

MÜHENDİSLİK EĞİTİMİNDE GEOMETRİK TOLERANSLARIN ÖĞRETİMİNE YÖNELİK ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMASI GELİŞTİRİLMESİ

*Muhammed KOFOĞLU**
*Abdil KUŞ**
*Derya EMRELİ**
*Rıdvan ARSLAN***
*Ertu UNVER****
*Mike KAGIOGLOU****

Özet: Günümüzde, iş hayatına başlayacak bireylerin üretime bir an önce katılabilmeleri büyük önem arz etmekte ve mesleki alanları ile ilgili bilgi ve becerileri eğitimleri esnasında kazanmaları gerekmektedir. Özellikle mühendislik eğitimlerinde teknik konu ve kavramların öğretiminde yeni teknolojilerin eğitime adapte edilmesi gerekir. Bu amaçla son yıllarda artırılmış gerçeklik (AG) teknolojileri kullanıcıya verdiği “cisimlerdeki derinlik algısı” ve “cisimlerle görsel olarak etkileşim” imkânı ile oldukça etkili bir teknik olarak ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada kişilerde Teknik Resim öğrenme performansının yükseltmesi amacıyla özgün bir mobil AG uygulamasının geliştirme süreçleri irdelenmektedir. Bu kapsamda, Unity3D uygulaması üzerinde AG ile makine imalat-montaj süreçlerinde çok yaygın kullanılan teknik resim konularından olan geometrik toleranslar mobil AG uygulaması olarak geliştirilmiştir. Uygulamada geometrik ölçülendirme ve toleransların (GD&T) kolaylıkla anlaşılabilir ve öğretilebilir olması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Artırılmış Gerçeklik, Geometrik Toleranslar, Teknik Resim Eğitimi

Development of Augmented Reality Application for Teaching Geometric Tolerances in Engineering Education

Abstract: It is of great importance for individuals to start working life early and acquire knowledge and skills related to their professional fields during their education. Particularly for learning engineering subjects and concepts, relevant technologies should be adapted into education. Recently, for this purpose, Augmented Reality (AR) technologies come to the fore as a highly effective technique with the possibility of perception of depth and visual interaction with objects. In this study, development processes of a specific mobile AR application are examined in order to increase the performance of Technical Drawing learning. In this context, the geometric tolerances widely used in technical drawing subjects in the machine manufacturing-assembly processes with AR on Unity3D applications were developed as mobile AR application. In the application, the concepts of geometric dimensioning and tolerances (GD&T) are intended to be easily understandable and teachable.

Keywords: Augmented Reality, Geometric Tolerances, Engineering Drawing Education

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bursa, Türkiye

** Uludağ Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bursa, Türkiye

*** University of Huddersfield, School of Art, Design and Architecture, Huddersfield, UK

İletişim Yazarı: Abdil KUŞ(abdilkus@uludag.edu.tr)

1. GİRİŞ

İleri ve yüksek ileri teknoloji kullanılan sektörlerde eksiklik hissedilen eğitimlerin önemli bir yüzdesini ileri düzeyde Teknik Resim okuma bilgisi oluşturmaktadır. Bu eksiklik gerek meslek lisesi, meslek yüksekokulu, mühendislik fakültelerinde verilen eğitimlerin pratik uygulamalar ile desteklenmemesinden ve gerekse standartların çok hızlı biçimde güncelleniyor olmasından kaynaklanmaktadır (Arslan ve Uzaslan, 2017). Son yıllarda eğitimin her alanında olduğu gibi mühendislik ve tasarım eğitimlerinin de Sanal (SG) ve Artırılmış gerçeklik (AG) uygulamaları ile desteklenmesi çalışmalarına hız verilmiştir (Kaufmann ve Dünser, 2007; Seth ve diğ., 2011; Hu ve Xiong, 2005).

AG ve SG uygulamaları günümüzde çok hızlı geliştirilen bir platform haline gelmiştir ve gündelik hayata her geçen gün daha fazla adapte edilmektedir. Mühendislik öğrencileri için çizim-tasarım dersleri tüm dünyada öğrenilmesi ve öğretilmesi zor ancak iş hayatı içinde bir o kadar gereklidir. Mühendislik objelerinin grafiksel gösterimini anlama ve tasvir etmenin yanı sıra, bu derslerin amacı öğrencilere üç boyutlu (3D) nesnelere ve onların projeksiyonları arasındaki ilişkiyi anlamalarına yardımcı olmaktır. Ancak, zamanın sınırlı olduğu sınıfta, 3D geometriyi sadece kâğıt üzerinde veya tahtadaki çizimlerini kullanarak açıklamak oldukça zordur ve bu zorluk artırılmış gerçeklik platformları ile giderilebilir (Chen ve diğ., 2011; Unver, 2006).

Nesterov ve diğ. (2017) AG teknolojilerinin pahalı laboratuvar ekipmanlarının yerine geçmekte olduğunu ve bu teknolojilerin öğrencilerle etkileşimli olmasından dolayı 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 (2016) çalışmalarında akıllı telefonlu artırılmış gerçeklik teknolojisinin teknik resim eğitiminde kullanılması konusunu araştırmışlar ve teknik resim dersinin mühendislik öğrencileri için çok kritik bir öneme sahip olduğunu vurgulamışlardır. Li ve diğ., (2017) çalışmalarında, mühendislik veri türlerini içeren analiz ve simülasyonlar bir AG platformu kullanarak doğru ve etkili bir şekilde görselleştirilmesi yanlış öğrenmeyi ve yorumlamayı azalttığını belirtmektedirler.

Son yıllarda, AG uygulamaları masaüstü bilgisayardan mobil cihazlara doğru geçiş göstermiştir. Taşınabilirlik kolaylığı ve işlemcilerin güçlerinin artırılması ile mobil platformlar, mühendislere, yerinde bulunan ilgili bilgilere uygun erişim imkânı sağlamıştır. Mühendislik analizinde AG'nin görsel ve mobil platformlarda uygulamaları karşılaştırıldığında her tekniğin, uygulamada birtakım artıları ve eksileri olduğu ve geliştirme sürecinin yoğun biçimde devam edeceği belirtilmektedir. AG'nin geleceğinin tamamen işlevsel bir mobil AG platformu şeklinde olacağı ve bu geliştirme fazının henüz emekleme aşamasında olduğu belirtilmektedir. Benzer şekilde Pejic ve diğ., (2014) göre; AG mühendislik uygulamalarının henüz karmaşık 3D modellerin fotogerçekçi sunumunda donanım ve yazılım eksikliklerinin ve geliştirilmesi gereken kısımlarının olduğu açıktır. AG uygulamaları geliştirenlerin bu eksiklikleri gidermek üzere çalışmaları sürmektedir ve geleceğin mühendislik çözümlerinde AG'nin çok etkin olacağı söylenebilir.

Martin ve diğ., (2015) çalışmalarında teorik bilgileri AG destekli laboratuvar uygulamaları ile kullanarak eğitim ve algı ilişkisini araştırmışlardır. Ortaya çıkan değerlendirmelerde; öğrenciler, AG ortamlarını kullanırken kendilerini rahat hissetmekte ve içeriğin öğrenilmesi, performans eğitimi, tesislerin ve makinelerin tasarımının amacına uygun kolay ve kullanışlı olduğunu düşünmektedirler. Benzer biçimde, mühendislik öğrencilerinin mekânsal yeteneklerini geliştirmek için AG uygulaması kullanımından bahsetmektedirler. Martin ve diğ., (2010), bir başka çalışmalarında Mühendislik öğrencilerin ders esnasında uzamsal yeteneklerinin gelişimini teşvik etmek için görselleştirme görevlerini yerine getirmelerine yardımcı olmak amacıyla 3D

sanal modeller geliştirmişler ve öğrenciler üzerinde yaptıkları eğitimlerde, olumlu katkıları sağladıklarını ifade etmişlerdir.

Bir başka çalışmada, AG uygulamalarının üniversite öğrencilerinin laboratuvar becerileri ve laboratuvarlara yönelik tutumları üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Yarı deneysel ön test/son test kontrol grubu tasarımı kullanılmıştır. Sonuçlar, AG teknolojisinin, üniversite öğrencilerinin laboratuvar becerilerinin gelişimini önemli ölçüde arttırdığını ortaya koymuştur (Akçayır ve diğ., 2016). Baloch ve diğ., (2018) araştırmalarında AG uygulamaları ile desteklenen bir kullanım kılavuzu ile öğrencileri bu tür kitleri kullanmaya yönlendirmeyi ve böylece öğrencilerin laboratuvar eğitimlerinin iş yükünü öğrenme ve azaltma konusundaki ilgisini ve kolaylığını arttırmayı hedeflemiştir.

Bu çalışmada kişilerde Teknik Resim öğrenme performansının yükseltmesi amacıyla özgün bir mobil AG uygulamasının geliştirme süreçleri irdelenmektedir. Uygulamanın kullanılmasıyla kişilerde; imalat ve montaj resimlerinde kullanılan geometrik ölçülendirme ve toleranslar kavramların kolaylıkla anlaşılabilir/öğretilebilir olması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışma ihtiyaç analizi ve materyal geliştirme olarak iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar; belirlenen ihtiyaçlar doğrultusunda eğitim programı/senaryo (içerik) geliştirme ve öncelikli konulara ait belirlenen senaryolara göre sanal gerçeklik uygulamalarının geliştirilmesi süreçlerini kapsamaktadır.

2.1. İhtiyaç Analizi

Bu araştırmanın ilk aşaması, Teknik Resim eğitiminde ihtiyaç hissedilen öncelikli konuların tespitine yardımcı olmak üzere gerçekleştirilen ihtiyaç analizinden hareketle AG uygulama konu başlığını belirlemek olmuştur. İhtiyaç analizi çalışmasına; İngiltere, Bulgaristan ve Türkiye'den farklı endüstri ve eğitim alanlarından meslek lisesi, meslek yüksekokulu ve mühendislik öğrencileri, öğretim görevlisi, imalat sektörü çalışanı ve eğitimcilerden oluşan 320 kişi katılmıştır. Bu analiz sonucunda üç ayrı ülke sonuçlarında da birinci öncelik olarak belirlenene ve en çok ihtiyaç hissedilen konu başlığının Geometrik Ölçülendirme ve Toleranslar olduğu tespit edilmiştir (Kuş ve diğ., 2018).

2.2. İçerik ve Senaryo Geliştirme

Bu ihtiyaca yönelik olarak makine ve imalat sektörlerinde kullanılmak üzere geometrik toleranslar üzerine AR uygulamasının nasıl olması gerektiğine dair içerik ve eğitim senaryosu geliştirilmeye başlanmıştır. İçerik geliştirme teknik resim eğitimi veren akademisyen ve sektör temsilcilerinden oluşan uluslararası bir komisyon tarafından sürdürülmüştür. İçerikler; sektör beklentilerini karşılama, sürekli geliştirilmeye açıklık, esnek eğitim saatlerine uyumluluk ve modüler yaklaşım gibi kriterler doğrultusunda belirlenmiştir. Bu süreçte öğrenme çıktıları ve değerlendirme yöntemleri belirlenirken uluslararası içerik geliştirme metodolojisi esas alınmıştır.

Yürütülen çalışmalar neticesinde AG uygulamalarında kullanılacak senaryoların yazımına geçilmiş ve öğrencilerin konuyu anlayabilmeleri için farklı senaryolar geliştirilmiştir. Senaryo geliştirmenin son fazında AG uygulamalarının üzerinde kullanılacak seslendirme metinlerinin yazımı gerçekleştirilmiştir. Tablo 1.de çalışma kapsamında geliştirilen AG uygulamasına esas alınan içerik ve yöntem verilmektedir.

Tablo 1. Çalışma kapsamında geliştirilen AG uygulamasına esas alınan içerik

Modül Adı	Geometrik Toleranslandırma / Form-Konum Toleransları
Modül İçeriği	<p>Geometrik toleranslandırma prensipleri: Boyutsal tolerans uygulamaları ve ilgili BS ve ISO standartlarını kullanarak bileşenlerin, alt grupların imalat ve montaj elemanlarının boyutlandırılması. Geometrik toleranslandırmanın gösteriminde kullanılan yöntem, toleranslandırılan eleman kavramı ve tolerans bölgelerinin oluşumu.</p> <p>Form ve konum toleransları: Şekil ya da form ve konum toleranslarının diğer tolerans gurubundan farkı, teknik iletişim ve normların doğru okunması/anlaşılması, gereklilikleri, toleranslandırma kavramı ve geometrik toleranslandırmanın elemanları, boyutsal ve geometrik toleranslandırmada ölçme ve değerlendirme kriterleri.</p>
Öğrenme Çıktıları	1 Öğrenciler: Geometrik toleranslandırmanın gösterimi, toleranslandırılan eleman kavramı ve tolerans bölgelerinin oluşumunu bilir.
	2 Doğrusallık, dairesellik, düzlemsellik, silindiriklik kavramlarını bilir. Formu olan bir çizgi, bir yüzey ve formdan sapma kavramı ile şekil toleranslarının ölçme ve onay prensiplerini bilir ve uygular.
	3 Eğiklik, paralellik, diklik kavramlarını bilir ve yön toleranslarında sapma, ölçme ve onay prensiplerini kavrar ve uygular.
	4 Konum toleranslandırması, pozisyon, eş merkezlilik, eş eksenlilik, simetriklik kavramlarını ve yer belirleme toleranslarında sapma, ölçme ve onay prensiplerini bilir ve uygular.
	5 Salgı ve yalpalama toleranslarını bilir. Radyal ve aksiyal basit salgı ile radyal ve aksiyal toplam salgının farkını bilir. Salgı toleranslarında sapma, ölçme ve onay prensiplerini kavrar.
	6 Konumlandırma, konum elemanı ve konum ölçüsü kavramlarını bilir, bir elemanın ya da eleman gurubunun konumlandırılmasını bilir. Bir elemanlar grubunun, bir başka elemanlar grubuna göre konumlandırılmasını bilir.
	7 Pozisyon ve eşmerkezlilik toleranslarında kullanılan en çok malzeme prensibini, kullanım alanlarını ve ihtiyaç gerekliliklerini bilir. En çok malzeme grafiklerinin oluşturulmasını, en çok malzemede sıfır tolerans bölgesi kavramı ve kullanım amacını, en çok malzeme prensibinin toleranslandırılmış elemanda kullanımı ve en çok malzeme prensibinin referanslarda kullanımını bilir. En az malzeme şartı ve uygulama alanlarını bilir.
Öğretme Metodu ve Materyal	İlgili konuların hazırlanan kullanıcı kılavuzunda (el kitabı) verilen metot çerçevesinde mobil AR uygulaması üzerinden tüm öğrencilerin kitaptaki QR kodları okutarak ya da direk uygulamayı çalıştırarak, sanal ortamda gözlemleme ve gerektiğinde parçaya dokunması ile konuyu kavraması beklenmektedir. Mobil ortamı yoka eğitmenin kendi mobil telefonundan projeksiyon ekranına paylaşım yapması mümkündür.

2.3. AG Uygulamaları

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 artırılmış gerçeklik uygulaması geliştirmek için “vuforia” sıklıkla kullanılır ve AR Kit, Google AR Core, AR tools gibi yardımcı paketler de mevcuttur. Bu paketin içinde AR Camera, ImageTarget, MultiTarget,

ObjectTarget gibi kullanıma hazır kodlar mevcuttur (Kofoglu ve diğ., 2018). AG uygulamalarında hâlihazırdaki çizimlerin yetersiz olduğu durumlarda, yeni bir parça oluşturmak için CAD programlarından yararlanılır. Ancak Unity3D programı oluşturulan her katı model dosya formatını desteklemediğinden genellikle “.obj” ve “.fbx” dosya uzantıları kullanılmaktadır. AG için görselleştirmede çok büyük hesaplama gücüyle oldukça gerçekçi görüntüler elde etmek ve eş zamanlı olarak bu görüntülerle etkileşmek mümkündür. Görüntü oluşturmak için seçilecek modelleme programı, çalışmanın sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle 3DS Max, gerek piyasadaki CAD dosya formatlarıyla uyumluluğu gerekse en yaygın CAD yazılımı olmasıyla artırılmış gerçeklik uygulamalarında kullanılacak modellerin oluşturulması için en uygun CAD yazılımlarından birisidir (Liarokapis ve diğ., 2004).

2.4. AG Uygulamalarının Geliştirilmesi

Sanal ortamın gerçek ortamda kullanılarak manipülasyonu öğretmenler ve öğrenciler arasında yeni bir öğrenme ortamı yaratmaktadır. AG, öğrencilerin algılama, öğrenme ve görselleştirme becerilerinin geliştirilmesine yardımcı olacak ve öğretmenlere yüksek bilgi aktarım hızına sahip etkileşimli öğretim materyalleri olacak bir teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır (Ali ve diğ., 2017). Dolayısı ile AG uygulaması geliştirilirken hem öğrenciler hem de öğretmenler açısından kolay kullanılabilir ve yüksek performans sağlayacak yazılım ve donanım araçlarının seçimi önemlidir. Günümüzde uygulama geliştirilirken en çok tercih edilen araçlar ARToolkit başta olmak üzere Vuforia, Augment, Aurasma, Metaio, BazAR ve ARCore gibi sıralanabilir. AG uygulamalarında çoğunlukla bir işaretçiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu işaretçi cihazın kamerasında görüldüğünde sanal nesnelerin oluşturulmasını tetiklemektedir ve işaretçi herhangi bir sebeple takip edilemediğinde sanal nesne kaybolmakta ve uygulamanın kararlılığı bozulmaktadır. Sanal nesnelerin üç boyutlu ortamda konumlandırılması için diğer AG araçlarından farklı olarak ARCore, kameranın ortamdaki hareketini, ortamdaki düz yüzeyleri, ortamın ışığını ve cihazın konum bilgisini kullanmaktadır. Böylece harici bir işaretçiye ihtiyaç duyulmamaktadır (Güngör., 2017). Bu avantajları ve geliştirilecek içerikle uygunluğu göz önüne alınarak bu çalışmada ARCore altyapısı tercih edilmiştir. Diğer yandan halen Tablo 2 de verilen belirli cihazlar ARCore altyapısını desteklemektedir. Bu durum bir dezavantaj gibi görülse de ARCore seçiminin sağladığı avantajlar ve hızla gelişen mobil teknolojileri dikkate alınarak önümüzdeki yıllarda hızla eskimeyen bir yazılım olarak yerini koruyacağı öngörülmüştür. iOS işletim sistemine sahip cihazlar için ise ARKit altyapısı kullanılmaktadır.

Tablo 2. ARCore destekleyen bazı mobil cihazlar

Üretici	Model	Açıklama
OnePlus	OnePlus 5, OnePlus 5T, OnePlus 6, OnePlus 6T	Android 8.0 ve üzeri gerekmektedir.
Samsung	Galaxy S8, Galaxy S8+	Android 8.0 ve üzeri gerekmektedir.

Makine imalat sektörüne yönelik geometrik ölçülendirme ve toleranslar konusunu anlatmak üzere uygulama geliştirirken öncelikli olarak uygulamanın kullanıcı tarafından anlaşılabilir olmasına özen göstermiştir. Burada gerçekleştirilen uygulama, kullanıcı ile sürekli etkileşim halinde olarak kullanıcının dikkatini kendi üzerine çekmektedir. Şekil 1’de uygulama geliştirme fazında çalışmada referans alınan ve uygulanan döngü verilmektedir.



Şekil 1:
Uygulama geliştirme süreci

Çalışmada daha önce uygulanan ve başarılı olan etkileşim yöntemleri kullanılmıştır. Bunlar; QR kod okutma, sesli ve yazılı anlatım, 3D animasyonlar, sanal nesnelere tıklama, tolerans nesnesini döndürme, büyütme ve nesnenin yerini değiştirme ve renk değişimleri olarak sıralanabilir. Uygulamalarda kullanılan parçalar, proje ortağı Sofya Teknik Üniversitesi öğrencilerinin Şekil 2 de görülen Formula student yarışları için geliştirdikleri aracın direksiyon sisteminden seçilmiştir. Araç parçaları ve yardımcı elemanlar 3DSMax ve Inventor programları kullanılarak obj ve fbx dosya formatına dönüştürülerek Unity ortamına aktarılmıştır. Senaryoları canlandırmak amacıyla parçalar üç boyutlu animasyonlar olarak kaydedilmiş ve her bir tolerans için farklı bir sahne oluşturulmuş ve Google'un ARCore Unity eklentisi Unity'e eklenmiştir.



Şekil 2:
Uygulamada referans olarak kullanılan aracın 3D modeli

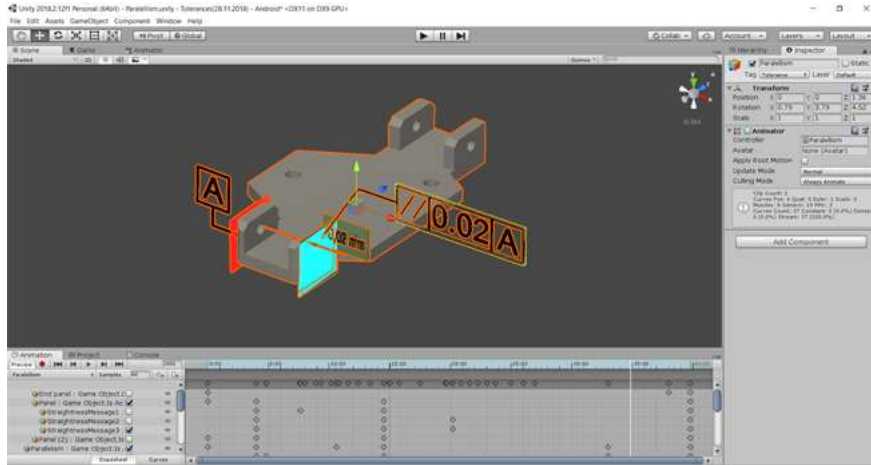
2.5. Örnek Uygulama

Çalışma kapsamında Şekil 3'te verilen ekran görüntüsünde olduğu gibi tüm önemli geometrik toleranslara ait AG uygulamaları geliştirilmiştir. Burada verilen örnek çalışma ise Paralellik, diklik, açılılık tolerans gösterimine aittir. Bu toleranslara ait senaryo şu şekilde yazılmıştır; “Paralellik, diklik, açılılık; bu kavramlar formula aracının mekanik aksamı gibi kompleks bir tasarım üzerinde anlatılabilir. Araçta dikdörtgen ve temiz iki dış yüzey referans alınır (vites kutusu çıkışı aks bağlantıları ya da motor vites kutusu bağlantısı). Buradan bir animasyon ile toleransları göstereceğimiz parça ayrılır ve AG ekranında ön plana alınır. Bu esnada AG ortamındaki parçanın üzerinde köşesinde tolerans sembolleri dursun ve yine referans yüzeyinde referans kutusu konumlandırılır. Burada önemli noktalardan biri doğru referans işareti konulmasıdır (yani neye göre dik ya da paralel olduğunu belirten işaret). İlgili parça üzerinde önce bir kenarın diğerine paralel olduğunu renklendirilmiş hayali düzlemler arasında sapsmasıyla gösterilir, ardından diklik ve açılılık sırasıyla anlatılır”.



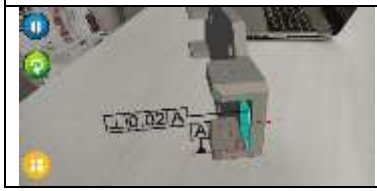
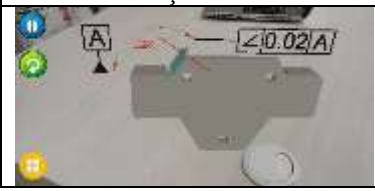
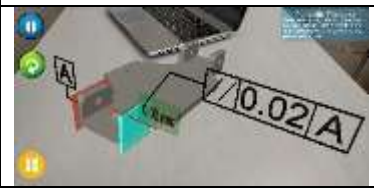
Şekil 3:
Geometrik Toleranslar mobil uygulamasının ana ekranı

Şekil 4'te ise tamamlanmış bir sahne ile Şekil 5'te Diklik, Açılılık ve Paralellik toleranslarının mobil uygulama ekran görüntüleri gösterilmektedir. Buna benzer olarak diğer sahnelerde de toleransı anlatmak için referans işareti (gerekliyse), tolerans kutusu, yardımcı düzlemler ve oklar kullanılmıştır. Gelişen teknoloji ile artık çoğu uygulama bazı işlevleri yerine getirmek veya kullanıcıyı belirli bir web sitesine yönlendirmek için QR kod okuma yeteneğine sahiptir. Geliştirme sürecinde AG uygulamasına da QR kod okuma kabiliyeti de eklenmiştir.



Şekil 4:

Tablo 2. Diklik, Açılılık ve Paralellik Toleranslar mobil uygulama ekran görüntüleri

Diklik	Açılılık	Paralellik
		

Uygulamada etkinliği arttırmak için animasyonlarda tolerans aralığı üç boyutlu oklar ve iki boyutlu düzlemlerle vurgulanmıştır. Çalışmanın kalıcı olabilmesi için tolerans işaretlerine dokunabilme kabiliyeti ve tıklatıldığında ilgili tolerans hakkında daha fazla bilgiye ulaşma seçeneği eklenmiştir. Öğrencilerin toleransların birbirine benzeyen yönlerini ayırt edebilmesi için toleransların birbirinden farklılıkları detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Şekil 5'te Android bir telefonda AG uygulaması kullanılarak paralellik toleransının açıklanması görülmektedir.



Şekil 5:
Toleransın mobil ekranda konumlandırılması

2.6. Test ve İyileştirme Çalışmaları

Uygulamanın geliştirme fazının akabinde test etme ve iyileştirme aşamalarına geçilmiştir. Bu aşamada uygulama konuyla ilgili farklı çalışma alanlarından taraflarca deneme ve tartışma imkânı verilmiştir. Gelen geri beslemeler ile ve yine proje ekibince gerçekleştirilen ortak test çalışmaları neticesinde uygulama üzerinde ciddi iyileştirmeler yapılmıştır. Bunlardan bazıları şöyledir:

- Normal çalışma şekline göre AG ortamındaki nesne kamera açısında sabit kalmakta ve kullanıcı nesnenin etrafında detayları görebilmekte idi. Bu durumun sınıf ortamında sıkıntı oluşturacağından uygulamaya nesneyi parmakla dokunarak yatay ve dikey eksenle hareket kabiliyeti kazandırılmıştır.
- Yine parçanın büyütme-küçültme detayları için mobil telefonu öne arkaya çekmek gerekmekteydi, bu sıkıntıyı gidermek adına uygulamaya parmak hareketleri (Şekil 6) ile büyütme-küçültme yapma kabiliyeti eklenmiştir.

- AG uygulaması üzerinden QR kodları okutarak uygulamaya alıştırma eklentisi yapılmıştır.
- Seslendirme ile senkronizasyon sorunları üzerinde çalışılarak üç ayrı dilde seslendirme fonksiyonu eklenmiştir.



şekil 6:
Parmakla hareket alışması

3. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada geliştirilen AG uygulaması ile makine imalat sektöründe sık kullanılan geometrik toleransların sektördeki kullanıcıların bilgi ihtiyacını temel düzeyde karşılması hedeflenmiştir. Uygulama ile geometrik toleranslar eğitimi esnasında gerek duyulan ancak her yerde bulunması zor ve maliyetli teknolojik ürünlerin sanal olarak incelenebilmesinin önünü açmıştır.

İleriki çalışmalarda öğrencilerin uygulama ile etkileşimlerini arttırmak amacıyla animasyonları oynatmak için sesli çağırma ve QR kod yerine tolerans sembolünün tanıtılması, anlatımda kullanılan seslerin yerel yapılması veya üç boyutlu parçalar üzerine tolerans işaretlerinin kullanıcı tarafından yerleştirilmesi gibi yetenekler eklenebilir. Yine eğitimci ile öğrenciler veya öğrencilerin birbiri ile eş zamanlı olarak aynı sanal nesnelere üzerinden konuyu takip etmesi için AG uygulaması kapsamlı bir bilgisayar vasıtasıyla tüm kullanıcılara her bir kullanıcının konum, jiroskop ve kamera görüş açısı bilgilerine göre mobil cihazların ekranlarına görüntü olarak aktarılabilir.

TEŐEKKÜR

Bu alışma, 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” (2019) isimli proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Akçayır, M., Akçayır, G., Pektaş, H. M., & Ocak, M. A. (2016) Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories, *Computers in Human Behavior*, 57, 334-342.
2. Ali, D. F., Omar, M., Mokhtar, M., Suhairom, N., Abdullah, A. H., & Halim, N. D. A. A (2017) Review on Augmented Reality Application in Engineering Drawing Classrooms, *Man in India*, 97(19), 195-204.

3. Arslan, R., & Uzaslan, N. T. (2017). Impact of competency-based and target-oriented training on employee performance: A case study, *Industry and Higher Education*, 31(5), 289-292.
4. 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.
5. Balak, M. V., & Murat, K. I. S. A. (2016). Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Teknik Resim Eğitimi Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 1(2), 17-26.
6. Baloch, S; Qadeer, S; Memon, K. (2018) Augmented Reality, a Tool to Enhance Conceptual Understanding for Engineering Students, *International Journal of Electrical Engineering & Emerging Technology*, Vol. 01, No. 01, DEC 2018, pp 41-48
7. Güngör., C. (2017), Artırılmış Gerçeklik Geliştirme Araçları ve Google ARCore, ISMSIT 2017, 1st Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar ve Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, November 2-4, Gaziosmanpaşa University, Tokat, Turkey
8. Hu, J., & Xiong, G. (2005). Concurrent design of a geometric parameter and tolerance for assembly and cost, *International journal of production research*, 43(2), 267-293.
9. Kaufmann, H., & Dünser, A. (2007). Summary of usability evaluations of an educational augmented reality application, *In International conference on virtual reality* (pp. 660-669), Springer, Berlin, Heidelberg.
10. Kofoglu, M., Dargut, C., Arslan, R., Kuş, A.(2018) 3D Modellerde Poligon Yapısının Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları Üzerindeki Etkileri, *9 th International Automotive Technologies Congress*, OTEKON2018, pp. 1844, Bursa
11. Kuş, A., Arslan, R., Unver, E., Huerta, O., Dimitrov, L., Tomov, P., Tekin, Y.(2018) An Evaluation of Technical Drawings Training Needs For Developing New Training Methods, *XXVII-th International Scientific and Technical Conference Automation of Discrete Production "ADP2018"*, Sozopol, Bulgaria.
12. Liarokapis, F., White, M., & Lister, P. (2004) Augmented reality interface toolkit. In *Proceedings, Eighth International Conference on Information Visualisation*, (pp. 761-767). IEEE.
13. Li, W., Nee, A., & Ong, S. (2017) A state-of-the-art review of augmented reality in engineering analysis and simulation, *Multimodal Technologies and Interaction*, 1(3), 17.
14. Martin-Gutiérrez, J., Saorín, J. L., Contero, M., Alcañiz, M., Pérez-López, D. C., & Ortega, M. (2010) Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students, *Computers & Graphics*, 34(1), 77-91.
15. Martin-Gutiérrez, J., Fabiani, P., Benesova, W., Meneses, M. D., & Mora, C. E. (2015). Augmented reality to promote collaborative and autonomous learning in higher education, *Computers in Human Behavior*, 51, 752-761.
16. 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.
17. Pejić, P., Rizov, T., Krsić, S., & Stajić, B. (2014). Augmented reality application in engineering. In *3rd international congress, SMAT* (pp. 39-44).
18. Seth, A., Vance, J. M., & Oliver, J. H. (2011). Virtual reality for assembly methods prototyping: a review, *Virtual reality*, 15(1), 5-20.
19. Somyürek, S. (2014). Öğretim sürecinde z kuşağının dikkatini çekme: artırılmış gerçeklik, *Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama*, 4(1), 63-80.
20. Unver, E. (2006). Strategies for the transition to CAD based 3D design education, *Computer-Aided Design and Applications*, 3(1-4), 323-330.