Abdil KUŞ

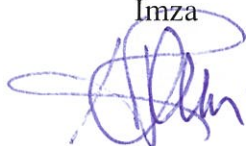
**Başkan** : Prof. Dr. Abdil KUŞ  
Bursa Uludağ Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Otomotiv Mühendisliği Bölümü

İmza  


**Üye** : Prof. Dr. Rıdvan ARSLAN  
Bursa Uludağ Üniversitesi  
Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu  
Motorlu Taşıtlar ve Ulaştırma Bölümü

İmza  


**Üye** : Doç. Dr. Ali Rıza MOTORCU  
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Endüstri Mühendisliği Bölümü

İmza  


Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN  
Enstitü Müdürü

10.04.2019

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

05/07/2019



**Muhammed KOFOĞLU**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MAKİNE VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİNDE KULLANILMAK ÜZERE SANAL VE ARTTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMALARI GELİŞTİRİLMESİ

**Muhammed KOFOĞLU**

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Abdil KUŞ

Temel mühendislik eğitimleri arasında Teknik Resim eğitimi önemli bir yere sahiptir. Özellikle yeni mezunların Teknik Resim okuma becerisindeki eksiklikler nedeniyle makine ve imalat sektöründe ıskarta ürün sayısı artarken üretimdeki verimlilik de düşmektedir. Bu önemli problemi ortadan kaldırmak ve bu alanda sektörün beklentilerini karşılayabilmek için Teknik Resim okuma becerisi, kişilere, mesleki eğitim ve mühendislik eğitimi esnasında kazandırılmalıdır. Bu çalışmada; gerek eğitimcilerin eğitim materyali ihtiyacını karşılamak ve öğrencilerin öğrenme performansını artırmak ve gerekse sektör beklentilerini karşılamaya yönelik olarak Teknik Resim eğitimini destekleyici sanal (SG) ve artırılmış gerçeklik (AG) uygulamaları geliştirilmiştir. AG kurulum, kullanım ve sürdürülebilirlik açısından da bireylerin hayat boyu öğrenmelerine yardımcı olacak ve bilgi ve becerilerin daha anlaşılabilir bir şekilde aktarılmasını sağlayacak bir yöntemdir. Çalışmada makine imalat sektöründe ciddi olarak eksikliği hissedilen teknik resim okuma ve imalatta resimler üzerindeki detayları doğru biçimde uygulamaya destek olmak üzere, yüzey pürüzlülüğü ve geometrik tolerans verme bilgisi başta olmak üzere tüm konu başlıklarında AG uygulamaları geliştirilmiştir. Uygulamaları geliştirilirken ihtiyaç analizleri ve beklenti çalışmaları doğrultusunda içerik ve materyal geliştirme çalışmaları yapılmıştır. AG uygulamaları geliştirilirken Unity3D ortamına aktarılacak parçalar en optimum mesh yapısıyla obj veya fbx dosya formatına dönüştürülmüştür. Unity3D ortamında AG uygulaması geliştirmek için Google ARCore kütüphane ve QR kod tarama için ilgili kütüphane de Unity3D ortamına eklenmiştir. Hazırlanan senaryolara uygun olarak animasyonlar ve bu animasyonları yönetebilmek için de ara yüz tasarımı gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Arttırılmış Gerçeklik, Sanal Gerçeklik, Teknik Resim Eğitimi, Mesleki ve Mühendislik Eğitimi

**2019, xi + 65 sayfa**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

DEVELOPMENT OF APPLICATION OF VIRTUAL & AUGMENTED REALITY TO USE  
MECHANICAL AND MANUFACTURING ENGINEERING

**Muhammed KOFOĞLU**

Bursa Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Abdil KUŞ

Technical drawing training has an important place among basic engineering trainings. Especially due to the lack of technical drawing reading skills of the new graduates, the number of discarded products in the machinery and manufacturing sector increases while the productivity in production decreases. In order to eliminate this important problem and meet the expectations of the sector in this field, the ability to read Technical Drawing should be gained during vocational and engineering education. In this study; supportive virtual (VR) and augmented reality (AR) applications have been developed in order to meet the educational material needs of trainers and to improve the learning performance of the students and to meet the expectations of the sector. The AR is also a way to help individuals learn lifelong in terms of installation, use and sustainability, and to provide a more understandable transfer of knowledge and skills. In this study, AR applications have been developed in all subject titles, including surface roughness and geometric tolerance information, in order to support the correct application of the details on the drawings in technical drawing reading and manufacturing, which are seriously lacking in the machinery manufacturing sector. While developing its applications, content and material development studies were conducted in line with needs analysis and expectations studies. While developing AR applications, the parts to be transferred to Unity3D environment have been converted to obj or fbx file format with optimal mesh structure. Google ARCore library to develop AR application in Untiy3D environment and related library for QR code scanning have also been added to Unity3D environment. The animations were designed in accordance with the scenarios and the interface was designed to manage these animations.

**Key Words:** Augmented Reality, Virtual Reality, Technical Drawing Training, Vocational and Engineering Education

**2019, xi + 65 pages.**

## TEŐEKKÖR

Yüksek Lisans Tez hazırlama sürecinde ivedilikle yardım eden ve yol gösteren değerli hocalarım Prof. Dr. Abdil KUŞ ve Prof. Dr. Rıdvan ARSLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, AB Erasmus+ Programı Mesleki Eğitim Stratejik Ortaklıklar kapsamında yürütölmekte olan 2017-1-TR01-KA202-45941 numaralı "Virtual and Augmented Reality (V&AR) in Design for Manufacture" isimli proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Muhammed KOFOĞLU

05/07/2019



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Teknolojinin Tarihçesi.....	5
2.2. Sanal Gerçeklik.....	6
2.3. Arttırılmış Gerçeklik.....	7
2.4. Karma Gerçeklik.....	12
2.5. Yazılımlar .....	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	15
3.1. İçerik Geliştirme .....	15
3.2. Materyal Geliştirme .....	16
3.2.1. Animasyon hazırlanması .....	18
3.2.2. Arayüz tasarımı.....	20
4. BULGULAR .....	24
4.1. Yüzey Pürüzlülüğü .....	30
4.1.1. Yüzey pürüzlülük parametreleri .....	30
4.1.2. Yüzey işleme işaretleri .....	41
4.2. Geometrik Toleranslar .....	42
4.2.1. Silindiriklik .....	42
4.2.2. Salgı, alın salgısı, toplam salgı ve toplam alın salgısı .....	43
4.2.3. Doğrusallık .....	46
4.2.4. Düzlemsellik .....	46
4.2.5. Simetriklik .....	47
4.2.6. Diklik .....	48
4.2.7. Eşeksensellik/Eşmerkezlilik .....	49
4.2.8. Açılılık .....	50
4.2.9. Yuvarlaklık .....	50
4.2.10. Konum.....	51
4.2.11. Paralellik.....	53
4.3. Montaj ve Montaj Resimleri .....	54
4.4. İz Düşümler .....	55
4.4.1. Perspektif ve görünüş çıkarma.....	55
4.4.2. Kesitler.....	56
4.5. Geçmeler.....	57
4.6. SG Uygulama Geliştirilmesi.....	57
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	60
KAYNAKLAR .....	62
ÖZGEÇMİŞ .....	65



## KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Kisaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AG	Arttırılmış Gerçeklik
BS	British Standards (İngiliz Standartları)
CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CFD	Computational Fluid Dynamics (Hesaplama Akışkanlar Mekaniği)
GPS	Global Positioning System (Küresel Konum Belirleme Sistemi)
ISO	International Standards Organization (Uluslararası Standart Organizasyonu)
MAG	Metal Active Gas (Metal Aktif Gaz)
SAM	Sustainable Advanced Manufacturing (Sürdürülebilir İleri Üretim)
SG	Sanal Gerçeklik
VR	Virtual Reality (Sanal Gerçeklik)
VRML	Virtual Reality Modelling Language (Sanal Gerçeklik Modelleme Dili)
XR	Mixed Reality (Karma Gerçeklik)

QR

Quick Response  
(Hızlı Cevap)



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Otomobillerde AG kullanımı .....	5
Şekil 2.2. Bir SG oyununun ekran görüntüsü.....	6
Şekil 2.3. Video görüntülerinin üzerine sanal nesnelere kaplanarak AG görüntü elde edilmesi .....	8
Şekil 2.4. Gerçekliği artırma modeli .....	12
Şekil 3.1. Uygulama geliştirme süreci.....	15
Şekil 3.2. Senaryoların hazırlanması .....	16
Şekil 3.3. Seçilen örnek parçanın; a) katı modeli, b) düşük yoğunluktaki mesh yapısı, c) orta yoğunluktaki mesh yapısı ve d) yüksek yoğunluktaki mesh yapısı .....	17
Şekil 3.4. Animasyonların hazırlanması.....	18
Şekil 3.5. Animasyon etüdü.....	20
Şekil 3.6. Arayüz tasarımı .....	20
Şekil 3.7. Uygulamanın arayüzü .....	21
Şekil 3.8. Animasyonu yönetmek için hazırlanan arayüz .....	21
Şekil 3.9. Animasyonlardaki genel menü tuşu içeriği .....	22
Şekil 3.10. Animasyonu yönetmek için yardım menüsü .....	22
Şekil 3.11. Geometrik toleranslardaki menü tuşu içeriği .....	23
Şekil 3.12. Uygulama arayüzünde kullanılan tuşlar ve işlevleri .....	23
Şekil 4.1. Unity3D ortamında içerik geliştirilmesi.....	25
Şekil 4.2. Toleransın kullanıcı açısından anlaşılabilirliğinin test edilmesi .....	26
Şekil 4.3. Parmak ile kontrol .....	27
Şekil 4.4. QR kod okuma .....	28
Şekil 4.5. Animasyona giriş videosu .....	30
Şekil 4.6. Uygulamada referans olarak kullanılan aracın 3D modeli.....	30
Şekil 4.7. Parça üzerinden ölçüm yapılması.....	31
Şekil 4.8. Pürüzlülüğü ölçülen bölgenin büyütülmesi.....	32
Şekil 4.9. Pürüzlü şeklin üç boyutlu olarak gösterilmesi .....	33
Şekil 4.10. Tek bir cut off bölgesi .....	33
Şekil 4.11. Ölçülen beş cut off bölgesi.....	34
Şekil 4.12. Ra değerinin ölçülen bölgede tanımlanması .....	35
Şekil 4.13. H değerinin gösterilmesi .....	35
Şekil 4.14. L değerinin gösterilmesi.....	36
Şekil 4.15. T değerinin gösterilmesi.....	36
Şekil 4.16. Pürüzlülük parametrelerinin birlikte gösterilmesi.....	37
Şekil 4.17. Bir cut off'taki Rz değerinin gösterilmesi.....	37
Şekil 4.18. Her bir cut off aralığında Rz değerlerinin gösterilmesi.....	38
Şekil 4.19. Ölçüm aralığında Rmax değerinin gösterilmesi.....	39
Şekil 4.20. Pt değerinin tanımlanması .....	39
Şekil 4.21. Pürüzlerin ortasından geçen eğrinin üst noktasının sınırlandırılması .....	40
Şekil 4.22. Wt dalgalılık boyunun gösterilmesi .....	41
Şekil 4.23. Yüzey işleme işaretlerine eklenen sembollerin anlamları.....	41
Şekil 4.24. Yüzey işleme işaretlerinin anlamları.....	42
Şekil 4.25. Silindiriklik toleransının animasyonu .....	42
Şekil 4.26. Silindirikliğinin ölçülmesi.....	43
Şekil 4.27. Salgı toleransı animasyonu.....	44

Şekil 4.28. Toplam salgı için farklı noktalardan ölçüm yapılması.....	44
Şekil 4.29. Alın salgısının gösterilmesi.....	45
Şekil 4.30. Alın salgısının ölçülmesi.....	45
Şekil 4.31. Doğruluk toleransı animasyonu .....	46
Şekil 4.32. Düzlemsellik toleransı animasyonu .....	47
Şekil 4.33. Simetriklik toleransı animasyonu.....	47
Şekil 4.34. Diklik toleransı animasyonu.....	48
Şekil 4.35. Eşeksensellik/Eşmerkezlilik toleransı animasyonu.....	49
Şekil 4.36. Açılılık toleransı animasyonu.....	50
Şekil 4.37. Yuvarlaklık toleransı animasyonu.....	51
Şekil 4.38. Konum toleransı animasyonu.....	52
Şekil 4.39. Maksimum malzeme şartının gösterilmesi.....	52
Şekil 4.40. Paralellik toleransı bilgisinin parça üzerinde gösterimi .....	53
Şekil 4.41. Montajlama animasyonu .....	54
Şekil 4.42. Montaj resimleri animasyonu.....	55
Şekil 4.43. Perspektif görünüş.....	55
Şekil 4.44. Kesit alma animasyonu .....	56
Şekil 4.45. Mil-delik geçme animasyonu.....	57
Şekil 4.46. SG uygulamasının ekran görüntüsü .....	58
Şekil 4.47. Paralellik toleransının AG uygulamasında SG modunda incelenmesi.....	59

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Animasyonlarda kullanılan yardımcı modeller.....	19
Çizelge 4.1. Uygulamanın etkileşim yetenekleri .....	26
Çizelge 4.2. QR kodlar ve ait oldukları animasyonlar .....	29



## 1. GİRİŞ

Teknolojideki gelişmelere paralel olarak AG ve SG teknolojileri de çok hızlı bir şekilde gelişmektedir. Öğrencilerin de gelişen teknolojilerle birlikte değişen dünyaya uyum sağlamalarına yardımcı olacak güncellenmiş bilgilerle donatılmış olmaları gerekmektedir (Ghavifekr ve ark. 2016). Mesleki eğitim ve mühendislik eğitimleri kapsamında verilen teknik resim derslerinde öğretilen kuralların yeterince iyi öğrenilmesi sağlıklı bir teknik iletişim için büyük öneme sahiptir. Teknik resim dersleri esasen mühendislik nesnelere iki boyutlu çizimlerinin öğrencilere aktarılmasını sağlamaktadır. Üç boyutlu nesnelere iki boyutlu teknik resimleri arasındaki ilişkiyi öğrencilere, zamanın kısıtlı olduğu ortamlarda iki boyutlu kâğıt ve tahta kullanılarak anlatılması eğitmenler için çok zorlu bir görevdir (Chen ve ark. 2011). Bu zorlukları aşabilmek için günümüzde her alanda olduğu gibi AG ve SG uygulamaları önemli bir fırsat oluşturmaktadır. Akkuş (2016) bilgisayar destekli teknik resim derslerinde kullanılan AG uygulamalarının makine mühendisliği öğrencilerinin uzamsal yetenekleri ve akademik başarılarına etkilerini incelemiştir. Akkuş (2016) AG uygulamalarının özellikle mühendislik öğrencilerinin eğitimine önemli katkılar sağlayacak potansiyele sahip olduğunu vurgulamaktadır. Nesterov ve ark. (2017) AG teknolojilerinin pahalı laboratuvar ekipmanlarının yerine geçerek öğrencilerin ilgi seviyesinin arttığını iddia etmektedir.

Somyürek (2014) AG teknolojilerinin eğitim amacıyla kullanıldığı alanlardan bazılarını; iki boyutlu kitaplara üçüncü bir boyut kazandırma, bilişsel ve psikomotor bakım/onarım görevleri hakkında eğitim verme, mühendislik eğitiminde araçlar ve malzemeler hakkında bilgi/beceri kazandırma gibi çok geniş bir uygulama alanı olarak ifade etmektedir. Balak ve Kısa (2017) çalışmalarında AG teknolojisinin teknik resim eğitiminde kullanılması konusunu araştırmışlar ve teknik resim dersinde AG kullanılmasının mühendislik öğrencileri için çok kritik bir öneme sahip olduğunu vurgulamışlardır. Nee ve ark. (2012) tasarım ve imalatta AG uygulamalarının geliştirilmesini gözden geçirmiştir. Çalışmada AG uygulamalarını imalat mühendisliği

alanında güçlü bir araç haline getirmek için, sezgisel ve etkili ara yüzlere uygun içerik geliştirilmesinin, tasarlanmasının ve sunulmasının önemini vurgulanmıştır. Li ve ark. (2017) çalışmalarında, mühendislik veri türlerini içeren analiz ve simülasyonların bir AG platformu kullanarak doğru ve etkili bir şekilde görselleştirilmesinin yanlış öğrenme ve yorumlamayı azalttığını belirtmişler.

Webel ve ark. (2013) AG ve SG teknolojilerinin eğitimde yardımcı ekipman olarak bakım onarım ve montaj operasyonlarının anlatımı için kullanılabileceğini ifade etmiştir. AG ile eğitim, mekândan bağımsız olduğundan dolayı istenilen yerde gerçekleştirilebilir. Bu sayede sanal parçaların herhangi bir ortamda montajı ve bir makinenin bakımı yapılabilir. Ayrıca sanal parça ve makinelerin, bakım ve montaj talimatlarının ve tanıtım videoları her bir eğitim için üretilmesi gereken ürün olmadıklarından maliyetleri sadece hard disk içinde kapladıkları baytlar ve ilk satın alınma ücretleri olmaktadır (Kofoglu ve ark. 2018).

Son yıllarda, AG uygulamaları masaüstü bilgisayardan mobil cihazlara doğru geçiş göstermiştir. Taşınabilirlik kolaylığı ile mobil platformlar, mühendislere, yerinde bulunan ilgili bilgilere uygun erişim imkânı sağlamıştır. Mühendislik analizinde AG'nin görsel ve mobil platformlardaki uygulamaları ile karşılaştırıldığında her tekniğin, uygulamada birtakım artıları ve eksileri olduğu ve geliştirme sürecinin yoğun biçimde devam edeceği düşünülmektedir. AG'nin geleceğinin tamamen işlevsel bir mobil AG platformu şeklinde olacağı ve bu geliştirme fazının henüz emekleme aşamasında olduğu belirtilmektedir (Li ve ark. 2017). AG mühendislik uygulamalarının henüz karmaşık 3D modellerin fotogerçekçi sunumunda donanım ve yazılım eksikliklerin ve geliştirilmesi gereken kısımlarının olduğu açıktır (Pejić ve ark. 2014). AG uygulama geliştiricileri bu eksiklikleri gidermek üzere çalışmalarını sürdürmektedir ve geleceğin mühendislik çözümlerinde AG'nin çok etkin olacağı söylenebilir.

Mühendislikte bir iletişim dili olan teknik resmi, her mühendisin kolayca anlayabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle mühendislik eğitiminde teknik resim önemli bir yere sahiptir. Ders ortamında kısıtlı süre ve araç-gereçlerle anlatılan teknik resmin kolayca

anlaşılabilmesi için iki boyutlu nesnelere AG ile üçüncü bir boyut kazandırılmaktadır. Böylece parçalar üzerindeki detaylar öğrenci tarafından daha kısa sürede anlaşılabilmekte ve yanlış veya eksik öğrenme minimize edilmektedir.

Mesleki ve mühendislik eğitimlerinde yazılı ve sözlü eğitim alanlarından farklı olarak sınıf ortamında şekillerin, resimlerin ve üç boyutlu geometrilerin temsil edilmesi gerekir. Bu ihtiyacın karşılanması için genellikle yüksek donanımlı sınıf veya laboratuvar ortamları kullanılmaktadır. Bahsi geçen donanımlara sahip olmasıyla kurumların eğitimdeki verimlilikleri nispeten değişiklik göstermektedir. AG ve SG uygulamaları ile bu donanımlar modellenerek öğrencilerin derslere olan ilgisi artırılabilir. Ayrıca pahalı laboratuvar ekipmanlarını sanal modelleri ile değiştirerek görselleştirilebilir ve AG teknolojisiyle bu nesnelere içerik bilgisi, animasyon ve sesli anlatımlar eklenebilmektedir. Nesterov ve ark. (2017) göre AG destekli eğitim materyalleri kullanılmasıyla mesleki eğitim kalitesi artmaktadır.

Yap ve ark. (2014) makine imalat ve yapı inşaatı sektörlerinde kalifiye kaynakçı ihtiyacını karşılamamanın zorluklarını dikkate alarak kalifiye kaynakçı eğitime yönelik SG uygulaması geliştirmişler. Bu uygulamada kullanıcı sanal gözlük ve kalem yerine de kaynak torcu bağlanmış bir stylus kullanarak MAG (Metal Active Gas) kaynağı simülatörünü kullanmaktadır. Uygulama kullanıcının hareketlerine göre simüle olup kullanıcıya sanal bir kaynaklama deneyimi sunmaktadır. Yap ve ark. (2014) göre, bu ve benzeri uygulamalarla modern kaynak eğitimlerinin maliyetlerini azaltmak mümkündür.

Ong ve ark. (2008) AG'nin, sanal bilgisayar tarafından üretilen bilgileri gerçek bir dünya ortamına yerleştiren yeni bir insan-makine etkileşimi olduğunu belirtmektedir. Yazarlar AG'nin son on yılda askeri eğitim, sağlık, eğlence, bakım, montaj, ürün tasarımı ve diğer üretim faaliyetleri gibi birçok alanda büyük bir potansiyel uygulama alanı bulunduğunu belirtmektedir. İnsan bilgisayar etkileşimini arttırmak amacıyla yapılan çalışmalar neticesinde AG için birçok kütüphane oluşturulmuştur (Özarslan 2013). Açık kaynak olarak temin edilebilen birçok AG ve SG kütüphaneleri vardır. Böylece ücretsiz olarak



AG ve SG uygulamaları geliştirilebilmektedir. Bu yazılımlara örnek olarak kullanıcılarına sunduğu avantajlarla “Unity3D” çok fazla tercih edilmektedir.

Makine ve imalat sektöründe hatalı olarak üretilen ürünler operatör, tekniker veya mühendislerin deneyim, dikkat ve bilgi eksikliklerinden kaynaklanabilmektedir. Bu tez çalışmasında makine ve imalat sektörlerinde bilgi eksikliği en çok hissedilen teknik resim hazırlama, teknik resim okuma, geometrik toleranslar ve yüzey pürüzlülük toleranslarının makine, imalat ve mesleki ve mühendislik eğitimlerine yönelik mobil AG ve SG uygulamaları geliştirilmiştir. Bu tez çalışması ile birlikte mühendislik sistemleri, imalat ve montaj resimlerinde kullanılan, temel ve ileri düzeydeki kavramların / resimlerin / parçaların SG ve AG ortamına aktarılarak kolaylıkla anlaşılabilir / algılanabilir olması amaçlanmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda elde edilecek AG ve SG uygulamalarının yukarıda bahsedilen eksikliği gidererek kişilerde öğrenme algısını yükseltmesi ve bu sayede sektördeki hatalı parça üretimini en aza indirilmesi beklenmektedir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Teknolojinin Tarihçesi

SG modelleme dili ile (VRML, Virtual Reality Modelling Language), bir başlığa bağımlı kalmadan “sanal dünyalar”ın geliştirilmesi amaçlanmış ve ilk kez 1994’da tanıtılmıştır (<https://www.w3.org>, 2018).

Akıllı telefonların yaygınlaşmasıyla SG teknolojisi kullanılan uygulamaların geliştirilmesi hız kazanmıştır (<https://www.wired.com>, 2018). SG gözlükleri, akıllı telefonların hâlihazırda kullandıkları jiroskop, kamera ve hareket sensöründen veri alarak ana ekranından kullanıcıya SG sunabilir hale gelmiştir. SG geliştirme yöntemlerinin sahip olduğu yetenekler farklı kullanım alanlarında birbirlerine göre üstünlükler sağlamaktadır. AG, gerçek nesnelerin üzerine onlarla ilgili yardımcı bilgilerin yerleştirilerek sunulması için uygundur. Örneğin; Şekil 2.1’de gösterildiği gibi bir otomobilin ön camından sürücüye, yol güzergahı, gezilecek yerler, trafik kuralları, trafik yoğunluğu ve yayalar hakkında bilgiler sunulabilir. Bu konuyla ilgili International Summit On Augmented Reality In The Automotive Industry’de araçlarda AG teknolojisinin kullanımına yönelik çalışmalar sergilenmiştir (Wassom 2019).

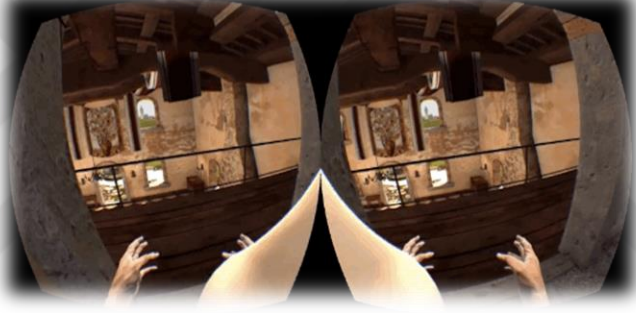


Şekil 2.1. Otomobillerde AG kullanımı (Palladino 2019)

SG uygulamaları ise yangın, sel, deprem, iş sağlığı ve güvenliği vb. acil durumların simüle edildiği eğitimlerde kullanılmaktadır. Karma gerçeklik yöntemi ise SG ve AG'nin yetersiz veya zayıf kaldığı simülasyon veya uygulamalarda öne çıkmaktadır.

## 2.2. Sanal Gerçeklik

SG kavramı, bütün ortam ve nesnelerin bilgisayar ile oluşturularak dış ortamdan tamamen bağımsız bir şekilde bilgisayar ekranından kullanıcıya sunulmasıdır. Berg ve Vance'a (2017) göre SG üç boyutlu hesaplama teknolojisidir ve sürekli büyüyen dijital manzara ile insanların gerçekliğin ötesinde bir dünya olarak derinlemesine etkileşmesine olanak sağlayan eşsiz bir yoldur. SG uygulamaları daha çok oyun sektörlerine yönelik geliştirilmektedir. Şekil 2.2'de bir SG oyununun ekran görüntüsü gösterilmektedir.



**Şekil 2.2.** Bir SG oyununun ekran görüntüsü (<https://www.realite-virtuelle.com>, 2019)

Fu ve ark. (2010) SG uygulamaları ile CFD (Computational Fluid Dynamics) verilerini incelemek için geliştirmişler. Fu ve ark. (2010) göre disiplinler arasındaki iletişim kurma amacıyla CFD verilerini sunma yönünden sıradan bilgisayar ile karşılaştırıldığında SG ortamı çok daha ikna edicidir. Autodesk firması 2017 yılında CFD verilerini SG uygulamalarına aktarmaya yönelik bir sunum gerçekleştirmiştir. Autodesk yaptığı sunumda CFD verilerini SG uygulamalarında görselleştirmenin kullanıcılara sağladığı

fayda ve fırsatları vurgulamıştır (<https://www.autodesk.com>, 2019). SG teknolojisi günümüzde CFD sunumları için sorunsuz olarak kullanılabilir bir araçtır.

Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarında yapılan çalışmalarda rüzgâr girdaplarının davranışlarını incelemek için hazırlanan CFD verileri bir SG ortamında sergilenmiştir. Berg ve Vance'a (2017) göre bilim adamları oluşan girdapların davranışlarını daha iyi anlayabilmeleri için etkileşimli SG simülasyonlarını kullanmaları gerekmektedir. Böylece bilim adamları ve tasarımcılar daha iyi bir tasarım ortaya koyabilirler. Laboratuvarda gerçekleştirilen başka çalışmalarda malzemelerin içyapılarını incelemek için de SG teknolojisi kullanılmıştır. Berg ve Vance (2017) bu verilerin gerçek hayatta bir temsili olmadığı için SG ortamında verilerin zengin bir içerikle temsil edilmesi masaüstü bilgisayarların iki boyutlu ekranlarındaki incelemelere göre daha verimli olduğunu ileri sürmektedir. Berg ve Vance'a (2017) göre SG ile görselleştirme, bilimsel araştırma süreçleri için destekleyici niteliktedir.

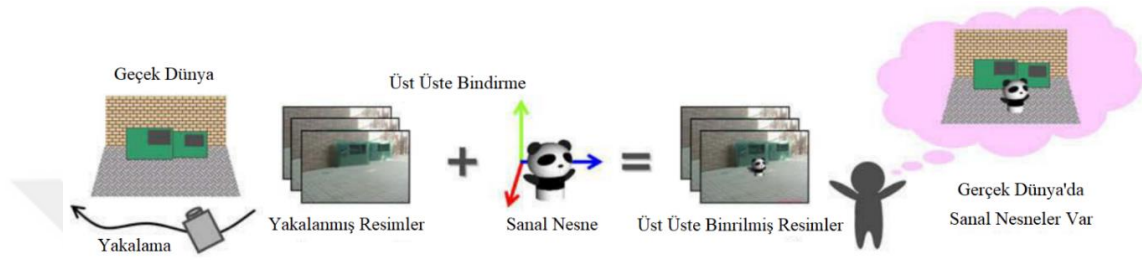
Yine SG, yeni ürün tasarımında etkileyici bir tasarım aracı olarak karşımıza çıkmaktadır. Ürün geliştirme süreçlerine tüketicilerin de, bir SG uygulaması vasıtasıyla, kısmen dâhil edilmesiyle tüketicilerin kendi ihtiyaçlarına göre ürün tasarlanmasına yardımcı olabilmektedir (<https://www.sciencedaily.com>, 2019). Benzer şekilde AG/SG ile proje aşamasındaki bir bina inşaat alanında şehrin içindeki gerçekçi görünümü üç boyutlu olarak gösterilebilmekte, öngörülen veya mevcut bir araba tasarımı üzerinde değişiklikler yapılabilmekte, taşıt tasarımına üç boyutlu ve etkileşimli notlar yerleştirilebilmektedir (<https://www.sciencedaily.com>, 2019).

### **2.3. Arttırılmış Gerçeklik**

AG kavramı, gerçek hayattan elde edilen görüntülerin üzerine bilgisayar ortamında oluşturulmuş olan nesnelerin eklenerek bilgisayar ekranından kullanıcıya sunulmasıdır. AG uygulamalarında yaygın olarak kullanılan "Unity3D" yazılımı ile AG uygulaması geliştirmek için "vuforia" sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca vuforia haricinde ARKit,

ARCore, ARtools,... gibi yardımcı kütüphaneler de mevcuttur. Bu paketin içinde AR Camera, ImageTarget, MultiTarget, ObjectTarget gibi kullanıma hazır kodlar bulunmaktadır.

Elbasiouny ve ark. (2011) göre AG uygulamaları, bilgisayar tarafından oluşturulan metin, ses ve diğer verilerle güçlendirilen gerçek görüntülerin kullanıcıya sunulması kullanıcının dünyaya bakışını güçlendiren ileri bir teknolojidir (Şekil 2.3).



**Şekil 2.3.** Video görüntülerinin üzerine sanal nesnelere kaplanarak AG görüntü elde edilmesi (Elbasiouny ve ark. 2011)

AG teknolojisi son zamanlarda üretici, bireysel kullanıcı ve araştırmacıların çok daha fazla ilgisini çekmektedir. Örneğin Pokemon Go uygulaması insanların AG teknolojisine aşina olmalarını sağlayan başarılı bir AG uygulaması olmuştur (<https://www.sciencedaily.com>, 2019). Bu teknoloji kullanıcılara henüz keşfedilmeye yeni başlanan dünyaların kapılarını aralamaktadır. Bu nedenle her geçen gün AG üzerine yeni çalışmalar yapılmaktadır. AG tekniğinde, kameradan elde edilen gerçek görüntünün üzerine sanal nesnelere bir kaplama gibi giydiriliyor olması yani sanal nesnelere gerçek hayat ile etkileşimli olması kullanıcının yeteneklerini arttırmasının yanı sıra aslında bu tekniğin en büyük zorluğudur. Gerçek dünya ile uyumlu bir şekilde etkileşmek için AG uygulamasının gerçek dünya ile bir veya birden fazla referansla sürekli bağlantılı olması gerekmektedir. Bu nedenle bilim insanları, mühendisler ve araştırmacılar bazı yöntemler geliştirmiş ve halen yeni yöntem ve teknikler aramaktadırlar.

Gerçek dünya ile anlık haberleşmek için geliştirilen yöntemlerin en temel şekli, uygulamanın veri tabanına uygulama kurulurken eklenmiş iki boyutlu basit bir resmi referans almaktır. Bu yöntemde uygulama, kameradan gelen görüntüleri anlık olarak tarayarak önceden tanımlanan resmi bularak bu resmi üç boyutlu uzayda referans noktası olarak kullanmaktadır. Diğer bir referans alma yöntemi tablet veya akıllı telefonların GPS (Global Positioning System) bilgisidir. GPS'ten gelen konum bilgisi uygulamanın, sanal nesnelere yerleştirirken kullanılan cihazın konumuna göre sanal nesnelere yerlerini belirlemesini sağlamaktadır.

İlerleyen teknolojilerle cisimlerin derinliğini algılayabilen kameraların mobil cihazlara adapte edilmesiyle AG uygulamalarına üç boyutlu uzayda yüzey tarama yeteneği kazandırılmıştır. Esasen bahsi geçen özelliklerin hepsinin veya birkaçının birlikte kullanıldıkları uygulamalar AG'nin gerçek dünya ile etkileşimini en üst seviyeye taşımaktadır. Genel itibari ile AG uygulamaları mobil cihazın GPS, jiroskop ve kamera donanımlarını yoğun bir şekilde kullanmaktadır.

Liarokapis ve ark. (2004) AG teknolojilerini kullanarak bir müze uygulaması geliştirmiştir. Liarokapis ve ark. (2004) geliştirilen AG uygulamasının kültürel mirasın tarihi, anlamı ve önemi açısından bilgilendirici olduğunu düşünmektedir.

Kömürle çalışan güç santrallerinde stajyerlerin santralde gerçekleşen olayları doğru bir şekilde anlamaları büyük öneme sahiptir. Moreland ve ark. (2013) güç santrallerinde güç üretmek amacıyla kullanılan ocakların içindeki olayları AG teknolojisi ile görüntüleyerek katılımcıların ocaklardaki akışkan hareketlerini daha iyi anlamalarını sağlamıştır. Bu çalışmada yanma odalarının ölçekli modeline Gambit ortamında basınç ve sıcaklık gibi parametrelere sınırlar tanımlanarak Fluent ile ısı analizleri yapılmış ve elde edilen CFD sonuçları 3Ds MAX ile görselleştirilmiştir. Ardından veriler D'fusion araç kiti ile AG ortamına aktarılarak incelenmiştir.

Bina tasarımlarında ısı analizler binanın yaşam konforu hakkında önemli bilgiler içermektedir. Yokoi ve ark. (2016) binalardaki ısı dağılımının sonlu elemanlar yöntemi ile hazırlanmış üç boyutlu CFD modelini AG ortamına aktararak incelemişler. Yokoi ve ark. (2016) göre ısı dağılımını SG ortamında incelemek hem zaman alıcı hem de zahmetli bir hazırlık evresi gerektirmekte olduğu için verileri AG ortamında incelemek zaman ve çaba açısından daha verimli olmaktadır. Uygulama bir işaretçiyi referans alarak CFD verilerini gerçek ortam görüntüsünün üzerine kaplamaktadır. Bu yöntemle tasarımcılar CFD verilerinin içinde dolaşarak gerçek zamanlı olarak verileri inceleme imkânı bulmaktadır. Yokio ve ark. (2016) göre bu sayede tasarımdaki karar alma süreçleri kısaltılarak zaman daha verimli kullanılmaktadır.

Üretim sektörü Endüstri 4.0'a geçiş yapmaktadır. AG teknolojileri zaman, çaba ve verimliliğin çok önemli olduğu Endüstri 4.0'ın bir parçasıdır. Endüstriyel anlamda AG uygulamaları da bu gelişmelere paralel olarak geliştirilmektedir. Üretim planlama, parça düzenleme, çarpışma algılama ve varyans karşılaştırması gibi görevler AG ile uygulandığında gerçek dünya ile dijital dünya arasındaki geçişleri sağlayarak üretim hatlarındaki ve/veya üretim planlamadaki hataları en aza indirgeyebilir (Pentenrieder 2009). Pentenrieder (2009) geliştirilen Roivis uygulaması üzerinde yaptığı çalışmalarda başarı ile uygulanmış olan engelleyici kenar analizi, konsept planlama, atölye planlama, parça doğrulama ve varyans karşılaştırma süreçlerini ele almıştır.

Üretim planlamanın diğer bir konusu da makinelerin fabrika içindeki düzenleridir. Herr ve ark. (2017) makinelerin verimli bir şekilde yerleştirilmesine yardımcı olan bir AG uygulaması geliştirmişler. Bu uygulamada bilgisayar ortamında fabrikanın mevcut şartları İleri Üretim için Simülatör (SAM, Sustainable Advanced Manufacturing) programında modellendikten sonra oluşturulan üç boyutlu modeller AG teknolojisi ile görselleştirilmiştir. Bu uygulamayla kullanıcılar fabrika içindeki düzenlemeyi incelerken üzerinde gerçek zamanlı olarak da değişiklik yapabilmektedir. Herr ve ark. (2017) göre AG uygulamaları gerçek hayatla sürekli iletişim halinde olduğu için karar almak

kullanıcılar için daha kolaydır. Bununla birlikte makinelerin fabrika içindeki yerleşimlerini anlık olarak modellemek veya büyük değişiklikleri gerçek hayatta tatbik ederek etkilerini görmek hem zaman alıcı hem de maliyetlidir.

Gelişen teknoloji ve artan rekabet ile üreticiler firma giderlerini azaltmanın yollarını araştırmaktadır. Özellikle makine imalatı yapan firmalarda, makinenin imalatı için sarf edilen maliyetlerin yanında önemli yer tutan ve ürünlerin fiyatlandırmasında göz önünde bulundurulması gereken bir gider olarak ürünün yaşam döngüsü boyunca üretici tarafından sunulacak bakım onarım maliyetleridir. Mourtzis ve ark. (2017) bakım maliyetlerinin bir ürünün toplam maliyetinin %60-70'ini teşkil etmesinden dolayı bu maliyetleri düşürmek için geliştirdikleri Ürün-Hizmet odaklı sistemi imalat sonrasındaki bakım ve onarım hizmetleri için kullanmışlar. Mourtzis ve ark. (2017) önerdikleri sistemi bir bulut veri tabanı ile desteklenen AG uygulaması olarak sunmuşlar. Uygulama, bir arıza durumunda teknisyenleri, önceden oluşturulmuş veya üretici firmanın destek personelinin o anda oluşturabileceği AG sahneleri ile yönlendirmektedir. Kullanılan sistem ile teknisyenlerin daha kısa sürede daha az bir çaba ve bilgi ile arızayı gidermesi veya makinenin bakımını yapması sağlanmıştır. Mourtzis ve ark. (2017) sistemi bir robot firmasında uygulayarak 1370 € tutarındaki bakım görevini sadece 150 €'a düşürmüştür.

Bordegoni ve ark. (2014) uzaktan bakım desteği vermek üzere benzer bir AG uygulaması geliştirmişler. Herhangi bir arıza durumunda arızanın tespiti için tecrübesiz operatör önce geliştirilen uygulamayla arızalı bölgenin resmini tecrübeli operatöre göndermektedir. Tecrübeli operatör bakım desteği için gerekli talimatları resim üzerine ekleyip sisteme yüklemek suretiyle diğer operatöre iletmektedir. Bakım talimatları AG ile arızalı bölge üzerinde gösterilmektedir. Böylece operatör herhangi bir bakım kılavuzu kullanmadan arızayı giderebilmektedir. Bu uygulamayı durum çalışmasıyla test etmek amacıyla bir otomobilin arızasının giderilmesi için tecrübeli bir operatörün vasıfsız birine geliştirilen uygulamayı kullanarak yardımcı olma durumu incelenmiş ve başarılı sonuçlar alınmıştır.

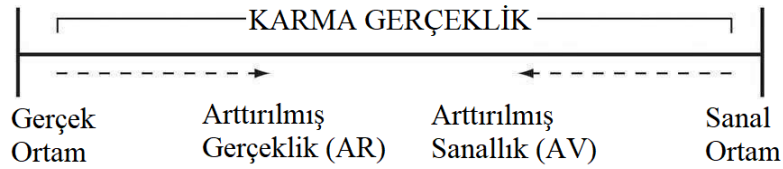


Bordegoni ve ark. (2014) göre geliştirilen uygulama şirketlerin bakım maliyetlerini; ulaşım, eğitim ve hızlı müdahale açısından düşürmektedir.

Birçok alanda başarı ile kullanılan AG ve SG uygulamaları vardır. Özellikle havacılık ve tıp gibi alanlarda çok fazla uygulama örneği olan bu teknolojiler endüstriyel alanlarda da kullanılmaktadır. Quandt ve ark. (2018) göre endüstriyel alanlarda uygulama geliştirmek diğer alanlara nispeten daha zordur çünkü endüstride iş akışları, zorlu ortamlar, belirli kalite standartları ve ergonomik şartlar uygulama geliştirme süreçlerini zorlaştırmaktadır. Bu zorluklara rağmen endüstriyel, alanda AG'nin gerek maliyetinin düşük olması gerekse donanım ve yazılımlarının kolay erişilebilir olması hasebiyle kullanımı her geçen gün artmaktadır. AG teknolojisinin, sanayiye uygulanabilirliği ve sürdürülebilir olması nedeniyle sanal ve karma gerçekliğe göre daha çok tercih edilmektedir.

#### 2.4. Karma Gerçeklik

Karma gerçeklik kavramı, Şekil 2.4'de gösterildiği gibi gerçek ortam ile sanal ortam arasında kalan bir yöntem olup bu yöntemde sanal nesnelere gerçek nesnelere göre şekil ve konumlarıyla etkileşim halindedir.



Şekil 2.4. Gerçekliği artırma modeli

Literatürde “mixed reality” olarak adlandırılan karma gerçeklik, AG ve SG teknolojilerinin bir karması gibi düşünülebilir. Karma gerçekliği tanımlamak için Şekil 2.4'deki gerçekliği artırma modeli kullanılmaktadır. SG ile gerçek ortam arasında geliştirilen uygulamaların tümü karma gerçeklik olarak nitelendirilmektedir. Karma gerçeklikte kullanılan donanım, üzerindeki sensörler ile ortamı algılayarak ortamı mesh

yapısıyla örer. Bu sayede ortam bilgisayar için daha anlamlı hale gelmiş olur. Her bir sanal nesne bu ortamın içerisinde hareket ettiği için nesnelerin izafi hareketlerinin işlemci tarafından hesaplanarak ekrana yansıtılması gerekmektedir. Bu nedenle karma gerçeklik cihazlarının güçlü işlemcilere ihtiyaç duyarlar ve dolayısıyla karma gerçeklik cihazları AG ve SG cihazlarından daha pahalı olmaktadır.

## **2.5. Yazılımlar**

SG uygulamalarında kullanılan nesnelerin oluşturulması, hareketlendirilmesi ve başka birçok işleve sahip olması kullanılan yazılımlar ile sağlanmaktadır. Burada bir nesneyi CAD (Computer Aided Design) programında çizerek Unity3D'ye aktarıp C# ile programlama konuları özetlenmiştir.

SG, AG veya karma gerçeklik uygulamaları geliştirilirken genellikle Unity3D programı kullanılmaktadır. Unity3D bir oyun geliştirme programı olduğundan dolayı uygulamaya eklenecek nesneler harici bir CAD programıyla çizilerek Unity3D'ye aktarılması gerekmektedir. Unity3D her dosya formatını desteklemediği için CAD dosyaları çizim programı veya Unity3D için hazırlanmış CAD dönüştürme kütüphanelerini kullanarak mevcut çizimin obj veya fbx formatına dönüştürülmesi gerekmektedir (<https://unity3d.com>, 2019).

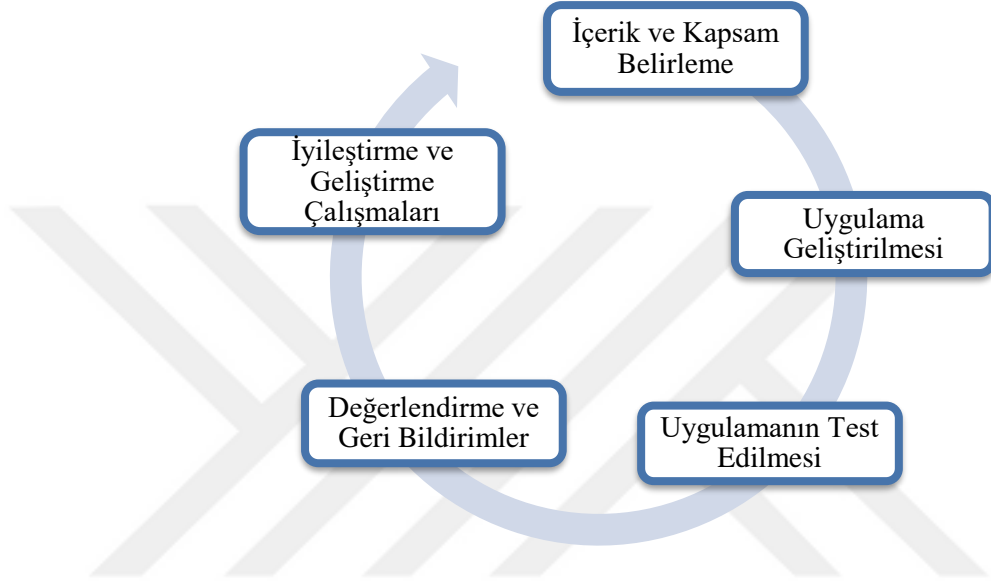
Microsoft'un, yazılım konusunda çoğu alanda etkinlik gösterdiği gibi SG uygulaması olarak da birçok örneğini bulmak mümkündür. Bu proje kapsamında Microsoft Visual Studio ile Unity3D üzerinden oluşturulan uygulama yazılım olarak desteklenmiştir. Geliştirilen birçok uygulamada sanal nesnelere komutlar atanırken C# kodlaması kullanılmaktadır. C# programlama dili Google firmasının geliştirdiği ARCore AG kütüphanesi gibi SG uygulaması geliştirmeye de elverişlidir.

Günümüzde ARKit, ARCore, Vuforia, WikiTude, LayAR, Kudan, FaceSDK, ARToolKit, SLARToolKit, FLARToolKit, OsgART, Droid AR, Unreal Engine, Augment, Aurasma, Metaio, BazAR, D'Fusion,... gibi çok sayıda ve farklı SG uygulama geliştirme yazılımı ve kütüphanesi mevcuttur. Bu kütüphanelerden ARCore ücretsiz ve Unity3D ile uyumlu olduğundan dolayı bu projede tercih edilmiştir.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında AG ve SG uygulamaları geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında AG/SG uygulamaları gerçekleştirme süreci; ihtiyaç analizi ile belirlenen öncelikler doğrultusunda içerik ve materyal geliştirilmesi aşamalarını kapsamaktadır. Uygulama geliştirme döngüsü Şekil 3.1’de gösterilmektedir.

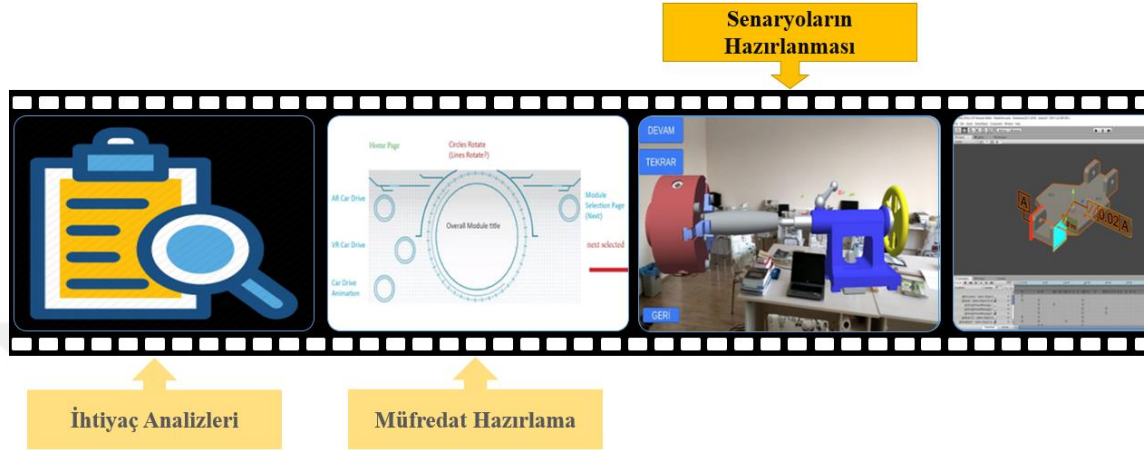


Şekil 3.1. Uygulama geliştirme süreci

#### 3.1. İçerik Geliştirme

Uygulama geliştirme aşamasından önce uygulamanın hangi içeriğe göre hazırlanacağını tespiti gerektiğinden bu tespiti yapabilmek üzere ihtiyaç analizi ve beklenti çalışmaları yapılarak kullanılacak müfredat hazırlanmıştır. İçerik geliştirme teknik resim eğitimi veren akademisyen ve sektör temsilcilerinden oluşan uluslararası bir komisyon tarafından hazırlanmıştır (Kus ve ark. 2018). İçerikler; sektör beklentilerini karşılama, sürekli geliştirilmeye açıklık, esnek eğitim saatlerine uyumluluk ve modüler yaklaşım gibi ölçütler doğrultusunda belirlenmiştir. Bu süreçte öğrenme çıktıları ve değerlendirme

yöntemleri belirlenirken uluslararası içerik geliştirme yöntemi esas alınmıştır. Belirlenen ihtiyaçlar ve müfredat doğrultusunda makine ve imalat sektörlerinde kullanılmak üzere teknik resim eğitimine yönelik AG uygulamasının nasıl olması gerektiğine dair eğitim senaryoları geliştirildi (Şekil 3.2).



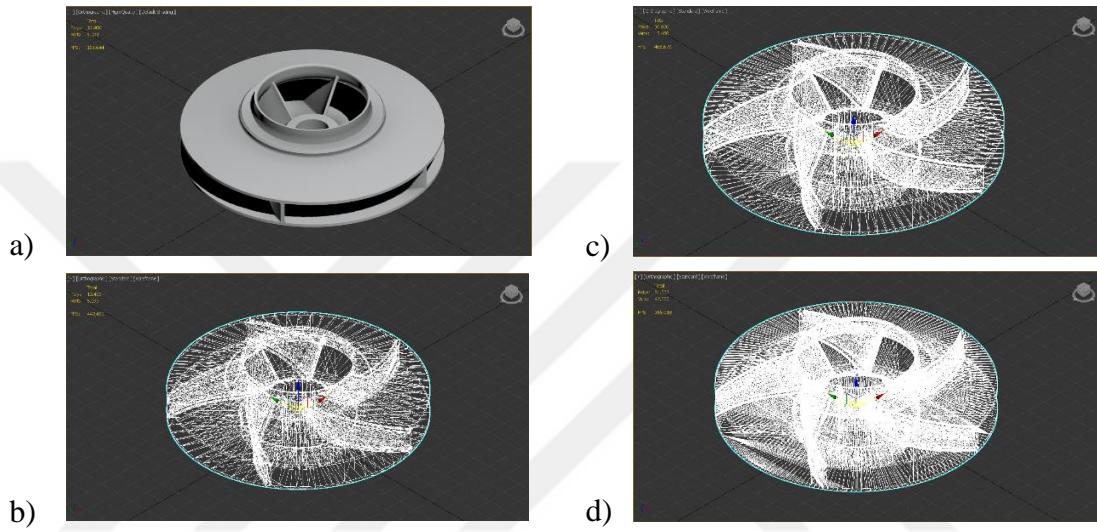
Şekil 3.2. Senaryoların hazırlanması

Çalışmalar doğrultusunda AG ve SG uygulamalarında kullanılacak senaryoların yazımına geçildi ve öğrencilerin konuyu anlayabilmeleri için farklı senaryolar geliştirildi. Uygulama için 18 adet senaryo hazırlandı. Her bir senaryo ilgili teknik resim konusunu açık ve anlaşılır biçimde anlatmak için kurgulandı. Senaryo hazırlama evresinde uygulamanın geliştirileceği Unity3D programının ücretsiz sürümü ve ARCore kütüphanesinin kabiliyetleri de dikkate alındı. Senaryo geliştirilmenin son fazında uygulamalarda kullanılacak seslendirme metinlerinin yazımı gerçekleştirildi.

### 3.2. Materyal Geliştirme

Animasyon hazırlamak için senaryolar doğrultusunda CAD modelleri oluşturulmaktadır. Oluşturulan CAD modelleri mesh yapısı ile örülmektedir. Burada mesh yapısının uygulamalar üzerindeki etkisini incelemek amacıyla ön çalışma yapıldı. Uygulamada

kullanılacak parçaların yapısal etkilerinin uygulamanın çalışma performansına etkisini incelemek ve elde edilen sonuçları uygulamaya uyarlamak amacıyla örnek bir uygulama gerçekleştirildi. Yapılan çalışmalarda poligon sayısının uygulama üzerindeki etkisini incelenmek amacıyla Şekil 3.3’de gösterilen örnek parça (santrifüj pompa çarkı) seçildi. Unity3D ortamına aktarmak için parçalar Inventor programı yardımıyla farklı mesh yoğunluğunda obj formatında kaydedildi. Unity3D ortamında Microsoft HoloLens için karma gerçeklik uygulaması geliştirildi.



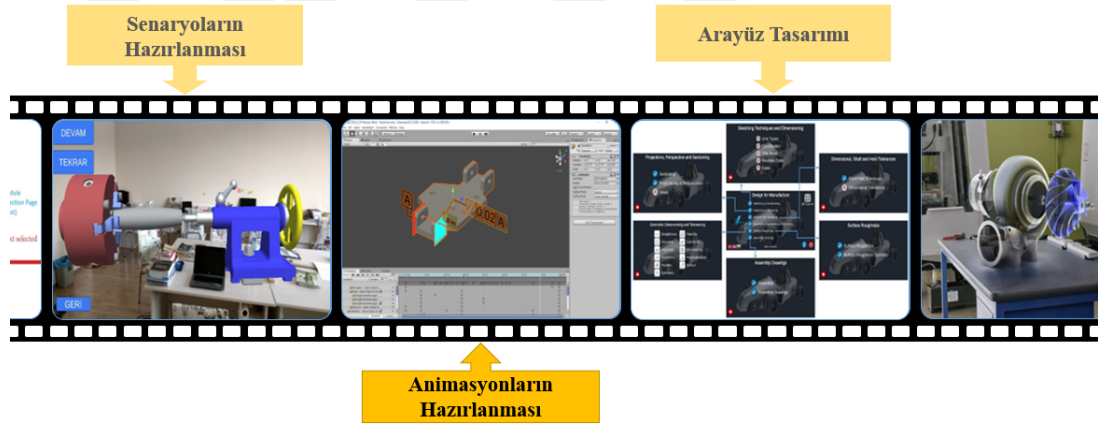
**Şekil 3.3.** Seçilen örnek parçanın; a) katı modeli, b) düşük yoğunluktaki mesh yapısı, c) orta yoğunluktaki mesh yapısı ve d) yüksek yoğunluktaki mesh yapısı

Yapılan çalışmada her kalitedeki parça yüzeyi, Unity3D ortamında görüntülenmek için yeterli şartları sağladı. Fakat yüksek kalitedeki parçanın yoğun mesh yapısının, uygulamada aynı anda birçok parça kullanılması halinde çalışma performansının düştüğü ve görüntüde “titreme” meydana geldiği gözlemlendi. Benzer biçimde Microsoft HoloLens karma gerçeklik gözlüğü için yapılan ve 1 milyon poligon sayısına sahip çalışmada da gözlüğün çok yüksek poligon sayılarında görüntüyü yineleme frekansı, gözün doğal frekansından daha küçük olduğu için görüntüde “titreme” meydana gelmiştir.

Kofoğlu ve ark. (2018) göre, parçaları, mümkün olduğunca, geometrilerinin bozulmadığı en düşük poligon sayısıyla temsil etmek, cihazın işlemci kapasitesini doldurmamak açısından önemli olmaktadır. Bu nedenlerle elde edilen tecrübi bilgiler geliştirilecek uygulamaya uyarlanarak animasyonlardaki parçalar düşük mesh yoğunluğunda kaydedilerek kullanıldı.

### 3.2.1. Animasyon hazırlanması

Uygulama geliştirme sürecinde Şekil 3.4’de görülmekte olan senaryo hazırlama safhasından sonra animasyon hazırlama fazına geçildi. Uygulamada kullanılmak üzere 18 ayrı sahnede yaklaşık 30 adet animasyon hazırlandı. Bu senaryoların sahnelenmesi için katı modeller kullanıldı. Katı modellerin bazıları hazır olarak temin edilirken hâlihazırda olmayan yardımcı modeller katı modelleme programı yardımıyla oluşturuldu.


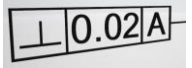





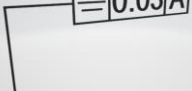
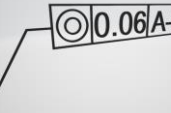

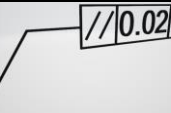
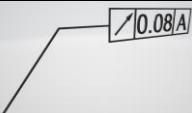


Şekil 3.4. Animasyonların hazırlanması

İçerik alışması tamamlandıktan sonra her bir konu başlığı için yardımcı modeller hazırlanmıştır. Bunlardan Geometrik llendirme ve Toleranslar başlığı için hazırlanan modeller izelge 3.1’de gösterilmektedir. Hazırlanan modelleri Unity3D programında kullanabilmek amacıyla modeller obj dosya formatında kaydedildi. Yukarıda

bahsedildiği gibi katı modeller kaydedilirken uygulamanın çalışma performansını düşürmemesi için en uygun mesh yapısıyla kaydedildi.

**Çizelge 3.1.** Animasyonlarda kullanılan yardımcı modeller

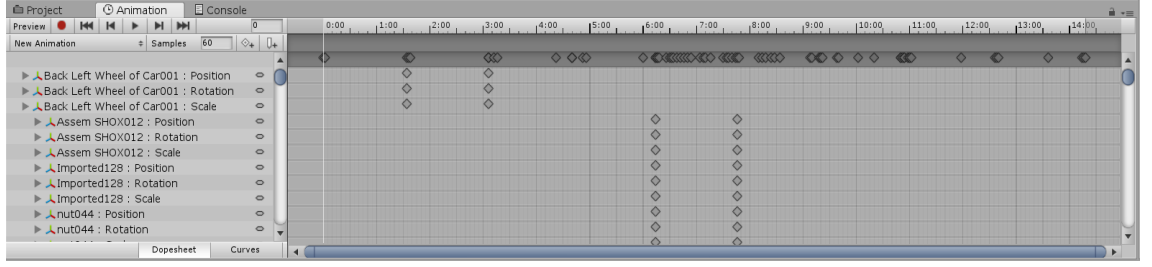
Katı Model	Açıklama	Katı Model	Açıklama
	Silindiriklik toleransı kutucuğu		Diklik toleransı kutucuğu
	Düzlemsellik toleransı kutucuğu		Konum toleransı kutucuğu
	Yuvarlaklık toleransı kutucuğu		Doğruluk toleransı kutucuğu
	Açılılık toleransı kutucuğu		Simetriklik toleransı kutucuğu
	Eş merkezlik toleransı kutucuğu		Toplam salgı toleransı kutucuğu
	Paralellik toleransı kutucuğu		Salgı toleransı kutucuğu

Model hazırlama evresi tamamlandıktan sonra animasyonlar hazırlanmaya başlandı. Bu aşamada eğitim amaçlı olarak animasyonlar hazırlanırken takip edilecek adımlar özellikle birbirini engellemeyecek şekilde kurgulandı.

Unity3D programının kullanıcılarına sunduğu animasyon bloğu temel animasyon hareketleri için yeterlidir. Şekil 3.5’de çalışmalarda kullanılmış olan örnek bir animasyon etüdü gösterilmektedir. Animasyon oluşturmak için animasyon etüdündeki kırmızı renkli kayıt tuşuna basıldıktan sonra ilgili parçaya konum, boyut veya renk değişimi tanımlanmakta ve bu değişimin gerçekleşme süresi zaman cetvelinde iki anahtar ile



işaretlenmektedir. Bir animasyon etüdünde birçok hareket tanımlanabilir ve bu hareketler arasındaki geçişler düzenlenebilir.



**Şekil 3.5.** Animasyon etüdü

### 3.2.2. Arayüz tasarımı

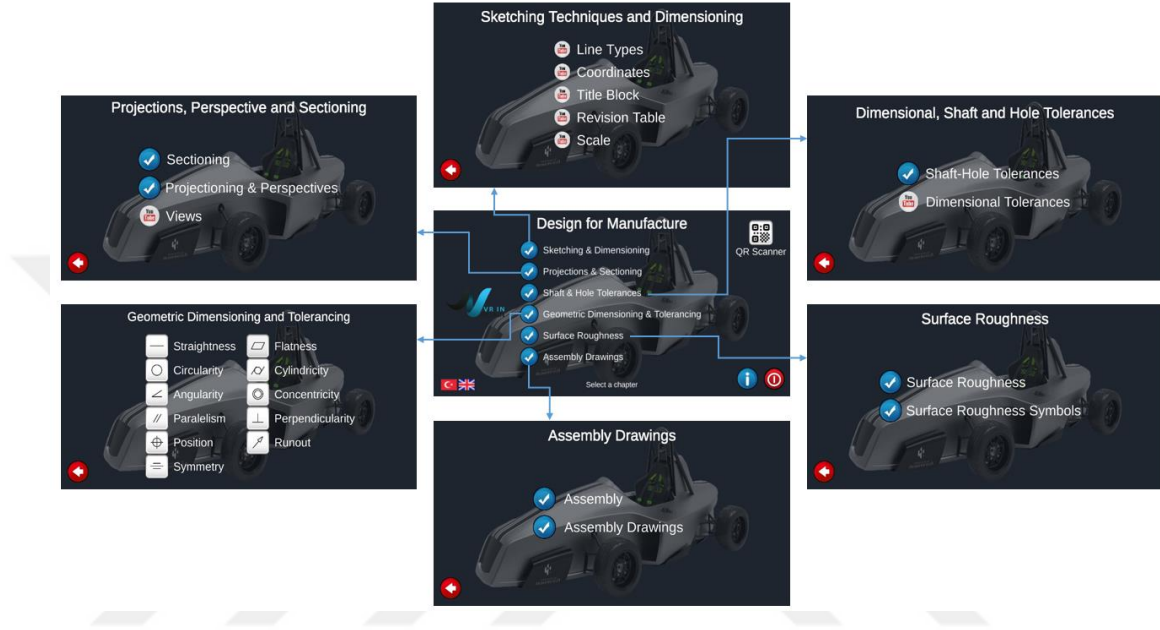
Mobil uygulama geliştirirken, arayüz tasarımı çalışmanın başarısına katkı sağlayan önemli bir adımdır (Şekil 3.6). Uygulamanın arayüzü uygulamanın hitap edeceği kitleye uygun olarak tasarlamak amacıyla tasarımda estetiğe, kullanım kolaylığına ve verimliliğine özen gösterildi. Arayüz tasarımında evrensel olarak benimsenmiş olan ikonlara benzer ikonlar tercih edilerek uygulamanın kullanımı kolaylaştırıldı.



**Şekil 3.6.** Arayüz tasarımı

Uygulamada işlenecek olan konular altı ana başlık altında ele alındığı için uygulama arayüzü de altı ara menüye sahiptir. Şekil 3.7’de bu ara menüler gösterilmektedir.

Uygulamada kullanım kolaylığı açısından sade bir arayüz tasarımı tercih edilmesine rağmen arayüz canlı ve etkileşimli bir yapıda olacak şekilde tasarlandı. Kullanılan sembollerin hepsinde ilgili web sitesi veya konuya bağlantı yapıldı. Bu sayede kullanıcılar hızlı bir şekilde web sitesine giderek konuyla ilgili daha detaylı bilgiye erişebilmektedir.



Şekil 3.7. Uygulamanın arayüzü



Şekil 3.8. Animasyonu yönetmek için hazırlanan arayüz

Şekil 3.8’de uygulamanın kullanımı esnasında animasyonları yönetmek için hazırlananan menü görülmektedir. Uygulamanın verimli, kullanışlı ve etkin olması açısından animasyon oynatılırken sadece üstten alta doğru “durdur”, “yeniden başlat” ve “menü” tuşu bulunmaktadır.



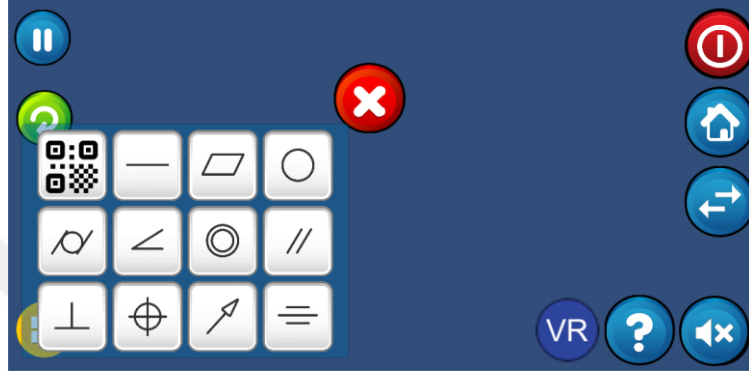
**Şekil 3.9.** Animasyonlardaki genel menü tuşu içeriği

Menü tuşuna basıldığında Şekil 3.9’deki seçenekler açılmaktadır. Burada sol alt taraftaki tuş bu menüyü kapatmak, sağ üst köşeden aşağı doğru olan tuşlar ise sırasıyla “uygulamayı kapat”, “uygulama menüsüne dön”, “AR modu değiştir” ve “sesi aç-kapat” işlevlerini yerine getirmektedir. Son olarak “?” tuşu Şekil 3.10’da görüldüğü üzere menüdeki tuşların işlevlerinin ne olduğunu göstermektedir.



**Şekil 3.10.** Animasyonu yönetmek için yardım menüsü

Sadece geometrik toleranslar ve yüzey pürüzlülük konularının menülerinde yardımcı menü kullanıldı (Şekil 3.11). Bu yardımcı menüye, kullanımı kolaylaştırmak amacıyla, bu menülerin küçük bir kopyası yerleştirildi. Ayrıca geometrik toleranslar için geliştirilen uygulamanın hem AG hem de SG olarak çalışabilmesi için bu menüye “VR” tuşu eklenmiştir. Bu tuş sayesinde uygulama SG olarak da kullanılabilir. Şekil 3.12’de uygulamada kullanılan tuşlar ve tuşların işlevleri bulunmaktadır.



**Şekil 3.11.** Geometrik toleranslardaki menü tuşu içeriği

	Videoyu geç		Menü
	Uygulamayı kapat		Ana menüye dön
	Animasyonu aç		AR modu kapat
	Çalışma Hakkında		Sesi kapat
	Youtube ile izle		Sesi aç
	Durdur		Yardım
	Devam et		Demontaj
	Yeniden başlat		Montaj
	VR modu aç		AR modu aç

**Şekil 3.12.** Uygulama arayüzünde kullanılan tuşlar ve işlevleri

#### 4. BULGULAR

Özgün uygulama geliştirme aşaması bu tez çalışmasının en önemli bölümüdür. Bu aşamada edinilen teknik bilgi ve tecrübe tezin amacı doğrultusunda mobil AG ve SG uygulamalarına dönüştürüldü. Geliştirilen uygulamalar teknik resim derslerine yardımcı olmak amacıyla tasarlandığı için uygulamaların öğretici yönü ağır basmaktadır. Bu nedenlerle makine ve imalat mühendisliğine yönelik eğitim uygulaması geliştirirken öncelikli olarak uygulamanın kullanıcı tarafından anlaşılabilir olmasına özen gösterildi. Ayrıca uygulama, kullanıcı ile sürekli etkileşim halinde olarak kullanıcının dikkatini kendi üzerine çekmektedir.

Uygulama geliştirme sürecinde hazırlanan senaryolara yönelik animasyonlar hazırlandı ve bu animasyonlar bir arayüzde toplanarak uygulama haline getirildi. Uygulama test edilerek yapısal ve mantıksal hatalar tespit edildi. Yapılan çalışmalar teknik resim eğitiminde deneyimli kişilere sunuldu ve alınan geri bildirimler kaydedildi. Bu değerlendirmeler ışığında anlatımın güçlendirilmesi amacıyla birtakım araştırmalar yapıldı. Elde edilen bilgilerle senaryolar ve daha sonra uygulama güncellendi ve süreç iterasyonları tekrarlandı.

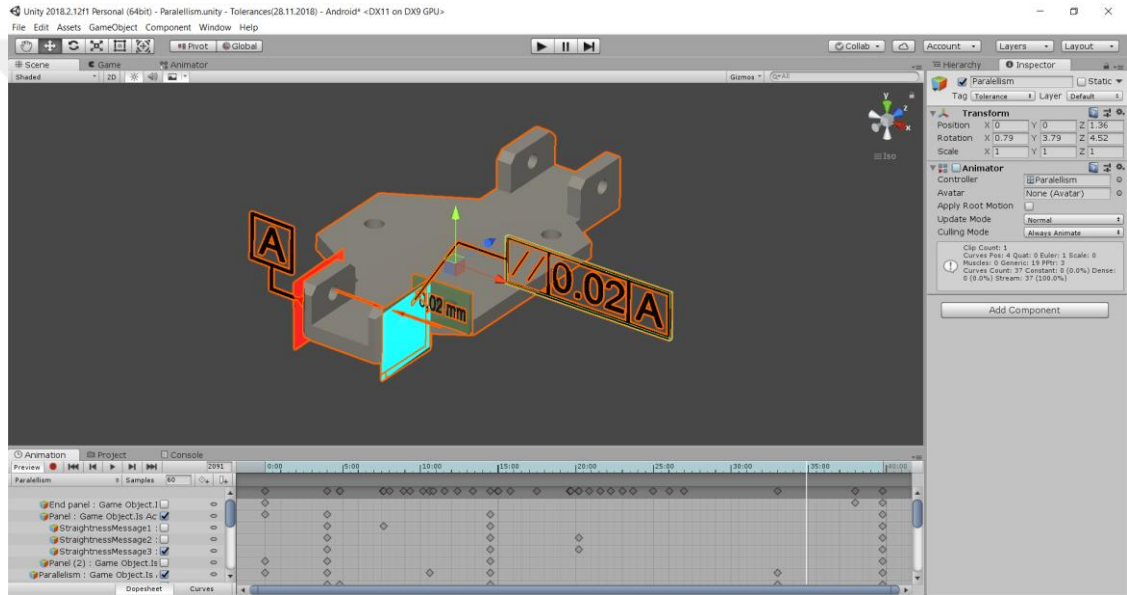
Uygulamanın verimliliğini arttırmak ve kullanım kolaylığı sağlamak amacıyla daha önce uygulanan ve başarılı olan etkileşim yöntemleri kullanıldı (Nesterov ve ark. 2017). Bunlar; QR kod okutma, sesli ve yazılı anlatım, 3B animasyonlar, sanal nesnelere tıklama, tolerans nesnesini döndürme, büyütme ve nesnenin yerini değiştirme ve renk değişimleri olarak sıralanabilir.

Senaryolarda proje kapsamında Sofia Teknik Üniversitesinde tasarlanan araç modelinin direksiyon parçaları kullanıldı. Araç parçaları ve yardımcı elemanlar 3Ds MAX ve Inventor programları kullanılarak obj ve fbx dosya formatına dönüştürülerek Unity3D ortamına aktarıldı. Senaryoları canlandırmak amacıyla parçalar üç boyutlu animasyonlar

olarak kaydedildi. Her bir tolerans için farklı bir sahne oluşturuldu ve Google'un ARCore Kütüphanesi Unity3D'e eklendi.

Şekil 4.1'de tamamlanmış bir sahne gösterilmektedir. Buna benzer olarak diğer sahnelerde de toleransı anlatmak için referans işareti (gerekliyse), tolerans kutusu, yardımcı düzlemler ve oklar kullanıldı.

Gelişen teknoloji ile artık çoğu uygulama bazı işlevleri yerine getirmek veya kullanıcıyı belirli bir web sitesine yönlendirmek için QR kod okuma yeteneğine sahiptir. Geliştirilen uygulamaya QR kod okuma özelliği de eklendi.



**Şekil 4.1.** Unity3D ortamında içerik geliştirilmesi

Uygulamada etkinliği arttırmak için animasyonlarda tolerans aralığı üç boyutlu oklar ve iki boyutlu düzlemlerle vurgulandı (Şekil 4.1). Çalışmanın kalıcı olabilmesi için tolerans işaretlerine dokunabilme kabiliyeti ve tıklandığı zaman ilgili tolerans hakkında daha fazla bilgiye ulaşma seçeneği eklendi.



**Şekil 4.2.** Toleransın kullanıcı açısından anlaşılabilirliğinin test edilmesi

Öğrencilerin toleransların birbirine benzeyen yönlerini ayırt edebilmesi için toleransların birbirinden farklılıkları detaylı bir şekilde anlatıldı.

Kullanıcıların uygulama ile etkin bir şekilde çalışabilmeleri için uygulamaya genellikle kullanılan parçaları döndürme ve boyutlandırmanın yanı sıra taşıma, döndürme, büyütme ve tıklama kabiliyetleri de eklendi. Bu dokunma hareketlerin nasıl yapıldığı Çizelge 4.1’de özetlenmektedir.

**Çizelge 4.1.** Uygulamanın etkileşim yetenekleri

İşlev	Açıklama
Taşıma	Cihazın ekranına üç parmak ile dokunarak mevcut parçanın konumu X, Y ve Z ekseninde yer değiştirebilir.
Döndürme	Cihazın ekranı üzerinde bir parmakla X ve Y yönlerinde kaydırma hareketi yaparak mevcut parça X ve Y ekseninde döndürülebilir.
Büyütme	Cihazın ekranına iki parmakla dokunup parmaklar arasındaki mesafeye oranla mevcut parçanın büyüklüğü değiştirilebilir.
Tıklama	Tolerans işaretlerine, yüzey işleme işaretlerine ve izdüşümler konusundaki parçalara tıklanarak belirli işlevler yapılabilir.

### **Taşıma işlevi**

Animasyonun başlangıcındaki giriş videosu açıldığı andan itibaren mobil cihazın kamerası görüş alanındaki yüzeyleri taramaya başlamakta ve görüntüler üzerinde bazı referans noktaları belirlemektedir. Referans noktaları belirlendikten sonra sanal nesnelere bu referanslara göre üç boyutlu uzayda konumlandırılmaktadır. Bazen animasyon başlatıldığı anda mobil cihazın konumu animasyonu izlemek için uygun olmamasından dolayı animasyon esnasında sanal parçaların konumu değiştirilmesi gerekmektedir. Böyle durumlarda sanal nesnenin yerini değiştirebilmek için uygulamaya sanal nesnelere "taşıma" özelliği eklendi. Sanal nesnelere yerini değiştirmek için mobil cihaz istenilen konuma getirildikten sonra mobil cihazın ekranına aynı anda üç parmak ile dokunulmaktadır. Böylece sanal nesne mobil cihazın konumuna taşınmaktadır.

### **Döndürme işlevi**

Sanal parçaların animasyon esnasında hareketli olduğundan dolayı parçalara döndürme hareketi eklendi. Böylece parçalar hem dikey hem de yatay eksenlerde, mobil cihazın ekranına tek parmak ile tıklayıp dikey veya yatay konumda sürükleme hareketiyle döndürülebilmektedir.



**Şekil 4.3.** Parmak ile kontrol

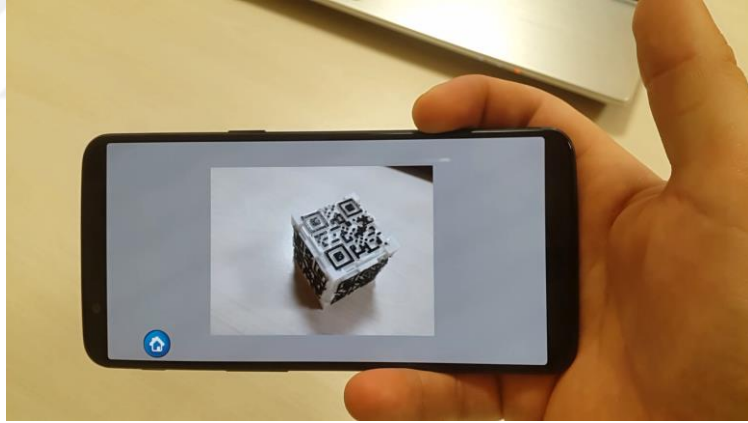


### **Büyütme işlevi**

Kullanım esnasında sanal nesnelere konumu itibari ile mobil cihazın ekranında incelemek için büyük veya küçük görünebilmektedir. Böyle durumlarda kullanıcıya yardımcı olmak için uygulamaya sanal nesnelere yeniden boyutlandırma özelliği eklendi. Mobil cihazın ekranına iki parmak ile dokunarak iki parmak arasındaki mesafeyi değiştirerek suretiyle nesnelere boyutunun değiştirilebilmesi sağlandı (Şekil 4.3).

### **QR kod tarayıcı**

Uygulamanın ana menüsüne eklenen bir QR kod tarayıcı ile kullanıcıların eğitim kitapçığından ve projenin web sitesinden konuları takip etmesi kolaylaştırıldı. Kullanıcılar eğitim kitapçığı veya web sitesinde inceledikleri konuların uygulamadaki üç boyutlu AG animasyonlarına konu içinde verilen QR kodları tarayıcıya okutarak erişebilmeleri sağlandı (Şekil 4.4). Böylece kullanıcıların eğitim esnasında üç boyutlu animasyona erişebilmeleri kolaylaştırıldı.





















**Şekil 4.4.** QR kod okuma

Çizelge 4.2’de uygulamadaki animasyonları açmak amacıyla kullanılan QR kodlar gösterilmektedir. Oluşturulan QR kodlar animasyon sahnesinin ismini kullanarak

oluşturulduğundan dolayı yeniden üretilmesi veya başka bir eğitim notunda kullanılması için de uygun hale getirildi.

**Çizelge 4.2.** QR kodlar ve ait oldukları animasyonlar

<b>QR Kod</b>			
<b>Açıklama</b>	Açısallık toleransı	Salgı toleransı	Montaj
<b>QR Kod</b>			
<b>Açıklama</b>	Diklik toleransı	Konum toleransı	Montaj resimleri
<b>QR Kod</b>			
<b>Açıklama</b>	Doğruluk toleransı	Paralellik toleransı	Geçme toleransları
<b>QR Kod</b>			
<b>Açıklama</b>	Düzlemsellik toleransı	Simetriklik tolerans	Yüzey pürüzlülüğü
<b>QR Kod</b>			
<b>Açıklama</b>	Yuvarlaklık toleransı	Eşmerkezlilik toleransı	Perspektif ve görünüşler
<b>QR Kod</b>			
<b>Açıklama</b>	Yüzey işleme işaretleri	Silindiriklik toleransı	Kesit alma

#### **Animasyona giriş videosu**

Animasyonlar açılırken kullanıcının çalıştığı animasyon sahnesinde kullanılan toleransın ve bu toleransın kullanıldığı parçaların nerede kullanıldığını göstermek amacı ile sanal parçaların araç modelinden ayrılarak yalın halde gösterildiği videolar hazırlandı (Şekil 4.5). Bu tanıtım videoları ilgili tüm animasyon sahnelerinin başlangıcına eklendi.



**Şekil 4.5.** Animasyona giriş videosu

## **4.1. Yüzey Pürüzlülüğü**

### **4.1.1. Yüzey pürüzlülük parametreleri**

Burada örnek uygulama olarak yüzey pürüzlülük toleranslarının ilk konusu olan yüzey pürüzlülük değerlerinin anlatıldığı animasyonun geliştirme aşamaları sunulmaktadır.

Animasyona başlamadan önce animasyonda kullanılacak olan CAD modelleri, tolerans sembol ve değerleri, seslendirme metinleri, boş bir sahne, menü içerikleri, kodlar ve açıklamalar hazırlandı.



**Şekil 4.6.** Uygulamada referans olarak kullanılan aracın 3D modeli

Animasyonlarda kullanılan CAD modelleri, proje kapsamında Sofya Teknik Üniversitesi öğrencilerinin geliştirdiği Şekil 4.6’da görülen aracın direksiyon sisteminden seçildi.

Yüzey pürüzlülüğü animasyonuna direksiyon setinden alınan parçanın bir yüzeyinden sanal bir ölçüm aleti ile ölçüm yapılarak başlandı. Böylece kullanıcıların pürüzlülük değerlerinin nasıl ölçüldüğü hakkında da fikir sahibi olmaları sağlandı. Parça yüzeyinde ölçüm cihazının iğnesinin gezdirilmesi Şekil 4.7’de görülmektedir.



**Şekil 4.7.** Parça üzerinden ölçüm yapılması

Ölçme işlemi tamamlandıktan sonra pürüzlülük değerlerinin temsili modeli, ölçüm yapılan bölgeden, büyütülerek göz önüne getirildi (Şekil 4.8). Ölçülen pürüzlülük değerlerinin çok küçük (mikronlar seviyesinde) olduğunu vurgulamak için pürüzlülükler abartılı olarak gösterilmiştir.



**Şekil 4.8.** Pürüzlülüğü ölçülen bölgenin büyütülmesi

Pürüzlülük modeli ile birlikte gerçekleştirilen ölçümler ve değerler eş zamanlı olarak sesli bir şekilde de anlatılmaya başlandı. Burada yüzey pürüzlülük değerlerini, yüzey pürüzlülüğünün nedenlerini ve yüzey pürüzlülüğünün önemi aşağıdaki metinlerle anlatıldı.

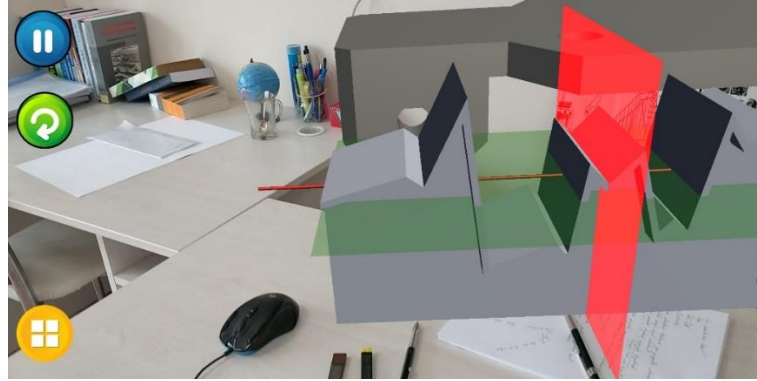
*“Yüzey Pürüzlülüğü: Üretilen parçaların yüzeylerini oluşturan malzemenin mikro yapısı ya da dış etkenlerden kaynaklanan deformasyonlar ile kullanılan tezgâh ve kesme veya taşlama takımlarının etkilerinden dolayı yüzeylerinde pürüzlülük oluşur. Makine parçalarında yüzey kalitesi ile ilgili oluşan hataların %90’ı yorulmaya, aşınma ya da korozyona bağlı çatlaklar, erozyon vb. yüzey kaynaklı hatalar ile yüksek basınç altında sızdırmazlık sorunlarıdır. Dolayısı ile gerek imalat prosesinin kontrol edilmesi ve gerekse parçanın performansını tahmin etmeye çalışmak için yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılır.”*



**Şekil 4.9.** Pürüzlü şeklin üç boyutlu olarak gösterilmesi

Şekil 4.9 ile gösterilen pürüzlülük modeli çok abartılı çizilerek pürüzlülüğün ve pürüzlülük parametrelerinin daha belirgin olarak görülmesi sağlandı. Yüzey pürüzlülüğünün ölçüsünü tanımlamak için kullanılan pürüzlülük parametreleri aşağıdaki konuşma metni ile seslendirildi.

*“Pürüzlülük Parametreleri: Pürüzlülük standartları belli olan bir ölçüm aralığında (cut off) en yüksek pürüz değeri ile en düşük pürüz değerinden oluşan aralıkta tanımlanan farklı parametrelerden oluşur.”*



**Şekil 4.10.** Tek bir cut off bölgesi

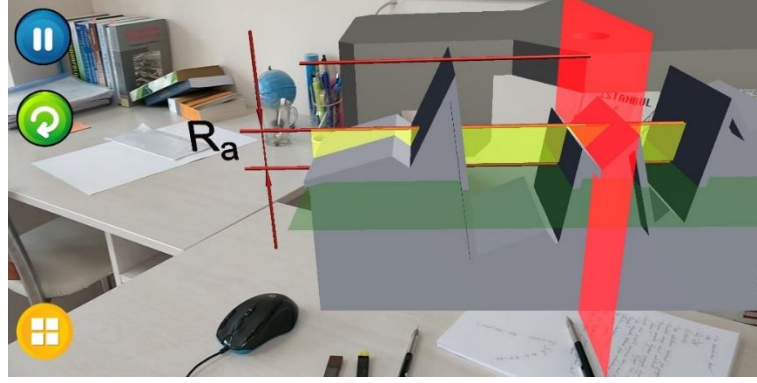
Ölçüm yapılan ilk cut off Şekil 4.10’da gösterildiği gibi hayali düzlem ile diğerlerinden ayrıldı. Yine Şekil 4.11’de beş cut off aralığı görülmektedir. Burada ilk cut off üzerinden ölçülen değerlerin diğer beş cut off da ölçülmediği vurgulandı. Tüm ölçüm hattı boyunca ortalama pürüz yüksekliği yeşil düzlem ile ifade edildi.



**Şekil 4.11.** Ölçülen beş cut off bölgesi

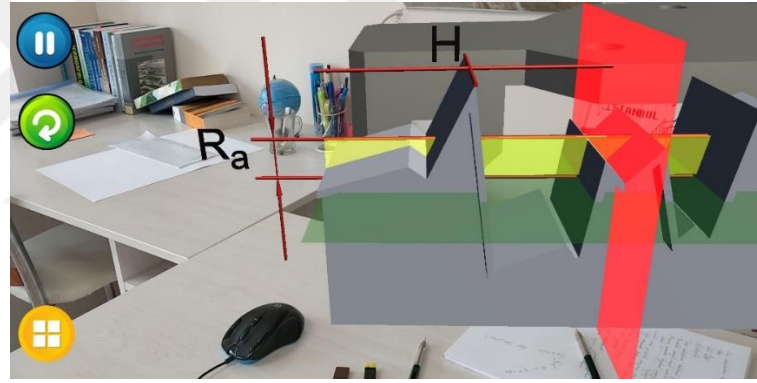
Ra, ortalama pürüzlülük değeridir ve ilk cut off bölgesinden ölçülmektedir. Ölçülen Ra değerinin tüm ölçüm hattı boyunca aynı olduğu kabul edilmektedir. Bu nedenle Şekil 4.12’de görülmekte olan Ra değerinin sınırları tüm ölçüm hattı boyunca devam ettirildi. Ra şekilsel olarak gösterilirken aşağıdaki seslendirme metniyle de Ra hakkında açıklayıcı bilgiler sunuldu.

*“Ortalama Pürüzlülük, (Ra) Yüzey pürüzlülük profiline karşılık gelen y- koordinatlarının mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. İstatistiki olarak, Ra, aynı zamanda yüzey pürüzlülüğününün y- koordinatlarının merkez hattında ortalama aritmetik sapmasını tanımlar. Ra, adından da anlaşılacağı üzere ortalama bir değerdir ve profil çıkıntı ve boşluk kesitleri ile ilgili olarak hassas bilgi vermez.”*



**Şekil 4.12.** Ra değerinin ölçülen bölgede tanımlanması

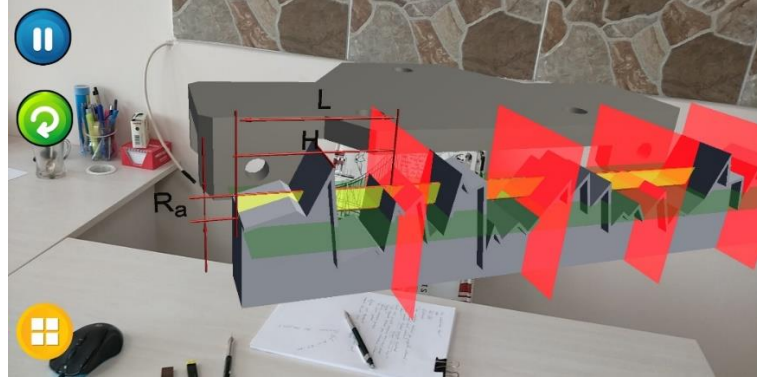
H: ölçülen aralıktaki en yüksek pürüz tepesi olarak tanımlanmaktadır. Yani ilk cut off aralığındaki en yüksek pürüzün tepe noktasını ifade eder. Şekil 4.13 ile gösterilen kısımda Ra'dan sonra H değeri gösterildi.



**Şekil 4.13.** H değerinin gösterilmesi

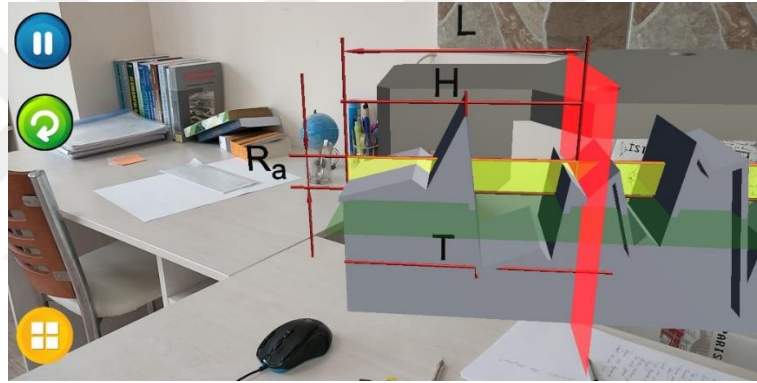
L: ölçüm alınan boydur. Şekil 4.14'de görüldüğü gibi iki cut off arasındaki mesafe olarak gösterildi.





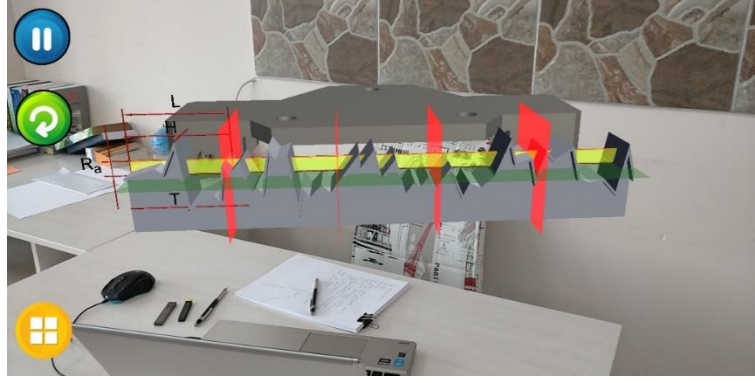
**Şekil 4.14.** L değerinin gösterilmesi

T: profil alt noktasıdır. Yani ölçüm alınan ilk cut off bölgesindeki en derin pürüzün dip noktasıdır. Şekil 4.15’de T profil alt noktası açıkça gösterildi.



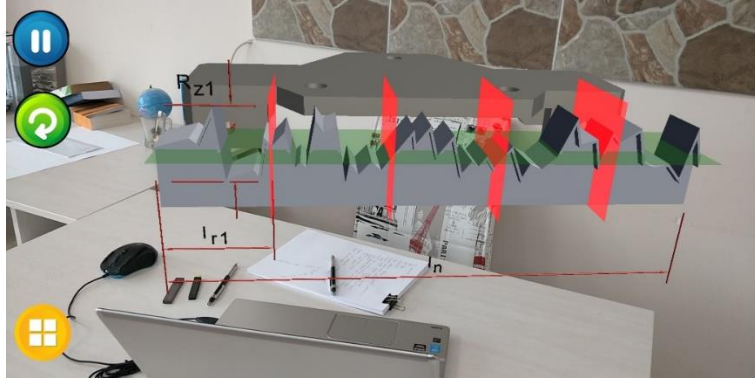
**Şekil 4.15.** T değerinin gösterilmesi

Pürüzlülük parametreleri tanımlanırken  $R_a$ ,  $L$ ,  $H$  ve  $T$  tanımlamaları sadece ilk cut off üzerinden ölçüldüğünden dolayı Şekil 4.16’da her bir cut off’ta  $R_a$ ,  $L$ ,  $H$  ve  $T$  için tanımlama yapılmadığı gösterildi.



**Şekil 4.16.** Pürüzlülük parametrelerinin birlikte gösterilmesi

Rz: Maksimum pürüzlülük ortalamasıdır ve her bir cut off hattı boyunca ölçülen en yüksek pürüz tepesi ile en derin pürüz çukurları arasındaki mesafelerin ortalamasıdır. Rz parametresinin anlatılması için her bir cut off aralığındaki en yüksek tepe ile en derin çukur arasındaki mesafeler Rz1(Şekil 4.17), Rz2... şeklinde gösterildi. Animasyon esnasında bu açıklamaları sesli olarak ifade etmek için aşağıdaki seslendirme metni kullanıldı.

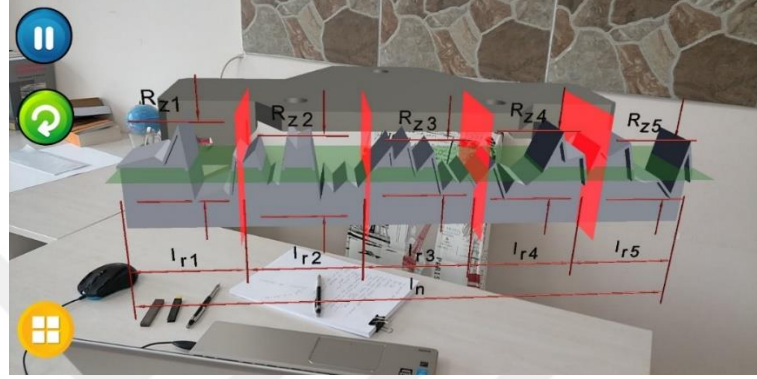


**Şekil 4.17.** Bir cut off'taki Rz değerinin gösterilmesi

*“Maksimum pürüzlülük ortalaması (Rz): Standart pürüzlülük ölçümünde tek bir cut off aralığı kullanılmaz, bunun yerine peş peşe 5 cut off alınır. Burada her cut off aralığındaki*

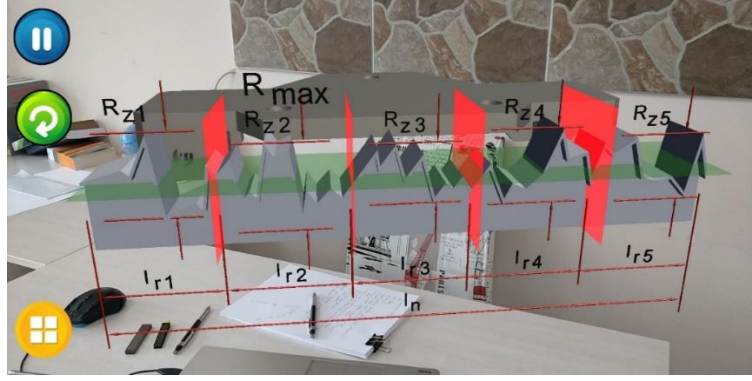
*R<sub>max</sub>'a karşılık gelen maksimum pürüzlülük değerlerinin toplamının aritmetik ortalaması R<sub>z</sub> olarak tanımlanır. Yine 5 cut off aralığından herhangi birindeki en büyük değer R<sub>max</sub> olarak tanımlanmaya devam edilir.”*

Bu çalışmada her bir cut off aralığındaki R<sub>z1</sub>, R<sub>z2</sub>, R<sub>z3</sub>... değerleri Şekil 4.18'deki gibi gösterildi.



**Şekil 4.18.** Her bir cut off aralığında R<sub>z</sub> değerlerinin gösterilmesi

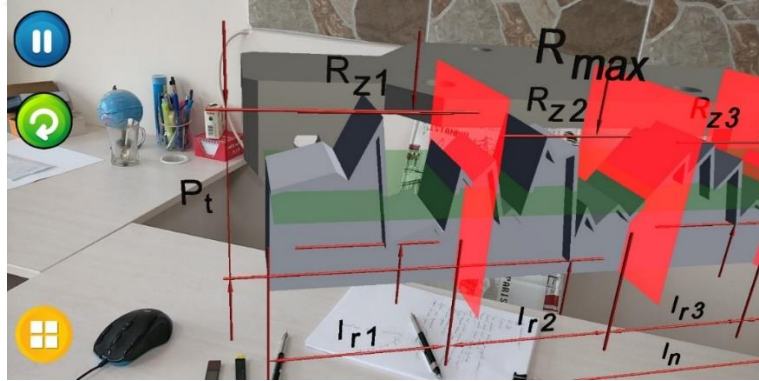
R<sub>max</sub>: En büyük pürüz derinliğidir. Diğer bir deyişle ölçülen cut off aralıklarındaki R<sub>z1</sub>, R<sub>z2</sub>... gibi değerlerin en büyüğüdür. Bu değer Şekil 4.19'da gösterildiği gibi yazı boyutu yavaşça büyütülerek vurgulandı. Aşağıdaki seslendirme metni ile R<sub>zmax</sub> değeri sesli olarak açıklandı.



**Şekil 4.19.** Ölçüm aralığında Rmax değerinin gösterilmesi

*“Maksimum pürüzlülük (Rmax): Pürüzlülük ölçümü yapılan aralıktaki en büyük pürüzlülük değerini ifade eder.”*

Pt: Profil yüksekliği, ölçüm hattı boyunca en düşük çukur ile en yüksek tepe arasındaki farktır. Pt değerini açıklamak için bu değeri ihtiva eden tepe ve çukur kırmızı çizgiler ve oklar ile işaretlendi (Şekil 4.20). Aynı zamanda bu parametrenin açıklaması aşağıdaki metin ile sesli olarak da ifade edildi.



**Şekil 4.20.** Pt değerinin tanımlanması

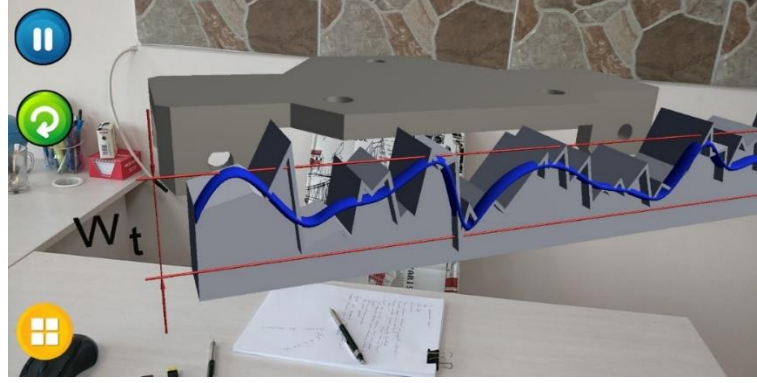
*“Profil Yüksekliği (Pt): Yine 5 cut off üzerinden yapılan değerlendirmede herhangi bir cut off ölçüm aralığında oluşan en düşük pürüzlülük değeri ile en büyük bir başka noktada oluşan en yüksek değerin arasındaki fark profil yüksekliği olarak tanımlanır.”*

Wt: Dalgalılık boyudur. Pürüzlülüğün ölçüldüğü hat boyunca pürüzlerin ortalama değerlerinin oluşturduğu eğri pürüzlülüğün dalgalılık boyu olarak adlandırılmaktadır. Dalgalılık boyunun anlatılması için pürüzlerin ortasından geçen mavi renkli bir eğri çizildi. Sonrasında bu eğri Şekil 4.21’deki gibi üstten ve Şekil 4.22’deki gibi de alttan birer doğru ile sınırlandırıldı. Ayrıca dalgalılık boyunu anlatmak için aşağıdaki metin ile de seslendirme yapıldı. Şekil 4.22’de görüldüğü üzere dalgalılık boyu iki eğri arasında sınırlandırılmış olarak gösterildi.



**Şekil 4.21.** Pürüzlerin ortasından geçen eğrinin üst noktasının sınırlandırılması

*“Dalgalılık boyu ya da yüksekliği (Wt): vadi ve tepelerden oluşan yüzeyin dalgalılık yüksekliğidir. Dalgalanma, yüzeyin taşlanması esnasında, taşlama taşının eksik kısımlarından, işlemeyi yapan takımın bağlantı karterinin titreşiminden ve ısı işlemlerden meydana gelebilir.”*



**Şekil 4.22.** Wt dalgalılık boyunun gösterilmesi

#### 4.1.2. Yüzey işleme işaretleri

Yüzey işleme işaretlerinin anlatılması için animasyonun başlangıcında Şekil 4.23'deki parça yalın olarak gösterildi. Ardından sesli açıklamalar ile birlikte yüzey işleme işaretleri sırasıyla parça yüzeyinde gösterilerek tanıtıldı.



**Şekil 4.23.** Yüzey işleme işaretlerine eklenen sembollerin anlamları

Her bir işleme işaretine tıklandığı zaman açılacak olan bilgilendirme panelleri eklendi. Böylece animasyon sona erdiğinde Şekil 4.24'de görüldüğü gibi işleme işaretleri birbirinden bağımsız bir şekilde incelenebilmektedir. Her bir işleme işareti ve harfin

açıklaması bilgi panellerinde kısaca özetlendi. Ayrıca kullanıcı isterse bu paneller yardımıyla projenin sitesine giderek daha fazla bilgiye erişebilmektedir.

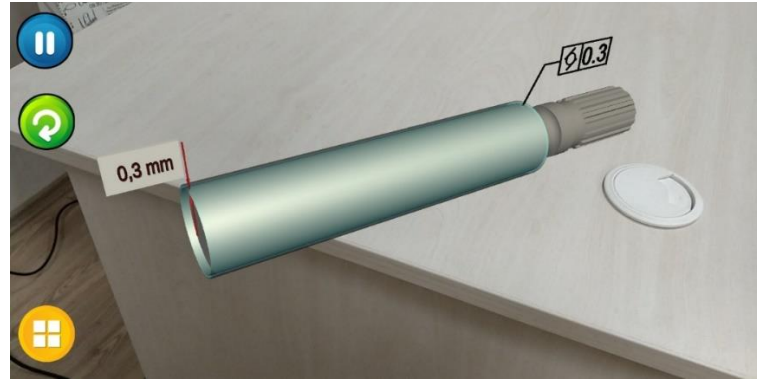


Şekil 4.24. Yüzey işleme işaretlerinin anlamları

## 4.2. Geometrik Toleranslar

### 4.2.1. Silindiriklik

Silindiriklik toleransı, silindirik parça yüzeyindeki tüm noktaların aralarında “t” kadar yarıçap farkı bulunan eş merkezli hayali iki silindir arasında kalması durumudur. Çalışmada silindiriklik toleransının anlatımı için direksiyon setinden alınan silindirik yüzeyli parça seçildi (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Silindiriklik toleransının animasyonu

Silindiriklik animasyonunda sırasıyla silindirikliğin kısa bir tanımı ve toleransın sembolü gösterildikten sonra silindir yüzeyinde iki adet hayali silindir ve bu silindirler arasında tolerans mesafesi kadar yarıçap farkı olduğu gösterildi. Tolerans verilen silindirik yüzeydeki noktaların hayali silindirler arasında olmak kaydı ile farklı konumlarda olabileceği üçüncü bir hayali silindirin çapının büyütülüp küçültülerek vurgulandı.



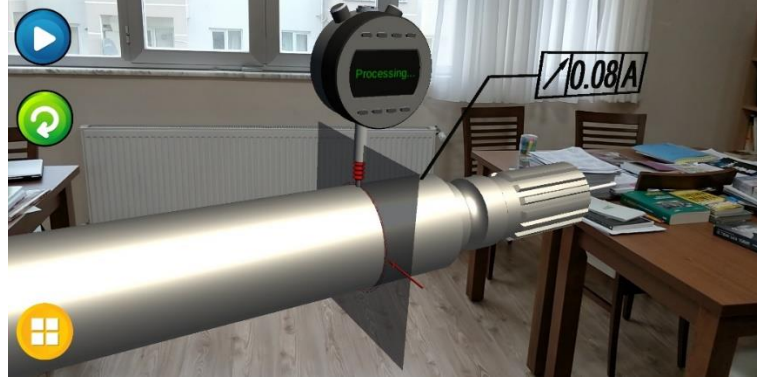
**Şekil 4.26.** Silindirikliğin ölçülmesi

Tolerans bilgisinin kalıcılığını arttırmak için parça üzerinde bir komparatör ile silindiriklik ölçümü gerçekleştirildi (Şekil 4.26).

#### **4.2.2. Salgı, alın salgısı, toplam salgı ve toplam alın salgısı**

Salgı toleransı, referansa göre (genellikle silindirik parça eksenine göre) dik bir kesitteki her bir noktanın silindir eksenine olan uzaklığının sapma miktarıdır. Salgı toleransının anlatımı için yine silindiriklik toleransında kullanılan parça seçildi.





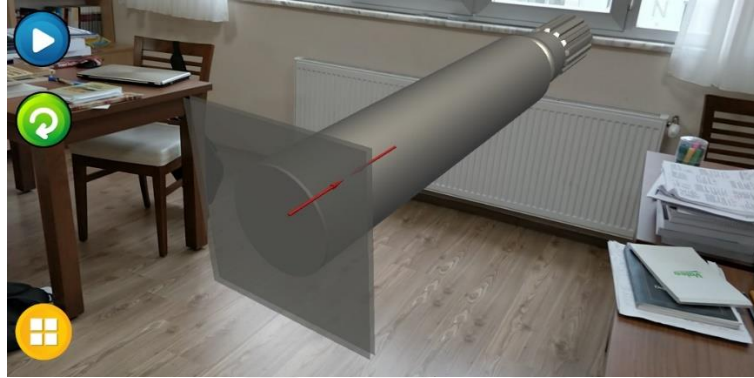
**Şekil 4.27.** Salgı toleransı animasyonu

Geliştirilen salgı animasyonunda sırasıyla salgı, alın salgısı, toplam salgı ve toplam alın salgı toleransları anlatıldı (Şekil 4.27). Animasyonun başlangıcında “A” referans eksenine vurgulandı ve parça üzerindeki referans eksenine dik bir kesitte aralarında “t” kadar yarıçap farkı olan hayali iki çember oluşturuldu. Her bir tolerans için sanal olarak ölçüm yapıldı ve böylece toleransların daha iyi kavranması amaçlandı. Tolerans sembollerine tıklama ile açılan ek bilgi eklendi ve kullanıcının tolerans ile etkileşimi artırılmış oldu.



**Şekil 4.28.** Toplam salgı için farklı noktalardan ölçüm yapılması

Şekil 4.28’de toplam salgı ile salgı toleransı arasındaki farkı vurgulamak için toplam salgı animasyonunda dört farklı noktadan salgı ölçümü yapılarak bu ölçümler mukayese edildi ve parçanın salgı değerlerinin tolerans aralığında olduğu gösterildi.



**Şekil 4.29.** Alın salgısının gösterilmesi

Alın salgısının anlatımında, birbiri arasında “t” kadar mesafe bulunan iki hayali düzlem kullanıldı (Şekil 4.29). Bu iki düzlem gösterildikten sonra parçanın alın yüzeyinden ölçüm yapıldı (Şekil 4.30).



**Şekil 4.30.** Alın salgısının ölçülmesi

### 4.2.3. Doğrusallık

Doğrusallık toleransı, bir doğru üzerindeki tüm nokta elemanlarının aralarında “t” kadar mesafe bulunan hayali iki doğru arasında olma şartıdır. Doğruluk toleransını anlatmak için bir parça üzerindeki belirgin bir kenar kullanıldı. Animasyonda önce kenar üzerinde rastgele konumlandırılmış noktalardan oluşan hayali bir çizgi gösterildi. Bu çizgi ile pratikte kenarların ideal ölçülerden sapması temsil edildi. Çizgi alt ve üstünden hayali doğrularla sınırlandırılarak parça üzerinde tolerans kutucuğu gösterildi (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. Doğruluk toleransı animasyonu

### 4.2.4. Düzlemsellik

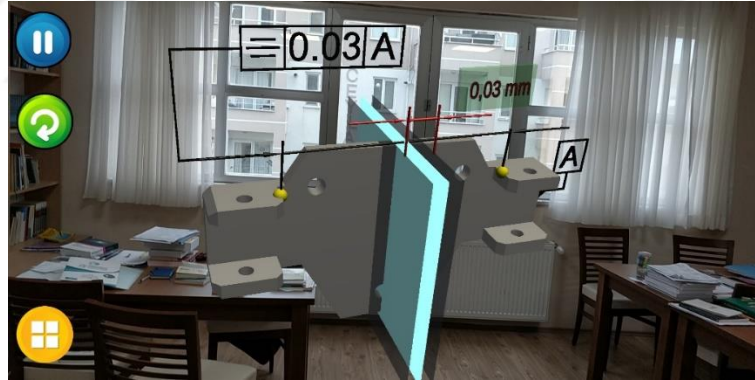
Düzlemsellik toleransı, ilgili yüzeydeki tüm nokta elemanlarının aralarında “t” kadar mesafe bulunan hayali iki düzlem arasında olma şartıdır. Burada önce parça üzerinde hayali düzlemler oluşturuldu ve oklar yardımıyla düzlemler arasındaki mesafe vurgulandı. Akabinde de yüzey üzerinde düzlemsellik ile ilgili tolerans kutucuğu gösterildi (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. Düzlemsellik toleransı animasyonu

#### 4.2.5. Simetriklik

Simetriklik toleransı, parça elemanlarının, aralarında “t” kadar mesafe olan hayali iki düzlem arasında, belirlenen bir düzleme göre simetrik olmasıdır. Simetriklik toleransının anlatılması için Şekil 4.33’de gösterilen animasyon hazırlandı.



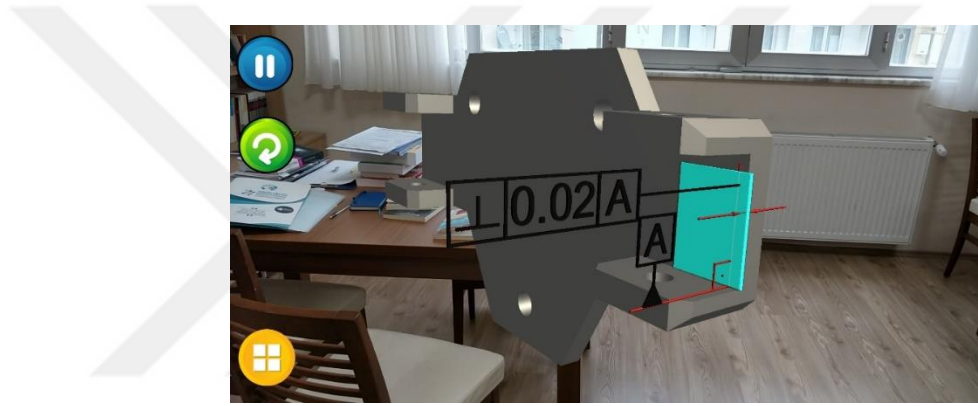
Şekil 4.33. Simetriklik toleransı animasyonu

Animasyonda ilk olarak simetri düzlemi gösterildi. Bu simetri düzlemini içine alan yardımcı düzlemler eklenerek tolerans aralığı verilmiş oldu. Simetriklik toleransı bir düzlem referans alınarak kullanıldığından dolayı Şekil 4.33’de görülen “A” düzlemi

işaretlendi. Simetrikliği göstermek için şekil üzerinden iki adet nokta (sarı renkli noktalar) için simetri şartı incelendi. Hayali düzlemler arasında üçüncü bir düzlem oluşturuldu ve bu düzleme tolerans düzlemleri arasında kalmak koşulu ile dönme ve ilerleme hareketleri yaptırıldı. Bu sayede kullanıcıya, tolerans aralığında olmak koşuluyla simetriklik düzleminin farklı konum ve açılarda olabileceği anlatılmış oldu.

#### 4.2.6. Diklik

Diklik toleransı, bir yüzeyin her bir elemanının referans kabul edilen yüzeye, aralarında “t” kadar mesafe bulunan iki hayali düzlem arasında olma durumudur. Diklik toleransının anlatılması için Şekil 4.34’de gösterilen animasyon sahnesi hazırlandı.



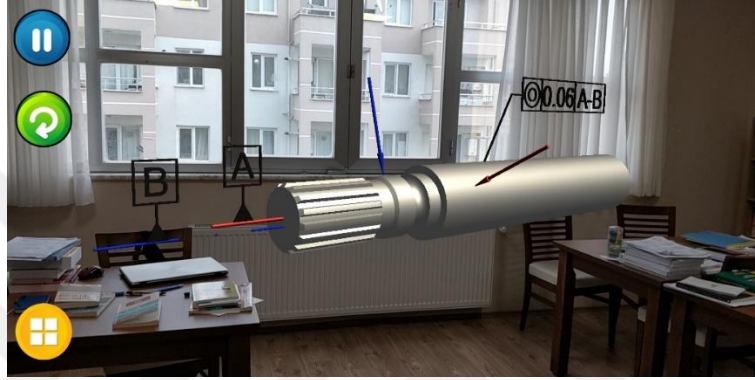
Şekil 4.34. Diklik toleransı animasyonu

Diklik toleransının kullanıcılar tarafından iyi anlaşılabilmesi amacıyla öncelikle parça üzerinde dik olacak yüzeylerin kenarları kırmızı çizgilerle belirlendi. Bu iki çizginin kesiştiği yere diklik işareti yerleştirildi. Referans düzlemine ait kenar üzerinde, referans kutucuğu içindeki “A” harfi gösterildi. Tolerans kutucuğundaki “A” harfi ile referans alınan “A” birlikte vurgulanarak diklik toleransının bir referans düzleme göre dik olması gerektiği belirtildi. Ardından dik olması gereken düzlem ile tolerans aralığı kadar uzaklıktaki düzlem gösterildi. Bu iki hayali düzlem arasında yeni bir düzlem ortaya

çıkarıldı ve bu düzleme tolerans bölgesinde yer değiştirme ve dönme hareketi verilerek tolerans aralığının iyice anlaşılması hedeflendi.

#### 4.2.7. Eşeksenlilik/Eşmerkezlilik

Eşeksenlilik/Eşmerkezlilik toleransı, tolerans verilen dairesel parça ekseninin referans alınan bir dairesel yüzey eksenini ile “t” çaplı hayali bir çember içinde olma durumudur. Bu tolerans Şekil 4.35’deki gibi iki tane silindirik yüzey içeren parça üzerinde anlatıldı.



Şekil 4.35. Eşeksenlilik/Eşmerkezlilik toleransı animasyonu

Bu animasyonda eşeksenlilik toleransını anlatmak amacı ile projede kullanılan bir parça seçildi. Animasyona başlarken her iki silindirik yüzey ve bu yüzeylere ait eksenler belirtildi. Eksenlere “A” ve “B” referansları yerleştirilerek tolerans sembolü ve tolerans değeri gösterildi (Şekil 4.35). Vurgu okları yardımıyla eksenlerin ait oldukları silindirik yüzey gösterildi. Ardından eksenler arasındaki kaçıklık “B” eksenini merkez kabul eden büyük bir halka ile abartılı olarak vurgulandı ve parça eksenleri ile birlikte “B” ekseninde 360 derece döndürüldü. Bu sayede kullanıcının iki silindirik yüzeydeki eksen kaçıklığının etkisini görmesi sağlandı.

#### 4.2.8. Açılılık

Açılılık toleransı, aralarında mutlak açı değeri bulunan iki yüzeyden biri referans olarak seçildiğinde diğer yüzeyin, bu yüzeye paralel olan ve aralarında “t” kadar mesafe bulunan iki hayali yüzey arasında olma şartıdır. Açılılık toleransının anlatıldığı animasyon Şekil 4.36’da gösterilmektedir.



Şekil 4.36. Açılılık toleransı animasyonu

Açılılık toleransını anlatmak için Şekil 4.36’da görülen parça üzerinden aralarında mutlak açı bulunan iki yüzey seçildi. İki yüzeyden biri referans kabul edilerek bu yüzeye “A” referans işareti yerleştirildi. Referans işareti ile birlikte tolerans kutucuğu da eşzamanlı olarak tolerans verilecek yüzeyde gösterildi. Bu yüzeyde birbirine paralel olan ve aralarında “t” kadar mesafe bulunan hayali düzlemler görünür hale getirilerek tolerans aralığı vurgulandı. İki düzlem arasına üçüncü bir düzlem yerleştirildi ve bu düzleme tolerans aralığında dönme ve ilerleme hareketi yaptırıldı.

#### 4.2.9. Yuvarlaklık

Yuvarlaklık toleransı, dairesel bir kesitteki elemanların aralarında “t” kadar yarıçap farkı bulunan hayali iki çember arasında olma durumudur. Yuvarlaklık toleransı Şekil 4.37 ile gösterilen animasyon ile anlatıldı.



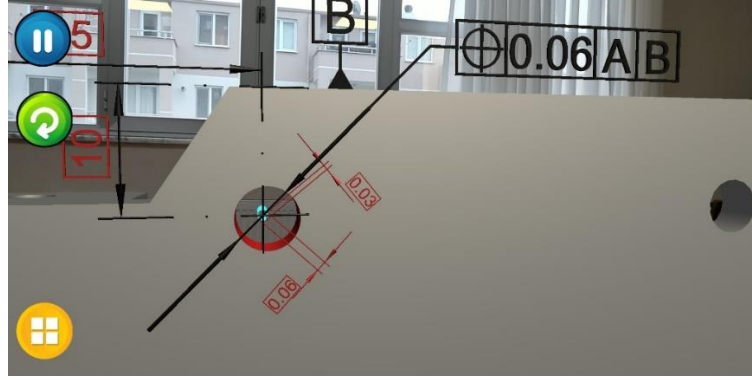
**Şekil 4.37.** Yuvarlaklık toleransı animasyonu

Yuvarlaklık toleransını anlatmak amacıyla parçanın dairesel kesitli kenarına aralarında belirli bir çap farkı bulunan hayali iki çember yerleştirildi. Bu iki çember arasında parçanın gerçek hayatta ideal ölçülerde olmayacağını abartılı bir şekilde göstermek için dalgalı yapıya sahip olan bir çember yerleştirildi. Daireye temas edecek biçimde tolerans kutucuğu gösterilerek kırmızı renkli vurgu okları ile tolerans aralığı vurgulandı. Ardından parça silindir eksenini etrafında 360 derece döndürülerek kullanıcıya yuvarlaklığın belirli bir sapmanın dışında olmaması gerektiği gösterildi.

#### **4.2.10. Konum**

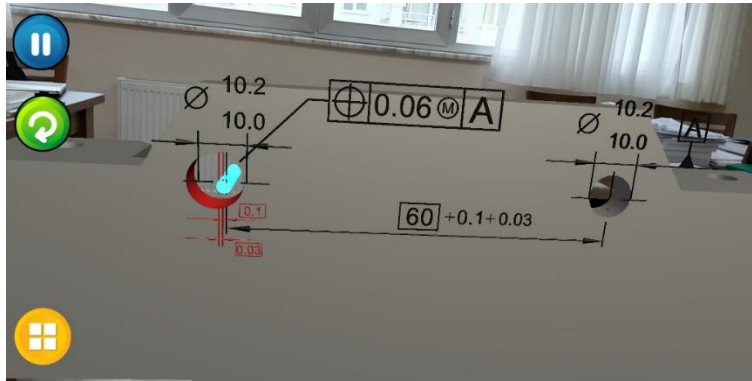
Konum toleransı, dairesel bir deliğin ekseninin “t” çaplı bir silindir içinde olma şartıdır. Konum toleransının anlatımında Şekil 4.38 ile gösterilen animasyon kullanıldı.





**Şekil 4.38.** Konum toleransı animasyonu

Konum toleransının anlatımında özellikle üzerinde en az iki adet delik bulunduran parça seçildi. Animasyonun başlangıcında deliğin konumu “A” ve “B” referans düzlemlerine göre mutlak ölçülerle ifade edildi. Sonrasında delik merkezinde tolerans değerinin yarısı kadar yarıçaplı bir silindir ve deliğe verilecek konum toleransı gösterildi. Tolerans değerini ifade eden hayali silindirin konumu sabit tutularak delik tolerans değerinin yarısı kadar yatay olarak kaydırıldı. Böylece konum toleransında delik merkezinin tolerans değeri kadar değil, tolerans değerinin yarısı kadar sapabileceği gösterilmiş oldu.

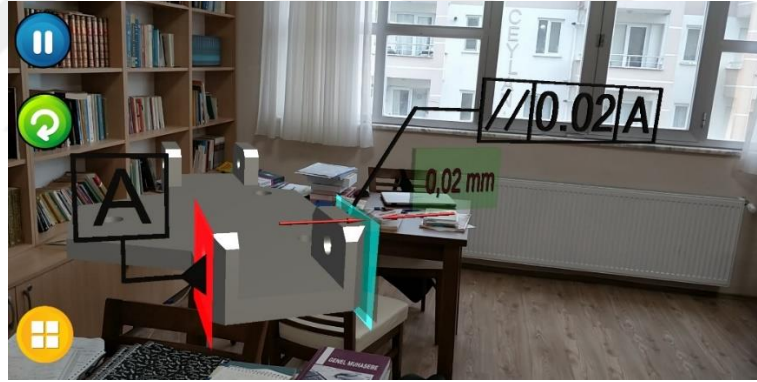


**Şekil 4.39.** Maksimum malzeme şartının gösterilmesi

Konum toleransı anlatıldıktan sonra, konuyu pekiştirmek ve konum toleransı ile sıkça kullanılıyor olmasından dolayı maksimum malzeme şartı da anlatıldı. Maksimum malzeme şartını anlatmak amacıyla parça üzerindeki her iki deliğe de çap toleransı verildi. İki delikten biri “A” harfi ile referans olarak gösterildi ve iki delik arasındaki uzaklık mutlak olarak belirtildi. Ardından maksimum malzeme şartı ile konum toleransı verilen delik boyut toleransı kadar büyütüldü. İki delik arasındaki mesafe arttığı için bu artış mutlak ölçünün yanına eklendi. Sonrasında konum toleransının sebep olduğu büyüme de mutlak ölçünün yanına eklenerek kullanıcıya maksimum malzeme şartının üretime sağladığı esneklik anlatılmış oldu.

#### 4.2.11. Paralellik

Paralellik toleransı, bir yüzeyin referans kabul edilen bir yüzeye göre aralarında “t” kadar mesafe bulunan hayali iki düzlem arasında olma şartıdır. Paralellik toleransı Şekil 4.40’da gösterilen animasyon ile anlatıldı.



Şekil 4.40. Paralellik toleransı bilgisinin parça üzerinde gösterimi

Paralellik toleransı animasyonunda önce Şekil 4.40’da gösterilmekte olan referans düzlemine “A” referans işareti yerleştirildi. Akabinde tolerans verilecek olan yüzeyde birbirine paralel ve aralarında “t” kadar mesafe bulunan iki hayali düzlem gösterildi. Bu iki düzlem arasındaki mesafe kırmızı oklar ile vurgulanarak tolerans değeri ayrıca bir

kutucuk içerisinde gösterildi. Tolerans düzlemlerinden biri, iki düzlem arasındaki mesafeyi arttıracak şekilde hareket ettirildi. İki düzlem arasındaki mesafe tolerans değerini aştığında yardımcı kutucuğun rengi beyazdan kırmızıya döndürüldü. Bu düzlem tekrar eski konumuna gelerek yardımcı kutucuğun rengi yeşile dönüştürüldü. Ardından iki düzlem arasına bir düzlem daha yerleştirilerek diğer toleranslarda da olduğu gibi dönme ve ilerleme hareketi ile tolerans verilen düzlemin tolerans bölgesi içinde kalması koşuluyla herhangi bir şekilde olabileceği gösterildi.

### 4.3. Montaj ve Montaj Resimleri

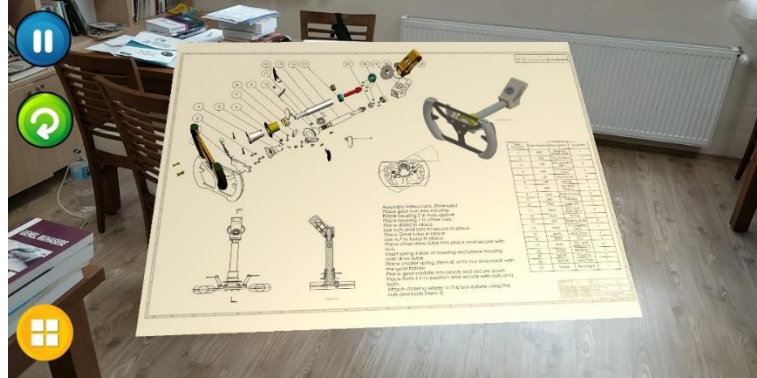
Montaj işlemi birden fazla parçadan oluşan her makine için gerekli olduğundan dolayı makine ve imalat mühendisliğinde önemli bir konudur. Uygulamada bu konunun anlatımı için proje kapsamında kullanılan araç modelinin direksiyon seti kullanıldı (Şekil 4.41). Direksiyon setindeki her bir parçanın montajı ve demontajı sırasıyla ele alındı ve kullanıcıya “montaj tuşu” yardımıyla parçaları montaj ve demontaj etme imkânı sunuldu.



Şekil 4.41. Montajlama animasyonu

Montaj resimlerinin anlatımı için direksiyon setinin patlatılmış katı modeli ve bu modele ait montaj resmi verilerek montaj resimlerinin daha iyi anlaşılması hedeflendi. Kullanıcı üç boyutlu model ile teknik resmi bir arada inceleyerek montaj parçaları ile montaj

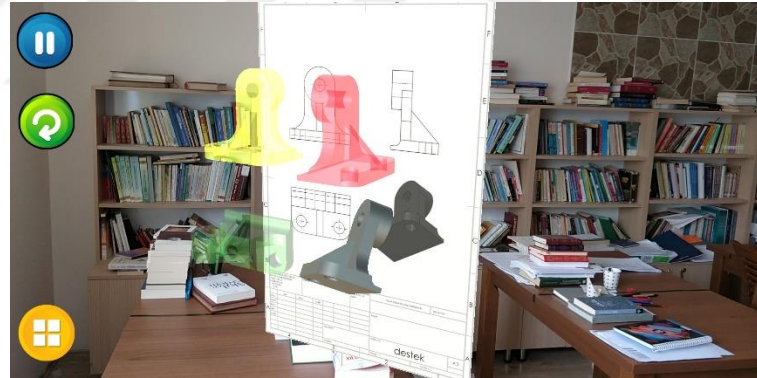
resimlerinin ilişkilerini kalıcı olarak öğrenmesi beklenmektedir. Ayrıca seslendirme metinleri ile de açıklamalar yapılarak kullanıcının bilgisi pekiştirilmektedir.



Şekil 4.42. Montaj resimleri animasyonu

#### 4.4. İz Düşümler

##### 4.4.1. Perspektif ve görünüş çıkarma



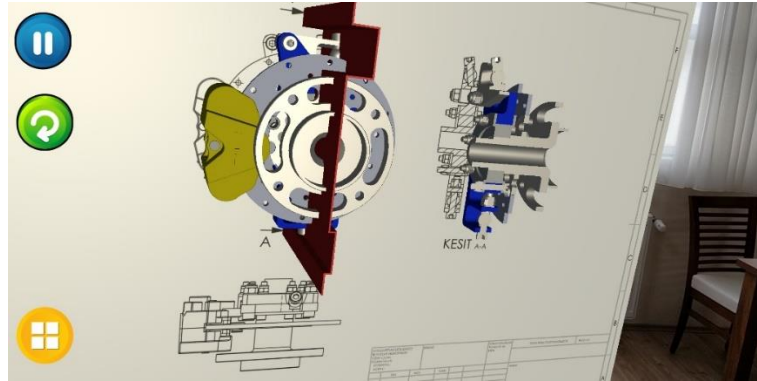
Şekil 4.43. Perspektif görünüş

Perspektif ve görünüşler teknik resmin en temel konularıdır. Bu nedenden dolayı bu iki konu ile ilgili animasyonların kullanıcıyla etkileşimlerini daha da arttırmak amacıyla diğer animasyonlardan farklı olarak bu parçalara sanal tuş ataması yapıldı. Animasyon

açıldığında Şekil 4.43’de görüldüğü gibi perspektif olarak görünen parça sırasıyla ön, yan ve üst olmak üzere üç temel görünüşün üzerine gelerek parça, o konumdayken parçaya sonsuz uzaklıktan bakıldığında oluşacak iki boyutlu resmin teknik resimdeki gibi olacağı gösterildi. Parçalara tanımlanan sanal tuşlar sayesinde de her bir görünüşe ait hayali şekle tıklandığında parçanın o şeklin üzerine gitmesi sağlandı ve parçanın sonsuz uzaklıktaki bir ışık kaynağının oluşturduğu gölgesi, teknik resimdeki ilgili görünüşle birebir örtüştürüldü.

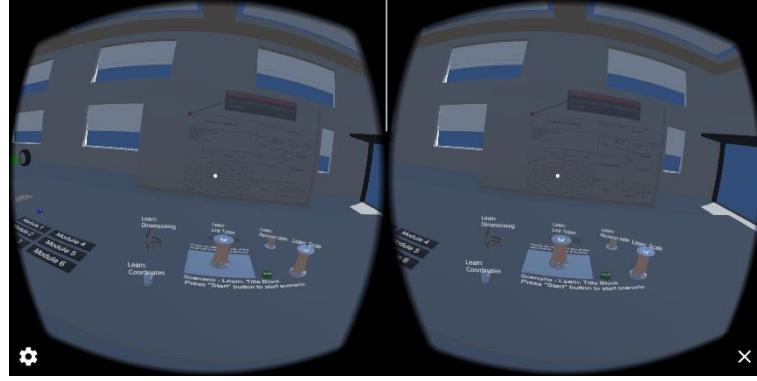
#### 4.4.2. Kesitler

Teknik resmin diğer bir önemli konusu olan kesitler bu çalışmada tek bir animasyonla anlatıldı. Animasyonun başlangıcında çokça dairesel şekilden oluşan parça, teknik resim üzerinde ön görünüşün önünde konumlandırıldı. Parça teknik resmine uygun olarak parçanın kademeli olarak kesileceği yer ince kesit düzlemleri ile vurgulandı. Ardından parça kesilerek resim üzerinde gösterildi. Kesit olan parça yavaşça Şekil 4.44’deki gibi kesit görünüşün üzerine denk gelecek biçimde ana parçadan ayrılarak kesit görünüşün üzerine getirildi. Sonrasında kesilmiş parça teknik resmin içine doğru batırıldı. Parça yavaşça teknik resimden dışarı doğru çıkartılırken kesit kademelerinin kesit görünüşünde denk geldikleri bölgeler kırmızı bir çizgi yardımıyla hareketli bir şekilde belirtildi.



Şekil 4.44. Kesit alma animasyonu





**Şekil 4.46.** SG uygulamasının ekran görüntüsü

SG uygulaması geliştirirken öncelikle uygulama sahnesi bir atölye biçiminde tasarlanmıştır. Uygulamanın görselliğini arttırmak için hazırlanan atölyenin içine proje kapsamında kullanılan Sofya Teknik Üniversitesinde tasarlanmış olan aracın patlatılmış modeli yerleştirilmiştir. Kullanım esnasında konu başlıklarına kolayca erişebilmek için atölye içine bir çalışma masası da eklenmiştir. Bu çalışmada da altı ana konu başlığı ele alınmıştır. Her bir konu başlığı modül olarak temsil edilmiştir. Modüller çalışma masası üzerine birer tuş kullanılarak eklenmiştir. Bir modül seçildiğinde konunun anlatılacağı parçaların üç boyutlu bir şekilde masanın üzerinde yerleştirilmesi sağlanmıştır. Böylece herhangi bir parça seçildiğinde masanın üzerindeki ekrandan ilgili konunun videosu oynatılması sağlanmıştır.

Geliştirilen AG uygulamasında SG özelliği kullanıldığından dolayı harici olarak geliştirilen SG uygulamasından daha verimli olmuştur. Bu nedenle uygulamalar çoğunlukla AG uygulaması olarak geliştirilmiş ve uygulamanın içindeki SG moduyla kullanılmıştır (Şekil 4.47).



**Şekil 4.47.** Paralellik toleransının AG uygulamasında SG modunda incelenmesi





## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada imalatta sıkça kullanılan geometrik ve yüzey pürüzlülük toleransları, montaj resimleri, mil-delik toleransları, teknik resim oluşturma ve görünüşler ve perspektifler konularını hem Türkçe hem de İngilizce dil desteği ile anlatan mobil cihazlar için AG uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen AG uygulaması, makine imalat sektöründe en sık kullanılan geometrik toleransların sektördeki kullanıcıların bilgi ihtiyacını temel düzeyde karşılamaktadır. Geometrik toleransların anlatılması -bu uygulama ile- bir atölyeden veya sınıftan bağımsız hale getirilmiştir. AG teknolojisinin mesleki ve mühendislik eğitimlerinde kullanılması sadece en üst düzey laboratuvarların sahip olabileceği deney düzeneklerinin ve teknolojilerin sanal olarak incelenebilmesinin önünü açmıştır.

Tez çalışması kapsamında hem AG hem de SG uygulaması geliştirilmiştir. SG uygulamalarında konuların anlatılacağı parçaların haricinde ilgili parçaların yerleştirileceği çevre tasarlanmakta ve gerçekçiliği arttırmak için iletken ışıklandırma ve gölgelendirme teknikleri kullanılmaktadır. Bu yardımcı öğeler de uygulamanın boyutunu arttırmaktadır. AG uygulamalarında ise uygulamada sadece konu ile ilgili parçaların kullanılması yeterli olmaktadır. Böylece uygulamanın boyutu daha makul seviyelerde kalmaktadır. Bu nedenlerle hazırlanan sahneler çoğunlukla AG uygulaması olarak geliştirilmiş ve uygulamaya AG ve SG arasında geçiş yapabilme özelliği kazandırılmıştır. Böylece harici bir SG uygulamasına gerek kalmamıştır.

Bu tez çalışması göstermektedir ki uygulama verimliliği açısından kullanılacak parçaları, mümkün olduğunca, geometrilerinin bozulmadığı en düşük poligon sayısı ile temsil etmek, cihazın işlemci kapasitesini doldurmamak açısından önemlidir. AG uygulaması geliştirilirken uygulamanın dosya boyutunu küçük tutabilmek için uygulamada basit parça modelleri ve düşük mesh yapıları kullanılmıştır.

İleriki çalışmalarda öğrencilerin uygulama ile etkileşimlerini arttırmak amacıyla tolerans animasyonlarını açmak için insan-bilgisayar etkileşimini arttırmaya yönelik olarak “sesli çağırma” kullanılabilir. Yani akıllı telefonların sesli asistanı gibi kullanıcı “Silindiriklik” dediğinde uygulama üzerinde silindiriklik toleransına ait animasyonun açılması sağlanabilir. Tolerans animasyonlarını açmak için QR kod okutmaya alternatif olarak toleransın evrensel sembolü okutulabilir. Örneğin doğruluk toleransı için “-“ şekli okutulduğunda uygulamada doğruluk toleransına ait animasyonun açılması ve bu sayede herhangi bir teknik resimdeki parçaya tanımlanmış olan doğruluk toleransı üzerinden de okutma yapılarak konu tekrarı yapılabilir. Toleranslara erişmek için patlatılmış araç modeli üzerindeki parçaların üzerine tolerans işaretleri koyularak kullanıcıya bütün toleransların bir arada olduğu ve hangi toleransın hangi geometride kullanıldığı sunulmuş olur. Toleransa veya parçaya tıklatıldığında ilgili animasyon oynatılır. QR kodların web sitesinden ve eğitim materyalinden okutulmasına ek olarak üç boyutlu yazıcı ile hazırlanan bir QR küp kullanılarak kullanıcının uygulama ile olan etkileşimi artırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Akkuş, İ. 2016.** Bilgisayar destekli teknik resim dersinde artırılmış gerçeklik uygulamalarının makine mühendisliği öğrencilerinin akademik başarısına ve uzamsal yeteneklerine etkisi. Yayınlanmamış *Y.Lisans Tezi*, İÜ. Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Anonim, 1995.** VRML Virtual Reality Modeling Language. <https://www.w3.org/MarkUp/VRML/> (Erişim Tarihi: 12.11.2018)
- Anonim, 2016.** The Untold Story of Magic Leap, the World's Most Secretive Startup. <https://www.wired.com/2016/04/magic-leap-vr/#slide-1> (Erişim Tarihi: 13.11.2018)
- Anonim, 2017.** Unity CAD Importer. [http://cadimporter.unity3d.jp/download/index\\_e.html](http://cadimporter.unity3d.jp/download/index_e.html) (Erişim Tarihi: 21.02.2019)
- Anonim, 2017.** CFD Meets VR Lab. <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/CFD-Meets-VR-Lab-2017#handout> (Erişim Tarihi: 16.01.2019)
- Balak, M. V., Kısa, M. 2017.** Akıllı Telefonlu Arttırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Teknik Resim Eğitiminde Kullanılması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 1(2): 17-26
- Berg, L. P., Vance, J. M. 2017.** Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey. *Virtual reality*, 21(1): 1-17.
- Bordegoni, M., Ferrise, F., Carrabba, E., Di Donato, M., Fiorentino, M., Uva, A. E. 2014.** An application based on Augmented Reality and mobile technology to support remote maintenance. *Conference and Exhibition of the European Association of Virtual and Augmented Reality*, 1(1): 131–135.
- Chen, Y. C., Chi, H. L., Hung, W. H., Kang, S. C. 2011.** Use of tangible and augmented reality models in engineering graphics courses. *Journal of Professional Issues in Engineering Education & Practice*, 137(4): 267-276.
- Elbasiouny, E. R., Medhat, T., Sarhan, A., Eltobely, T. E. 2011.** Stepping into Augmented Reality. *IJNCM: International Journal of Networked Computing and Advanced Information Management*, 1(1): 40-47.
- Fu, D., Wu, B., Chen, G., Moreland, J., Tian, F., Hu, Y., Zhou, C. Q. 2010.** Virtual reality visualization of CFD simulation for iron/steelmaking processes. In 2010 14th International Heat Transfer Conference (pp. 761-768). American Society of Mechanical Engineers.
- Ghavifekr, S., Kunjappan, T., Ramasamy, L., Anthony, A. 2016.** Teaching and Learning with ICT Tools: Issues and Challenges from Teachers' Perceptions. *Malaysian Online Journal of Educational Technology*, 4(2): 38-57.
- Herr, D., Reinhardt, J., Krüger, R., Reina, G., Ertl, T. 2017.** Immersive Visual Analytics for Modular Factory Layout Planning. In Workshop on Immersive Analytics of IEEE VIS, 2017, Stuttgart, Germany.
- Hutson, M. 2017.** Smart windshields could transform your driving experience, but what happens when they get hacked?. <https://www.sciencemag.org/news/2017/05/smart-windshields-could-transform-your-driving-experience-what-happens-when-they-get> (Erişim Tarihi: 24.01.2019)

- Kofoğlu, M., Dargut, C., Arslan, R., Kuş, A. 2018.** 3D Modellerde Poligon Yapısının Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları Üzerindeki Etkileri. 9th International Automotive Technologies Congress, OTEKON, 2018, Bursa
- Kus, A., Aslan, R., Unver, E., Cardoso, O. I. H., Dimitrov, L., Tekin, Y. 2018.** An evaluation of technical drawings training needs for developing new training methods. In *XXVII International Scientific and Technical Conference AUTOMATION OF DISCRETE PRODUCTION ENGINEERING “ADP-2018”*: XXVII международна научно-техническа конференция Автоматизация на Дискретното Производство “АДП-2018” (pp. 309-317).
- Li, W., Nee, A. Y. C., Ong, S. K. 2017.** A State-of-the-Art Review of Augmented Reality in Engineering Analysis and Simulation. *Multimodal Technologies and Interaction*, 1(3): 17.
- Liarokapis, F., White, M., Lister, P. 2004.** Augmented reality interface toolkit. In Proceedings. Eighth International Conference on Information Visualisation, 2004, IEEE, London.
- Moreland, J., Wang, J., Liu, Y., Li, F., Shen, L., Wu, B., Zhou, C. 2013.** Integration of augmented reality with computational fluid dynamics for power plant training. In *Proceedings of the International Conference on Modeling, Simulation and Visualization Methods (MSV)* (p. 1). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp).
- Mourtzis, D., Zogopoulos, V., Vlachou, E. 2017.** Augmented reality application to support remote maintenance as a service in the robotics industry. *Procedia CIRP*, 63: 46-51.
- Nee, A. Y., Ong, S. K., Chryssolouris, G., Mourtzis, D. 2012.** Augmented reality applications in design and manufacturing. *CIRP annals*, 61(2): 657-679.
- Nesterov, A., Kholodilin, I., Shishkov, A., Vanin, P. 2017.** Augmented reality in engineering education: Opportunities and advantages. *Communications-Scientific letters of the University of Zilina*, 19(4): 117-120.
- Ong, S. K., Yuan, M. L., Nee, A. Y. C. 2008.** Augmented reality applications in manufacturing: a survey. *International journal of production research*, 46(10): 2707-2742.
- Özarlan, Y. 2013.** Genişletilmiş gerçeklik ile zenginleştirilmiş öğrenme materyallerinin öğrenen başarısı ve memnuniyeti üzerindeki etkisi, *Yayınlanmamış Doktora Tezi*, AÜ. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uzaktan Eğitim Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Palladino, T. 2018.** Augmented Reality in Cars — the Companies & Tech Driving Us into the Future. <https://next.reality.news/news/augmented-reality-cars-companies-tech-driving-us-into-future-0182485/> (Erişim Tarihi: 09.02.2019)
- Pejić, P., Rizov, T., Krasić, S., Stajić, B. 2014.** Augmented reality application in engineering. In *3rd international congress, SMAT 2014-SIAR* (pp. 39-44).
- Pentenrieder, K. 2009.** Augmented reality based factory planning. *Ph.D. Thesis*, TUM. Institute of Computer Science, Germany.

- Somyürek, S. 2014.** Öğretim Sürecinde Z Kuşağının Dikkatini Çekme: Artırılmış Gerçeklik. *Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama*, 4(1): 63-80.
- Yap, H. J., Taha, Z., Choo, H. K., Kok, C. K. 2014.** Virtual Reality-based Training System for Metal Active Gas Welding. *The Thousand Faces of Virtual Reality: The Thousand Faces of Virtual Reality*, Ed.: C. S. Lányi (Ed.), London, IntechOpen: 87–104.
- Yokoi, K., Fukuda, T., Yabuki, N., Motamedi, A. 2016.** Integrating CFD and AR for indoor thermal environmental design feedback. 2016, Proceedings of the 11th ISAIA, Miyagi
- Quandt, M., Knoke, B., Gorltdt, C., Freitag, M., Thoben, K. D. 2018.** General Requirements for Industrial Augmented Reality Applications. *Procedia CIRP*, 72: 1130-1135.
- Wassom, B. 2015.** International Summit on Augmented Reality in The Automotive Industry, Part 1: AR in Cars And The Augmented Driving Initiative. <http://www.wassom.com/international-summit-on-augmented-reality-in-the-automotive-industry-part-1-ar-in-cars-and-the-augmented-driving-initiative.html> (Erişim Tarihi: 09.02.2019)
- Webel, S., Bockholt, U., Engelke, T., Gavish, N., Olbrich, M., Preusche, C. 2013.** An augmented reality training platform for assembly and maintenance skills. *Robotics and Autonomous Systems*, 61(4): 398-403.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Muhammed KOFOĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi : Orhangazi 24.07.1994

Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yılı)

Lise : Orhangazi Çok Programlı Lisesi Fen Bilimleri  
2008-2012

Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik  
Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü 2012-2016

Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı 2017-2019

Çalıştığı Kurum ve Yıl : Demir Teknik 2016-2017

İletişim (e-posta) : muhammedkofoglu@gmail.com

Yayınları :

**Arslan, R., Kofoglu, M., Dargut, C. 2019.** Biyoloji Eğitimi İçin Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları Geliştirilmesi. Uluslararası Fen, Matematik, Girişimcilik ve Teknoloji Eğitimi Kongresi, FMGT 2019, İzmir

**Emreli, D., Kofoglu, M., Kuş, A., Arslan, R., Unver, E. 2019.** Teknik Resim Eğitimi İçin Geliştirilen Sanal Gerçeklik Öğretim Materyalinin Öğrencilerin Kavramsal ve Bilişsel Öğrenme Düzeylerine Etkisinin İncelenmesi. Uluslararası Fen, Matematik, Girişimcilik ve Teknoloji Eğitimi Kongresi, FMGT 2019, İzmir

**Huerta, O., Kus, A., Unver, E., Arslan, R., Dawood, M., Kofoglu, M., Ivanov, V. 2019.** A Design-based Approach to Enhancing Technical Drawing Skills in Design and Engineering Education using VR and AR Tools. *In Proceedings of the 14th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications*, 3(1): 306-313.

**Kofoğlu, M., Dargut, C., Arslan, R., Kuş, A. 2018.** 3D Modellerde Poligon Yapısının Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları Üzerindeki Etkileri. 9th International Automotive Technologies Congress, OTEKON, 2018, Bursa

**Kofoğlu, M., Kuş, A., Emreli, D., Arslan, R., Unver, E. ve Kagioglou, M. 2019.** Mühendislik Eğitiminde Geometrik Toleransların Öğretimine yönelik Artırılmış Gerçeklik Uygulaması Geliştirilmesi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*

