



Derleme Makalesi/Review Article

## Eğitimde ve Tıpta Sanal Gerçeklik Uygulamaları: Geçmişten Geleceğe Uzanan Bir İnceleme

### *Applications of Virtual Reality in Education and Medicine: A Review of the Past, Present, and Future Outlook*

Ufuk ÇELİKCAN

Hacettepe University, Department of Computer Engineering, ufuk.celikcan@gmail.com, Orcid No: 0000-0001-6421-185X

#### MAKALE BİLGİLERİ

*Makale Geçmişi:*

Geliş 16 Ocak 2022  
Revizyon 3 Nisan 2022  
Kabul 3 Nisan 2022  
Online 28 Haziran 2022

*Anahtar Kelimeler:*

*sanal gerçeklik, eğitim teknolojileri, tıp eğitimi, cerrahi simülasyonlar, uzaktan eğitim, teletıp*

#### ÖZ

Sanal gerçeklik, daha önce ayak basmadığımız yerleri sanal olarak ziyaret edip sanki oradaymış gibi tecrübe etmemize imkan verirken zaman ve mekan algılarını manipüle etme becerisi, sağladığı etkileşim seçenekleri, aynı anda birçok katılımcıyı barındırabilmesi ve katılımcılara deneyimin anlatı akışını yönlendirme olanağı vermesi gibi başlıca özellikleriyle öncüllerine kıyasla benzersiz özellikleri olan yeni bir medyadır. Sanal gerçekliğe ilginin yüksek olduğu ve artmaya devam edeceği açıktır. Teknolojinin yenilikçi kullanımları, günümüz popülasyonlarında, özellikle teknolojik gelişmeleri yakından takip eden ve bunları hızlı bir şekilde benimseyebilen Z kuşağı için önemli faydalar sağlayabilmektedir. Eğitim ve tıp, son yıllarda sanal gerçekliğin önemli dönüşümlere yol açtığı alanların başında gelmektedir. Sanal gerçekliğin bu alanlardaki uygulamaları giderek çeşitlenmekte, olgunlaşmakta ve bunlara dair araştırmalarda olumlu sonuçların alındığı görülmektedir. Bu çalışmada, sanal gerçekliğin eğitim ve tıp alanlarındaki uygulamaları, yapılan bilimsel araştırmalar çerçevesinde incelenmiştir. Bu incelemenin ışığında uygulamada edinilen tecrübeler, karşılaşılan zorluklar ve bu zorlukları aşmaya dair öneriler verilmiş ve sanal gerçekliğin gelecekteki yerine dair öngörüler COVID-19 pandemisi ile şekillenen yeni normalin etkileri ile birlikte ele alınmıştır.

#### ARTICLE INFO

*Article history:*

Received 16 January 2022  
Received in revised form 3 April 2022  
Accepted 3 April 2022  
Available online 28 June 2022

*Keywords:*

*virtual reality, education technologies, medical education, surgical simulators, distance education, telemedicine*

#### ABSTRACT

Allowing us to visit places we have never set foot before and to experience them as if we were there, virtual reality is a new medium with unique characteristics compared to its predecessors with its main features such as its ability to manipulate perceptions of time and space, the interaction options it provides, enabling to host many participants at the same time, and empowering the user to direct the narrative flow of the experience. It is clear that interest in virtual reality is high and will continue to increase. Innovative uses of technology can provide significant benefits in today's populations, especially for the Generation Z, who closely follow technological developments and can adopt them quickly. Education and medicine are among the major fields where virtual reality has led to significant transformations in recent years. In this review, the applications of virtual reality in the fields of education and medicine are examined within the scope of scientific research. In the light of this review, the experiences gained in practice, the challenges encountered, and recommendations to overcome these challenges were given and predictions regarding the future place of virtual reality were discussed together with the effects of the new normal that has been shaped with the COVID-19 pandemic.

Doi: 10.24012/dumf.1097748

## Sanal gerçekliğin temelleri

*Sanal gerçeklik*, Jerald tarafından [4], bilgisayar vb. aygıtlarla oluşturulan ve sanki gerçekmiş gibi deneyimlenip etkileşime girilebilen bir dijital ortam olarak tanımlanmaktadır. Bu tanıma uygun tecrübeleri sağlayabilen sanal gerçeklik teknolojilerinin temelleri 1960'lara kadar uzanmaktaysa da daha çok son yıllarda donanım teknolojilerinde kat edilen önemli gelişmelere paralel olarak tüketicilerin kolay erişimine ve kullanımına uygun sanal gerçeklik cihazlarının ortaya çıkışıyla birlikte sanal gerçeklik oldukça popüler ve yaygın hale gelmiştir. Bunun sonucunda, sanal gerçeklik günümüzde eğlenceden eğitime, sağlıktan savunmaya uzanan geniş bir yelpazede çok çeşitli uygulamalarla günlük kullanıma girmiştir.

Milgram ve Kishino'ya göre gerçek ortam ve sanal ortam arasında bir süreklilik vardır [129]. Bu sürekliliğin bir ucunda herhangi bir donanım kullanmadan çıplak gözle algılanabilen ve yalnızca gerçek varlıklardan oluşan tamamen gerçek bir ortam bulunurken, diğer ucu ise yalnızca sanal varlıklardan oluşan tamamen bilgisayar üretimi sentetik bir ortama varmaktadır. Bu aralıkta gerçek ve sanal nesnelere karışımından oluşan herhangi bir ortam *karma gerçeklik* olarak tanımlanır. Gerçek dünyanın sanal içerikle zenginleştirildiği karma gerçeklik ortamlarına *artırılmış gerçeklik*, içeriğin çoğunun sanal olduğu ancak gerçek dünya nesnelere bir miktar farkındalığının veya dahililiyetinin bulunduğu ortamlara ise *artırılmış sanallık* adı verilir.

Sanal gerçeklik, hiç gitmediğimiz yerleri sanal olarak ziyaret edip sanki oradaymış gibi tecrübe etme imkanı vererek ve benliğimizin kapılarını sanal dünyalara açabilme yetisi sunarak köklü değişiklikleri hayatımıza getirebilme vaadi olan oldukça güçlü bir teknolojidir. Bu sanal dünyalar, üzerinde yaşadığımız dünyanın veya evrenin bambaşka köşelerinin sanal iz düşümleri olabileceği gibi tamamen hayal mahsulü evrenlerin parçaları da olabilirler. Sanal gerçeklikte duyularımızı yapay olarak inandırıcı biçimde uyarılması sayesinde kendimizi bu dünyalarda var hissedebiliriz. Geliştirilen güncel teknolojilerden ve yöntemlerden yararlanılarak, sanal gerçeklikte bir veya daha fazla duyumuz, kısmen de olsa, alıkoşulur ve sıradan uyarılar yapay uyarılar ile değiştirilir ya da güçlendirilir. Böylelikle, bilgisayar üretimi olan dijital dünyaları tecrübe edebilir ve onlarla etkileşime geçebiliriz. Dahası, bu dünyalarda başkalarıyla sosyalleşebiliriz ve etkileşime girdiğimiz bu başkaları gerçek kişilerin sanal yansımaları olabileceği gibi tamamen dijital varlıklar da olabilirler.

İnsanlık tarihinin geçtiği safhalar, fikirleri iletmek ve deneyimlemek için kullanılan medyanın gelişimiyle işaretlene gelmiştir. Sanal gerçeklik aslında mağara resimlerinden fotoğraflara, filmlerden televizyona, dijital oyunlardan internet sitelerine uzanan bu yoldaki yeni durağımızdır ve hala gelişimine devam etmektedir. Bu bakımdan, sanal gerçekliği bir teknoloji olarak tanımlarken aynı zamanda devrim içinde yeni bir medya olarak da ele alabiliyoruz. Bir yeni medya olarak sanal gerçeklik, içerdiği sanal objeler ve etkileşimler ile bir varlık algısı oluşturarak bireyin bilincini etkileyebilmektedir. Bu oluşturulan varlık algısının etkinliği, monitörler, özel gözlükler, kasklar, eldivenler, tulumlar gibi çok çeşitli teknolojilerden ve

bileşenlerden faydalanılarak görsel, işitsel, dokunsal vb. geri bildirimler yoluyla güçlendirilebilir.

Sanal gerçeklik, onu öncüllerine kıyasla benzersiz bir ortam (medya) haline getiren özelliklere sahiptir. Bu özelliklerin başlıcaları, zaman ve mekan algılarını manipüle etme becerisi, sunduğu etkileşim seçenekleri, aynı anda aynı ortamda birden fazla katılımcıyı barındırabilmesi ve bu katılımcılara deneyimin anlatı akışını yönlendirme imkanı verebilmesidir. Sanal gerçeklik, tüm bu bileşenleri tek bir ortamda bir araya getirerek katılımcı ve ortam arasında dinamik bir ilişki için fırsat yaratır [1].

Sanal gerçekliği bütünüyle tanımlayabilmek için iki ana kavramdan bahsetmemiz gerekir. Bunlardan ilki tecrübe edilen ortamın *çevreleme* (ing. immersion) düzeyidir. Dilimize daldırma, sürükleyicilik, sarmalama ve içine alma gibi alternatif isimlendirmelerle de geçmiş olan çevreleme, kullanıcının (tecrübe edenin) duyularının söz konusu ortam tarafından ne derece kuşatılabildiğini ifade eder. İkinci ana kavram olan *bulunuşluk* (ing. presence) ise sanal gerçeklik tecrübesi tarafından sağlanan çevrelemenin katılımcı tarafından öznel olarak nasıl tecrübe edildiğinin en başat göstergesi olarak katılımcının kendini o sanal ortamda ne denli “var” hissettiğinin ölçütüdür.

### Çevreleme

Çevreleme, zihinsel ve fiziksel olarak iki farklı düzeyde gerçekleşebilir. *Zihinsel çevreleme*, ortamı tecrübe edenin o ortam ile derinden angaje olması, tecrübe edilen anlatıya inanmazlığını askıya alması (ing. suspension of disbelief) ve böylece ortamdaki anlatıya zihinsel olarak katılım sağlamasına yola açar. *Fiziksel çevreleme* ise tecrübe edenin yapay olarak uyarılması suretiyle ne kadar fazla duyusunun ne denli çevrelendiğine bağlı biçimde kısmi veya bütün olarak tecrübe edilen ortama bedensel olarak katılım sağlamasına yol açar.

Zihinsel çevreleme, sanal gerçekliğe özgü değildir. Bir film, bir kitap, hatta bir resim bile tecrübe edende zihinsel çevreleme sağlayabilir. Fakat fiziksel çevreleme sanal gerçekliğe has bir yetenektir ve bu bakımdan sanal gerçekliği öncülü olan diğer tüm ortamlardan oldukça farklı kılar. Öte yandan, sanal gerçeklikte çevreleme genel itibarıyla ilk önce fiziksel olarak başlar. Fiziksel çevrelemenin düzeyi, diğer yardımcı unsurlar ile birlikte tecrübe edenin nazarında oluşan zihinsel çevrelemenin düzeyinde belirleyici olur. Sanal ortamı deneyimleyen kişiyi sanal ortam dışındaki tüm etmenlerden uzaklaştırmak suretiyle fiziksel ve zihinsel çevrelemenin bütüncül olarak gerçekleştirildiği durumda sanal gerçeklikte *tam çevreleme* sağlanmış olur. Sanal gerçekliğin doruğu olarak niteleyebileceğimiz ideal bir simülasyonda tam çevreleme gerçekleşir ve simülasyon katılımcısı sanal ortamı gerçeğinden ayırt edemez hale gelir [3].

Çevreleme düzeyi, sanal gerçeklik niteliği açısından oldukça belirleyici olmakla birlikte her sanal gerçeklik tecrübesi çevreleyici değildir. Başka bir deyişle, sanal gerçekliğin çevreleyici olma şartı yoktur. Hatta bazı sanal gerçeklik uygulamaları çevreleyici olmamaları hedeflenerek üretilirler. Bu bakımdan sanal gerçeklik tecrübeleri ne denli çevreleyici olduklarına göre sınıflandırılabilirler. Bu ayrımı belirleyen temel unsur fiziksel çevrelemenin düzeyidir. Fiziksel

çevreleme düzeyi, sanal gerçeklik tecrübesinin meydana getirilmesinde kullanılan yazılım ve daha çok da donanım unsurlarına bağlıdır. Sanal gerçeklik tecrübesinde yer alan donanım unsurları fiziksel çevrelemeyi artırır ve beraberinde yüksek sadakatte hazırlanmış üç boyutlu (3B) sanal objeler, ortamlar ve etkileşimler gibi yazılım unsurlarının da yardımıyla çevrelemeyi pekiştirirler (Şekil 1).



Şekil 1. Sanal gerçeklik (SG) sunan yaygın sistemlerin sağa doğru artan çevreleme düzeyine göre sıralaması [2].

HMD (ks. head mounted display) adı verilen ve kullanıcının görüş alanını tamamen kuşatan 3B sanal gerçeklik kaskları, görüntülerin duvarlara projeksiyonla yansıtılmasına dayanan CAVE (ks. cave automatic virtual environment) adı verilen 3B sanal gerçeklik odaları ve yine projeksiyon ile görüntülerin kubbeye yansıtıldığı 3B sanal gerçeklik kubbeleri, görsel olarak fiziksel çevreleme sunan sistemlerdir. Tam tersine, kullanıcının tüm görsel alanını kuşatmayan iki boyutlu (2B) veya 3B monitörlü masaüstü sanal gerçeklik düzenekleri ve araç bazlı sanal gerçeklik simülatörleri ise görsel açıdan fiziksel çevreleyiciliği olmayan sanal gerçeklik uygulamalarıdır. Bununla birlikte, Second Life, IMVU ve Smeet gibi sanal dünya uygulamaları genelde fiziksel çevreleyiciliği olmayan 2B monitörler (örn, bilgisayarlar, akıllı telefon ve tabletler) ile tecrübe edilmelerine rağmen katılımcıyı yarattıkları sanal dünyalardaki alternatif gerçekliklerde pek çok sayıdaki diğer katılımcılar ile bir araya getirerek değişen düzeylerde zihinsel çevreleme sağlayabilmektedirler. Çevreleme düzeyine etki eden modern sanal gerçeklik görüntüleme sistemleri ve etkileşim yöntemlerinin kapsamlı bir incelemesi Greengard tarafından yapılmıştır [108].

### Bulunışluk

Çevreleyici sanal gerçeklik sistemlerinin temel amacı, sanal ortam vasıtasıyla kullanıcıyı psikolojik olarak angaje ederek kullanıcının algısında dış ortamı sanal ortamla değiştirmek, daha doğrusu ikame etmektir. Böylelikle, kullanıcıda belli düzeyde bir çevrelenmenin gerçekleşmesi ve sonuçta kullanıcının kendisini sanal ortamın içinde “var” hissetmesi ile bulunuşluk ortaya çıkar. Bulunuşluk, tanım itibarıyla, bedenin içsel iletişimiyle gerçekleşen psikolojik ve fizyolojik bir durumdur. Bu son derece öznel yapısı itibarıyla, bulunuşluğun tartışmaya yer bırakmayacak biçimde evrensel olarak niceliklendirilebilmesi epey güçtür.

Çevreleme, kullanılan sanal gerçeklik teknolojisinin karakteristik özellikleri ile ilgiliyken; bulunuşluk ise gerçek dünyaya ve deneyimin teknik ortamına ilişkin geçici bir amnezi veya agnozi yaşayıp, aynı zamanda sanal bir dünyayla çevrelenmeye dair duyulan farkındalıktır. Bulunuşluk hissederken, katılımcı teknolojiye ilgi göstermez ve teknolojiyi algılamaz; bunun yerine teknolojinin temsil ettiği nesnelere, olaylara ve karakterlere dikkat eder ve onları

algılar. Kendini fazlasıyla mevcut hisseden kullanıcılar, sanal gerçeklik teknolojisi tarafından sunulan deneyimi, yalnızca algılanan bir şey değil, ziyaret edilen bir yer olarak görürler [4].

Bulunışluk, kullanıcı ile çevrelemenin bileşkesinde ortaya çıkar. Çevreleme, bulunuşluk hissini üretme yeteneğine sahiptir; ancak çevreleme her zaman bulunuşluğu teşvik etmez. Diğer bir yandan, bulunuşluk, çevrelemenin düzeyi ile sınırlıdır. Bir sistem/uygulama ne denli fazla çevreleme sağlayabilirse, kullanıcının deneyimlediği sanal dünyada kendini var hissedebilmesi için o denli büyük potansiyel sunar. Buna paralel olarak, Slater [5], bulunuşluğun sanal gerçeklik teknolojileri tarafından iki farklı yanılsama ile işlendiğini ortaya koyar:

1. *yer yanılsaması*: böylece kullanıcılar sanal ortamda, çevrelemenin gerçekleştirildiği fiziksel alandan farklı bir yerde olduklarını hissederler.
2. *akla yakınlık yanılsaması*: böylece sanal uyarılar gerçekmiş gibi hissedilir.

Yer yanılsaması, genellikle baş veya göz takip sistemleri ile sağlanır ve bunlar vasıtasıyla etrafa bakma, eğilme gibi fiziksel vücut hareketleri sanal ortama aktararak kullanıcıların yer algıları manipüle edilir. Akla yakınlık yanılsaması ise, sanal gerçeklik deneyimi sırasında etkileşimi ve kullanıcıların eylemleri için oluşturulan anlık yanıtları gerektirir. Bu yolla, kullanıcıların yaptıkları veya deneyimledikleri şeyin gerçekleştiğine dair algılarını pekiştirir. Bu iki yanılsama, birbirine bağlı ve tutarlı çalışan çoklu sensorimotor kanalların entegrasyonuna dayanır. Slater tarafından getirilen bu yaklaşım, bulunuşluk hissini algısal bir yanılsama olarak ele almaya imkan kılar [6].

Araştırmalar, sanal gerçeklik tecrübesinin ortaya çıkardığı bulunuşluk düzeyinin incelenmesinin önemli olduğunu göstermiştir. Örneğin, bulunuşluğun öznel deneyiminin sanal gerçeklik bazlı tedavilerin etkinliğine tesir ettiği [7] ve sanal uyarıların gerçek dünya davranışına dönüşme derecesini etkileyebileceği [8]–[10] ortaya konulmuştur.

Sanal gerçeklikte bulunuşluk farklı biçimlerde ortaya çıkabilir. Alanyazında, bunların üç ana kategoride incelenebileceği görülmektedir [11].

- *İlki kişisel bulunuşluktur*. Bu, katılımcının sanal ortamın bir parçası olduğunu ne düzeyde hissettiğinin bir ölçüsüdür.
- Bir diğeri, katılımcı varlığının deneyimlenen ortam tarafından onanıp tepki verilme düzeyinin yarattığı hisse karşılık gelen *çevresel bulunuşluktur*.
- Üçüncüsü ise, deneyimlenen ortamın başkalarıyla paylaşıldığının hissi olan *sosyal bulunuşluktur*.

Sosyal bulunuşluk, katılımcılar arasında çoklu işbirliğini odağına alanlar başta olmak üzere, pek çok sanal gerçeklik uygulaması için en öne çıkan özelliklerden biridir. Takım çalışmasını ve rakip katılımcılarla etkileşimi içeren savaş simülasyonlarında ve sanal gerçeklik oyunlarında, başka katılımcıların varlığı öngörülemezliği artırarak ortamı daha zorlayıcı hale getiren bir unsur teşkil eder. Sanal prototiplemeye yönelik uygulamalarda, farklı fiziksel mekanlarda bulunan tasarımcılar aynı sanal ortamda buluşup

birbirleriyle etkileşime girerek ortaklaşa çalışabilirler. Uzaktan katılımlı cerrahide, farklı yerlerdeki birden fazla cerrah bir operasyonu birlikte izleyebilir, müdahale edebilir ve gerektiği noktalarda operasyonun kontrolünü birbirlerine devredebilirler.

Bir sanal dünyayı başka katılımcılarla deneyimlerken, onların da o dünyada var olduklarını hissedebilmek, yani nerede bulduklarını, hangi yöne baktıklarını/işaret ettiklerini ve ne söylediklerini bilmek önemlidir. Bu tür çoklu katılıma izin veren sanal ortamlarda, katılımcılar birbirlerinin avaturları vasıtasıyla etkileşirler. Hintçe kökeninde, doğaüstü olduğuna inanılan bir varlığın dünyevi enkarnasyonu anlamına gelen avatar kelimesi sanal gerçeklik jargonunda bir katılımcıyı sanal dünyada temsil eden iki veya üç boyutlu grafiksel formu ifade eder.

Bulunmuşluğa etki eden faktörlerin değerlendirilmesi ve bulunmuşluğun subjektif veya objektif olarak geçerliliğinin niceliklendirilebilmesi amacıyla geliştirilen çeşitli testlerin kapsamlı bir incelemesi Schuemie vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada sunulmuştur [130].

### Eğitimde sanal gerçeklik uygulamaları

Pek çok öğrenci, sadece geleneksel öğretim yöntemlerine yer verilen klasik eğitim sonucunda maruz kaldıkları teknik karmaşıklıklar, öğrendikleri kavramların tamamen somut olmaması ve soyut düşünmede karşılaştıkları zorluklar sebebiyle, özellikle STEM (fen, teknoloji, mühendislik ve matematik) derslerinde işlenenler başta olmak üzere, öğretilen konuları anlamada sorunlar yaşayabilmektedir [12][13]. Temel bilgilerdeki eksiklikleri, daha karmaşık sorunların üzerine gidebilmelerini de engeller. Öte yandan, laboratuvarlarda özel araştırma ekipmanlarına dayalı pratik alıştırmalarda, ekipman hasarına yol açabileceği endişesiyle öğrenciler laboratuvar ekipmanını kendi kendilerine değil öğretmen gözetiminde kurarlar. Böylelikle, öğrenciler yanlış yapılandırma etkileriyle karşılaşamazlar ve acil durum senaryolarını deneyimleyemezler. Dahası, çoğu zaman öğrenciler laboratuvar programı dışında pratik yapma ve yetiştirme imkanı da bulamazlar. Bu sorunları adreslemek üzere, çevrimiçi kurslar, harmanlanmış öğrenme yaklaşımları ve bilgisayar tabanlı platformlar vb. modern teknolojileri içeren çözümler geliştirilmiştir. Öğrenciler, bunlar vasıtasıyla aynı konuyu istedikleri aralıkla birden fazla kez tekrar edebilme, endişeye yer olmaksızın hatalar yapma ve hatalarından ders çıkarma imkanlarına kavuşurlar. Eğitim süreçlerinde başarılı olduğu gözlemlenmiş olan çok sayıda donanım ve yazılım örneği, modern eğitim teknolojilerinin öğrencilerin çoğunda öğrenme çıktılarını iyileştirebildiğini göstermektedir [14]. Eğitimde bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımının öğrenmeye yönelik tutumları iyileştirebildiği pek çok araştırmayla ortaya konulmuştur [15]–[18].

Günümüzde, geleneksel kitapların yerini dijital öğretim içerikleri almakta; klasik defterler yerini el yazısını tanıyabilen özel uygulamaları içeren dokunmatik ekranlı dizüstü bilgisayarlara ve tabletlere bırakılmaktadır. 2019 koronavirüs hastalığı (COVID-19) salgınının zorunlu kıldığı koşulların da etkisiyle, eğitimde güçlü yeni teknoloji araçlarına yönelik giderek hız kazanmaktadır. Uzaktan eğitim ve kişiselleştirilmiş öğrenme bazlı yaklaşımlar, verilen

eğitimi her bir öğrencinin akademik açıdan güçlü ve zayıf yönlerine, tercihlerine ve hedeflerine göre kişisel bazda uyarlamak için giderek daha verimli kullanılabilir hale gelmektedir [19]. Bu gelişmelerle birlikte, son yıllarda sanal gerçekliğin eğitim akışları içinde kullanımı da giderek daha fazla yaygınlaşmaktadır. Sanal gerçeklik, salt eğlence odaklı uygulamalarla ilgili olmaktan çıkıp günümüzde askeriye, psikoloji, tıp gibi alanlarda mesleki eğitimin bir parçası haline gelmiş; bu süreçte, sanal gerçekliğin öğrenme ve öğretme akışlarını desteklemeye ve kolaylaştırmaya yönelik güçlü bir araç olduğu görülmüştür.

Fiziksel laboratuvar temelli öğrenme, daha önce bahsedilen problemlerden ötürü, mezunların temel bilgi ve uygulamalarında eksikliklere neden olabilir ve bu da meslek hayatları boyunca işlerinde karşılaşılabilecekleri zorluklara yerinde ve yeterli tepkiler verememelerine yol açabilir. Kaliteli öğrenme deneyimi sağlamanın ana zorluklarından biri kaynaklara erişimdir. Öğretmenler, pahalı aygıtlar, elektronik bileşenler, kimyasal maddeler, tıbbi malzemeler vb. gibi deneylerde kullanılan pek çok araç gerecin kolaylıkla ve yeterli sayıda bulunamamasıyla sık sık karşılaşmaktadır. Bu araç gereçlerin sanal gerçekliğe aktarılan özdeş fiziksel özelliklere sahip 3B modeller halinde kopyaları (*dijital ikizleri*), öğretmenlerin normal laboratuvar dersleri sırasında uygulanması zor olan etkinlikleri sanal ortamda yürütmelerine olanak tanır. Böylelikle, sanal gerçeklik düşük maliyetli ve kullanıcı dostu bir deney ortamı sağlayarak bilhassa gelişmekte olan ülkelerde bahsedilen zorlukları aşmada çok faydalı olabilir [19][20].

Öğretmenlerin sınıfta kullanabilecekleri çok sayıda ilgi çekici sanal gerçeklik projesi, düşük maliyetli veya ücretsiz olarak erişilebilir halde mevcuttur [22]. Bunlara hayli iyi bir örnek, öğretmenin tüm sınıfını sanal geziye çıkarmasına olanak tanıyan Google Expeditions uygulamasıdır (Şekil 2). Bu uygulama, Kuzey Kutbu'ndaki buzullar veya İstanbul'daki Pera Müzesi gibi farklı farklı yerlerde özel kameralar vasıtasıyla kaydedilmiş 360 derecelik videolar ile öğrencilere bu yerlerin çevreyici bir sanal deneyimini verebilmektedir. Öğrenciler, Google Expeditions uygulamasını ücretsiz olarak indirip yükledikleri cep telefonlarını Google Cardboard isimli oldukça düşük maliyetli olan giriş seviyesi sanal gerçeklik kasklarının içine yerleştirerek bu deneyimden faydalanabilmektedir [23].



Şekil 2. İlkokul öğrencileri, sınıf öğretmenlerinin gözetiminde, mobil cihaz destekli çalışan ve oldukça düşük maliyetli olan Google Cardboard'ları kullanarak Google Expeditions uygulamasında sanal gerçeklik turlarını deneyimliyorlar [21].

Sanal gerçekliğin eğitim akışlarına birçok avantaj sağlayabileceğini, öğrenme ve öğretme deneyimlerini zenginleştirmeye yardımcı olabileceğini gösteren çalışmalar eğitimde sanal gerçeklikten faydalanma eğilimine destek olmaktadır [24]. Zira, araştırmalar göstermektedir ki sanal ortamlar, öğrencilerin geleneksel eğitim yöntemleri ile kazanmakta zorlandıkları becerileri geliştirmelerine izin verebilmektedir. Sanal gerçeklik deneylerinin fiziksel laboratuvarlarda yapılan deneylerden daha akılda kalıcı olabildiği saptanmıştır [25]–[27]. Ayrıca, kavramları sanal gerçeklik ortamında öğrenen öğrencilerin, geleneksel öğretim yöntemleriyle öğrenen öğrencilerden daha iyi performans gösterdiği keşfedilmiştir [28]. Öğrencilerin kavramları anlamalarında ve memnuniyetlerinde artış ve beraberinde eğitimler tarafından rapor edilen hatalarda ve tamamlama sürelerinde azalma görülmüştür. Çalışmanın sonuçları, sanal gerçeklikte öğrenme sayesinde öğrenciler için gelişmiş kavramların daha sindirilebilir hale geldiğine ve öğrencilerin gerçek dünyadaki mesleki zorluklara daha iyi hazırlanabildiklerine işaret etmektedir.

İlk, orta ve yüksek öğretimden 68 çalışmayı inceleyen bir derlemede edinilen bulgular, eğitimde sanal ortamları kullanmanın öğretme ve öğrenmeyi desteklediğini ortaya koymuştur [29]. Sanal ortamların pedagojik kullanımının, öğrenme performansını artırmak suretiyle öğrenim çıktılarına iyileştirebileceği belirtilmiştir. Ayrıca, artırılmış keyif ve iyileştirilmiş katılım seviyeleri gibi pedagojik katkılar da bildirilmiştir. Benzer bulgular, 21 çalışmayı inceleyen başka bir derleme tarafından da ortaya koyulmuştur [30]. Derlemede, sanal gerçekliğin bilişsel becerilere (hatırlama ve anlama), psikomotor becerilere (görsel veya gözlemsel) ve duyuşsal becerilere (duygusal kontrol) yönelik faydaları belirlenmiştir. Bununla birlikte, çevreyici deneyimin verilen öğrenme görevinden uzaklaştırıcı nitelikte olması durumunda sanal ortam kullanımının pedagojik açıdan bir katma değer yaratmayabileceği ifade edilmiştir.

Eğitimde yapılandırmacı yaklaşım, bilginin analizinin, sentezinin ve değerlendirmesinin kapsamlı bir öğrenme sağlamak üzere etkinleştirilmesini amaçlar [31][32]. Yapılandırmacı eğitim, öğrenme ortamına katılmayı ve bu ortamın deneyimlenmesini gerektirir. Bu doğrultuda keşfetmeyi teşvik eden aktif öğrenme ortamları oluşturmak için çeşitli öğrenme senaryoları, görevler, görseller ve işbirliği unsurlarından faydalanılır. Sanal gerçeklik sistemleri, aktif katılım ile birlikte çoklu algılar sağlar ve böylece yapılandırmacı eğitim paradigması için oldukça uygun öğrenme ortamları yaratmayı mümkün kılar [33].

Çevreyici sanal gerçeklik ile sunulan öğrenme ortamları, gerçek ortamların 3B fotorealistik temsiliyle birlikte kullanıcı hareketlerinin eş zamanlı olarak kaydı, doğal navigasyon ve iletişim, dolaysız kontrol ve kişiselleştirilmiş tekrarlı öğrenme imkanlarını sunar [34][35]. Çevreleme sayesinde, çoklu bakış açıları ve konumlu öğrenme sağlanması öğrenmeyi geliştirici potansiyel ortaya koyar [36]. Aktif katılım sunan fotorealistik bir sanal ortam, çevrelenmeyi artırır ve ortamın sağladığı çoklu uyaranlar algılarını geliştirir. Bu sayılan güçlü yönleriyle, yüksek nitelikte tasarlanan sanal gerçeklik uygulamaları bireylerin farklı bilişsel stillerdeki öğrenme mekanizmalarını destekleyebilmektedir. Bireyler, bu ortamlarda öğrenme senaryosundaki nesnelere doğrudan

ve anlık olarak kontrol edebilirler; sanal dünyadaki durumları deneyimleyebilir, gözlemleyebilir, keşfedebilir ve sentezleyebilirler; böylelikle bilgi aktarımı ve kazanımı süreçleri kolaylaştıkça üst-bilişsel süreçleri harekete geçirebilirler.

Sanal ortamlar, öğrencilerin motivasyonunu yükseltmekle birlikte öğrenme ve işleme becerilerini geliştirme, anlama ve hayal gücünü artırıp öğrenme sürecini kolaylaştırma potansiyeline sahiptirler [37]–[39]. Bireysel, deneyimsel ve keşif yüklü öğrenme ortamları sağlayarak bu potansiyeli gerçekleştirebilirler. Bu nitelikleri değerlendirmek üzere geliştirilen beyin-bilgisayar etkileşimli bir oyun sistemi, hem 2B hem de 3B sanal gerçeklik ortamlarında doğal kullanıcı deneyimleri ile test edilmiştir [40]. Sonuçlar, öğrenme mekanizmasının önemli bileşenleri olan işlerlik, çevreleme, konsantrasyon kolaylığı ve haz üzerinde 3B ortamın daha üstün etkileri olduğunu göstermiştir. İnsan beyni bilgi aktarmak için dopamin kullanır ve motivasyon faktörleri dopamin seviyelerini artırır. Deneyimlenen sanal ortamın canlı ve dinamik yapıda olması motivasyon sağlamak için başlangıçta yeterli olabilse de uzun süreli kullanımda dopamin mekanizmasının öğrenmeyi kolaylaştırmadaki devamlılığını sağlamak için motivasyonu artırıcı ilave tasarım bileşenlerine ihtiyaç ortaya çıkmaktadır [33].

Sanal gerçeklik tabanlı eğitim uygulamaları, öğrenme çıktılarına ve hedeflerine göre çevreleme seviyeleri ve bununla doğrudan bağlantılı olan donanım gereksinimleri bazında sınıflandırılabilirler [19]:

1. İlk tür sanal gerçeklik platformu, hatırlama ve anlama sağlamayı amaçlar. Bu platformlar, temel olarak belirli bir alandaki bilgi durumunu sunmak için kullanılır ve öğrencilerin teorik bilgi edinmelerini destekler. Bu nedenle, genellikle temel sanal gerçeklik düzeneği olarak tanımlanabilecek biçimde HMD veya benzeri gözlüklerle görsel olarak tecrübe edilip el kontrolörleri gibi temel bileşenlerle etkileşime geçilebilen standart çevreyicilikte düzeneklerin kullanımı yeterlidir.
2. İkinci tür sanal gerçeklik platformu, önceden edinilmiş bilgileri tipik bir durumda kullanılarak pratik beceriler edindirmeye yöneliktir. Bu tür senaryolar genellikle teorik bilginin sunumuyla başlar. Ardından bu ilk kısım, öğrenci tarafından pratik bir görev çerçevesinde uygulanır. Böyle bir platform, önceki türe nazaran daha derin bir çevreleme hissi ve kontrol gerektirir. Bundan ötürü kullanıcı hareketlerini yakalayan sensörler, sensörlü eldivenler veya sensörlü özel giysilere ihtiyaç duyulur.
3. Üçüncü türdeki sanal gerçeklik platformu, edinilen bilgilerin zor durumlarla ve problemlerle karşılaşıldığında nasıl kullanılacağını pratik yaptırarak öğretmeyi hedefler. Bu tür senaryolarda, teorik bilgi edinildikten sonra öğrencilerden zorlu görevlerle başa çıkmaları beklenir. Bu görevler, belli bir probleme çözüm formüle etme, yeni olguları analiz etme ve sentezleme, bir eylem planı oluşturma ve durumu belirli kriterlere göre değerlendirme gibi bileşenleri içerebilir. Bu tür senaryolar, çoğunlukla tıp ve mühendislik eğitiminde kullanılır ve özelleştirilmiş dokusal

(haptik) çözümlerle desteklenen daha gelişmiş ve yüksek hassasiyetli donanım sistemleri gerektirirler.

HMD ile tecrübe edilen sanal gerçekliğin, sağladığı daha yüksek çevrelemeden ötürü, diğer yaygın sanal gerçeklik sistemlerine kıyasla daha olumlu sonuçlara yol açabildiği gösterilmiştir [42]. Sanal ortamla daha yoğun biçimde çevrelenen bir kullanıcının, ortamdaki etkileşimlere daha hızlı tepki verdiği belirtilmektedir [43]. Bununla birlikte, HMD sanal gerçeklik cihazlarının kullanımı sonucu *siber hastalık* (ing. cybersickness) adı verilen hareket tutması, mide bulantısı, oryantasyon bozukluğu, solgunluk, terleme, göz yorgunluğu, baş dönmesi ve baş ağrıları gibi bir dizi olumsuzluklar görülebilmektedir [44]. Bu tür sorunlar, sanal gerçekliğin eğitimde beceri temelli öğrenme sonuçlarını iyileştirmek üzere yaygın bir araç olarak kullanımının önünde engel teşkil etmektedir. Bu nedenle, sayılan bu sorunların ortaya çıkışını önlemeye veya şiddetini azaltmaya yönelik etkin çözümlerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır [24].

Sanal gerçeklik, öğrencilerin kendi başlarına otonom biçimde çalışmaları için kullanılabilir gibi öğretim sürecine aktif olarak katılabilecek bir öğretmen eşliğinde de kullanılabilir. Örneğin, bir öğretmen veya rehber tarafından yürütülen ders esnasında sanal gerçeklik, dersi daha ilginç hale getiren bir araç olarak hizmet edebilir. Parkinson vd. [45] yaptıkları çalışmada coğrafya derslerinde sanal gerçeklik desteğinin potansiyel rolünü Google Expeditions kullanarak incelemiştir. Ders gözlemlerinin analizine göre, öğrencilerin normal derslere kıyasla daha fazla merak duydukları ve soru ürettikleri ortaya çıkmıştır. Ek olarak, öğrenciler tarafından sorulan soruların sanal gerçeklikle desteklenmeyen geleneksel yöntemdekilere kıyasla daha karmaşık olduğu ve analitik, etki yüklü veya değerlendirmeye teşvik edici gibi niteliklere sahip oldukları görülmüştür. Öte yandan, öğretim sürecini otomatikleştirmek üzere sanal bir öğretmen de kullanılabilir. Örneğin, Saadatzi vd. [46], otizimli öğrencilere okuma becerilerini kazandırmayı amaçlayan akıllı bir öğretim sistemi sunmuştur. Sistemde sanal bir sınıf, sanal bir öğretmen ve akran rolünde insansı bir robottan oluşturulmuş bir sanal ortam kullanılmıştır.

Eğitim amaçlı sanal platformlarda genellikle bir sınıf veya laboratuvar ortamı simüle edilir. Ayrıca, gerçek hayatta gerçekleştirilmesi çok zor veya tehlikeli olabilecek senaryoları test etmek için güvenli bir ortam sağlamak üzere ilgili senaryoların simüle edileceği başkaca ortamlar da geliştirilmektedir [41]. Okuldaki ders müfredatını desteklemek üzere, öğretimin gerçekliğini yansıtmak için çok kullanıcı sınıf uygulamaları oluşturmak cazip görünmektedir. Burada öğrenciler, birbirleriyle etkileşime girebilecekleri aynı sanal ortamda toplanmaktadır. Bu tür sanal sınıf ortamlarının, geleneksel sınıf ortamlarına kıyasla öğrencilerde bilginin kalıcılığını artırmada ve öğrencilere eğlenceli bir öğrenme deneyimi sağlamada etkili olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak, katılan üniversite öğrencilerinin belirli mühendislik kavramlarını doğrudan görselleştirebildikleri ve daha iyi anlayabildikleri bildirilmiştir [47][48]. Melatti vd. [49], katılan öğrencilerin aynı sanal sınıf ortamını kullanarak birlikte tecrübe edebileceği interaktif derslerin öğretmenler tarafından kolayca hazırlanıp sunulabilmesi için bir sanal platform yazılım kiti geliştirmiştir. Oluşturulan derslerde, öğrenciler,

arkalarında bir sunum ekranı bulunacak şekilde sanal sınıfın ortasına yerleştirilir. Bu uygulamanın en önemli avantajlarından biri, zamanla geliştirilecek yeni sanal araçların ve içeriklerin ilgili yazılım kitine devamlı olarak eklenebilmesidir. Böylece kullanan tüm öğretmenlerin, istedikleri zaman bu kite ulaşabilmeleri ve yeni dersler oluşturmak için gereken araçları ve içerikleri çekebilmeleri sağlanmıştır. Sanal sınıf ortamlarının, geleneksel uygulamalı öğrenmeye ilişkin maliyet ve risklerde genel olarak düşüş sağladığı gösterilmişse de nihai amaçlarının geleneksel sınıf ortamlarının yerini tamamen almak olmaması gerektiği de belirtilmiştir [50][51].

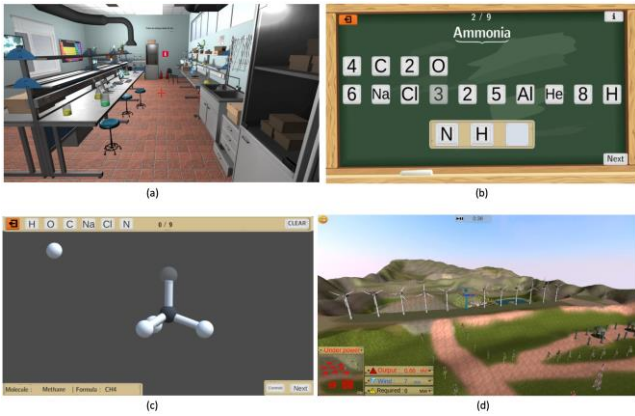
### İlköğretimde sanal gerçeklik kullanımı

İlköğretim öğrencileri için çevreyici sanal ortamların kullanımına ilişkin çalışmaların sistematik bir analizi, incelenen örneklerin bilgi ve beceri geliştirme açısından hem tipik hem de özel eğitim ihtiyaçlarını desteklediğini göstermiştir. Çevreyici sanal ortamların ilköğretimdeki faydalarının özellikle beceri temelli eğitimde belirgin olduğu saptanmıştır [52].

İlköğretim süreci, çocukların karakteristik özelliklerinin ve düşünme tarzlarının şekillenmesinde oldukça önemlidir. Günümüzde, STEM eğitimi, çoğu ülkede erken eğitim stratejilerinin birincil itici gücü durumundadır. Sanal gerçeklik uygulamalarını deneyimlemek, öğrencilerin bilgisayar bilimlerine olan ilgilerini arttırmakta ve STEM paradigmasını desteklemektedir [53]. İlköğretim okulları için STEM eğitimini desteklemek üzere çeşitli sanal laboratuvarlar geliştirilmiştir. Herga vd. [54], gerçekleştirdikleri araştırmada yedinci sınıf öğrencileri için kimyasal deneyleri ve kavramları görselleştirmek üzere sanal bir laboratuvar kullanmıştır. Sonuçlar, dinamik gösteriler sayesinde öğrencilerin bilgilerinin arttığını belirlemiştir. Bogusevski vd. [55] tarafından ilköğretim fizik eğitimi için doğadaki su döngüsü sürecini göstermek üzere bir 3B sanal laboratuvar geliştirilmiştir. Katılımcılar bu ortamı faydalı ve keyifli bulmuşlardır. Diğer bir çalışmada [56], oyun analitiği kullanılarak kimya ve rüzgar enerjisi sanal laboratuvarları geliştirilmiş ve ayrıntılı takiple öğrencilerin davranış verileri tespit edilmiştir (Şekil 3). Sonuçlar, her iki sanal laboratuvarın da kullanıcıların karar vermesini ve öğrenme içeriğine uyum sağlamasını kolaylaştırdığını göstermiştir. Wrzesien ve Raya tarafından [57] pedagojik teoriler ve müfredat hedefleri göz önünde bulundurularak doğa bilimleri ve ekoloji eğitimi için sanal bir dünya geliştirilmiştir. Çalışma sonuçları üzerinde yapılan analiz, öğrenme etkinliği açısından test ve kontrol grupları arasında anlamlı bir fark olmadığını, ancak test grubunun motivasyonel faktörlerinin arttığını göstermiştir.

Kullanımda olan en yaygın sanal gerçeklik projelerinden biri, STEM eğitimini desteklemek için Newcastle Üniversitesi tarafından Minecraft oyunu baz alınarak oluşturulan VR School uygulamasıdır [58]. Diğer bir uygulamada, Olmos-Raya vd. [59], ortaokul öğrencilerine tarımın doğuşunu, Avrupa'daki salgınları ve sanayi devrimini öğretmek için hem çevreyici hem de çevreyici olmayan sanal gerçeklik öğrenme ortamları geliştirmiştir. Çalışmada, HMD tabanlı çevreyici sanal gerçekliği ve tablet tabanlı çevreyici olmayan sanal gerçekliği kullanan öğrenciler arasındaki motivasyonel farklılıklar araştırılmıştır. Sonuçlar, her iki

sanal gerçeklik türünün de motivasyon üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermiştir. Çevreyici sanal gerçekliğin, çevreyici olmayana kıyasla öğrencilerin duygusal durumu ve bilgi tutma süreci üzerinde önemli ölçüde daha olumlu etkiye sahip olduğu görülmüştür. Çakıroğlu ve Gököğlu [60], küçük çocukları yangın güvenliği konusunda eğitmek için SecondLife 3D bazlı bir oyun ortamı oluşturup HMD tabanlı sanal gerçeklik teknolojilerine entegre etmişler ve bu ortamı 9-11 yaş aralığında on çocuğa uygulayarak değişen davranış durumlarını gözlemlemişlerdir. Sonuçlar, çocukların olumlu öğrenme çıktılarını elde ettiğini ve bilgilerini gerçek yaşam durumlarına aktarabildiğini göstermiştir. Ayrıca, sanal gerçeklik ortamının sağladığı bulunuşluk düzeyi ile becerilerin gerçek yaşam koşullarına aktarım düzeyi arasında önemli bir ilişki tespit edilmiştir.



Şekil 3. Migkotzidis vd. [56] tarafından geliştirilen oyun bazı sanal gerçeklikte eğitim uygulamasından kareler: (a) Sanal kimya laboratuvarı (b) Formül bulma oyunu (c) Molekül oluşturma oyunu (d) Rüzgar çifliği kurulu simülasyon alanı.

Öte yandan, HMD bazlı çevreyici sanal gerçeklik donanımlarının ilköğretimde kullanılması çeşitli zorluklar da ortaya koyabilmektedir. İlköğretim öğrencileri yetişkinlere nazaran daha küçük kafa ölçülerine sahiptir ve bu bakımdan standart donanımlar yerine ölçülerine uygun ergonomide tasarlanmış kasklara veya gözlüklere ihtiyaç duyarlar. Küçük çocukların HMD'lerde bulunan hassas teknolojilere zarar verebilmeleri büyüklere kıyasla daha olasıdır. İlköğretim öğrencileri, sanal dünyayı keşfetmek için çok hevesli, enerjik ve heyecanlı olabilirler. Bu da pahalı HMD'lerin serbest kullanım yerine genellikle öğretmen gözetimi gerektirmesi anlamına gelir. Kolayca hasar alma olasılığı daha düşük ve değiştirilmesi daha ucuz olan mobil entegre HMD'ler (Şekil 2) küçük öğrenciler için genellikle daha iyi seçeneklerdir [33].

### Özel ihtiyaçlı bireylerin eğitiminde sanal gerçeklik kullanımı

Sanal gerçekliğin özel ihtiyaçlı bireylerin öğrenme süreçlerini destekleyen bir araç olarak faydaları literatürde giderek daha fazla kabul görür hale gelmektedir. Birçok araştırma, bu teknolojinin otizm spektrum bozukluğu (OSB) olan çocukların davranışsal, iletişimsel ve sosyal becerilerini geliştirmedeki kritik rolüne işaret etmektedir [61].

Çevreyici sanal gerçeklik ortamları, dezavantajlı öğrencilerin fiziksel dünyayı erken yaşta öğrenme

süreçlerinde ihtiyaç duyulan uyum mekanizmalarına destek sağlayabilirler. Bu olanak, Ip vd. [62] tarafından OSB olan çocukların duygusal ve sosyal uyum becerilerini artırmak için dört taraflı CAVE teknolojisini kullanarak geliştirilen sanal gerçeklik uygulaması ile ortaya konulmuştur (Şekil 4). Ekip, OSB olan öğrencilerin anaokulundan ilkokula geçiş sürecini kolaylaştıran altı adet farklı öğrenme senaryosu oluşturmuştur. Bu senaryolar, duygu kontrolü ve gevşeme, çeşitli sosyal durumların simülasyonu, konsolidasyonun ve genellemenin kolaylaştırılması hedeflerine yönelik olarak çeşitlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, bu uygulamayı güvenli ve kontrol edilebilir çevreyici sanal gerçeklikte 14 hafta boyunca kullandıktan sonra, katılan öğrencilerin duygu tanıma, etkili ifade etme ve sosyal karşılıklık becerilerinin geliştiğini göstermiştir.



Şekil 4. OSB olan çocukların duygusal ve sosyal uyum becerilerini geliştirmek için oda içinde dört taraflı projeksiyonla sağlanan CAVE teknolojisini kullanarak geliştirilen sanal gerçeklik uygulamasının (a) senaryo içeriklerinden örnek kareler, (b) OSB olan çocuklar ile öğretmenin eşliğinde kullanımı [62].

Diğer bir çalışmada, yaşları 7 ile 12 arasında değişen OSB olan çocukların duygusal becerilerini geliştirmek için çevreyici bir sanal gerçeklik ortamı geliştirilmiştir [63]. Bu ortamda, sosyal durumlar için on farklı öğrenme senaryosunu görselleştirmek üzere yarı-CAVE (L-şekilli duvar-ekran) projeksiyonundan faydalanılmış ve yüz ifadelerini tanıma yoluyla çocukların mevcut duygusal durumlarını ve ruh hallerini belirlemek için el-göz kamera sistemine sahip bir robot kullanılmıştır. Bu sistemle, çocukların davranışlarının uygunluğu otomatik olarak değerlendirilmiştir. 40 çocuk katılımcıyla, her katılımcının 40 seansı tamamladığı ve 10 ay süren çevreyici sanal gerçeklik uygulamasının ardından, katılan çocukların duygusal davranışlarının önemli ölçüde gelişme gösterdiği raporlanmıştır.

Öte yandan, Arter vd. [64] tarafından yapılan çalışmada sanal gerçeklik OSB olan lise öğrencilerinin iş görüşmesi becerilerini geliştirmek için kullanılmıştır. Benzer şekilde, Burke vd. [65], sanal etkileşimli bir eğitim aracının otizmli ve gelişimsel engelli kişilerin iş görüşmesi becerilerini geliştirip geliştiremeyeceğine ilişkin bir araştırma ortaya koymuştur. Tüm katılımcılar güçlü yönleri belirleme, kendini geliştirme, kendini savunma, durumsal soruları yanıtlama ve davranışsal/sosyal sorulara yanıt verme becerilerini geliştirdiğinden, çalışmanın sonuçları hayli umut verici olmuştur.

### Tıpta sanal gerçeklik uygulamaları

Teknoloji, sağlık hizmetlerini daha kolay, daha hızlı ve daha erişilebilir hale getirmektedir [66]. Önümüzdeki yıllar içinde dijital sağlık bilgilerinin rutin klinik uygulamalara kusursuz

entegrasyonunun sağlanması beklenmektedir. Hastaneler muazzam miktarda hasta verisi üretmekle birlikte çok yönlü bilgi ve eğitim kapasitelerine sahiptirler. Yine de genellikle mevcut bilgilerin yalnızca bir kısmı herhangi bir zamanda hasta bakım sürekliliğine veya tıp eğitimine uygulanmaktadır. Sanal gerçeklik, gerçek dünya ile dijital dünya arasındaki engelleri ortadan kaldırarak dijital bilgilerle etkileşime geçmek için benzersiz bir araç sunmaktadır. Dijital sağlık hizmetlerini klinik uygulamalarla entegre etme kapasitesinin artması, daha iyi hizmet sunumuna ve daha iyi tıbbi sonuçlara yol açabilecektir. Sanal gerçeklik teknolojileri ve beraberindeki yazılımlar, tıp ve sağlık uygulamalarının özel taleplerini karşılamak için hızla gelişmekte ve bakımı hastanenin fiziksel sınırlarının ötesine geçerek topluma entegre ederken aynı zamanda hasta bakım izleğini bütünleştirerek hem hastane içinde hem de dışında temel platform teknolojileri haline gelmeye başlamışlardır. Öyle ki, Greenleaf'e göre sanal gerçeklik için en derin ve önemli pazar klinik bakımda ve sağlık sektöründe olacaktır [67].

Tıbbi bağlamda, sanal gerçeklik, sağlık hizmetleri bilgilerini gerçek zamanlı olarak entegre etme, görselleştirme, etkileşimde kullanma ve paylaşma potansiyeli sunar. Dijital sağlık yazılımı ve donanımı çözümleriyle birlikte sanal gerçeklik, insanlar, veriler ve makine arasında daha akıcı etkileşimler sağlama potansiyeline sahiptir. Dijital bilgiyi gerektiği yere verimli ve uygun bir şekilde yerleştirme olanağı, kullanıcının dikkatini eldeki göreve daha iyi odaklamasını sağlayacaktır. Uygun kullanıcı arayüzleri ile birleştiğinde, bu özellik aynı zamanda dijital bilgilere erişim karmaşıklığını azaltabilir ve hasta verilerini ilgili uzamsal bağlamda araştırmak ve analiz etmek için daha doğal ve sezgisel bir yöntem sağlayabilir [68].

Ayrıca, sanal gerçeklik tıbbi beceri geliştirme, tedavi planlama ve uygulama, hastayı bilgilendirme ve iyileştirme, rehabilitasyon için gelişmiş minimal invaziflikte sağlık hizmetleri sağlama ve performans artırıcı uygulama amaçlarıyla da kullanılabilir. Halk sağlığı ve cerrahi iş akışlarında 3B teknolojilerin benimsenmesini savunan araştırmacılar ve klinisyenlerin çabalarıyla sağlık hizmetlerinde sanal gerçekliğin kullanımına ilişkin literatür hızla büyümektedir [69][70]. Yenilikçi sanal gerçeklik uygulamaları, araştırmacılar ve geliştiriciler tarafından yeni teknolojik yeteneklerle desteklenmeye devam ettikçe, rutin klinik pratikte kullanılan mevcut yöntemlerin iyileştirilmesine veya yerlerine daha etkili çözümlerin getirilmesine imkan kılacaktır.

### **Operasyon planlaması ve perioperatif bağlamlarda sanal gerçeklik kullanımı**

Sanal gerçeklik, hastaya özgü verileri sanal ortama aktararak entegre etmeyi ve gerçekçi 3B etkileşimler aracılığıyla daha net gözlemlerde bulunmayı sağlar. Böylece, tıbbi prosedürlerin bağlamsal ve ayrıntılı bir şekilde önceden planlanmasına, olası vakaların daha iyi tanımlanmasına, operasyon sonrası işbirliğine ve gelişmiş uzaktan etkileşime imkan vermektedir.

Cerrahlar, operasyon hazırlığı için hastaya dair bir dizi 2B görüntüleri ve bilgileri baz alırlar. Hasta görüntülerinin bu 2B projeksiyonları, cerrahların bunlardan yola çıkarak hastaya dair 3B görüntüleri zihinlerinde oluşturmalarını ve

beraberinde prosedürü olası komplikasyonlarıyla birlikte hayal ederek tasarımlarını gerektirir. Birçok araştırma ve klinik proje, bilgisayarlı tomografi taramaları (BT), manyetik rezonans anjiyografi ve manyetik rezonans görüntüleme verileri gibi tıbbi görüntüleme bilgilerinin çok boyutlu keşfi bağlamında sanal gerçeklik kullanımını irdelemiştir. Amaç, karmaşık görüntüleri 3B olarak yeniden yapılandırma, görselleştirme ve prosedürleri simüle etme yeteneği ile tanı ve tedavi planlamasının bilgiye dayalı geliştirilmesini sağlamaktır. Hastaya özel karmaşık bir prosedürün provası yapılabileceği ve farklı senaryolar öngörülebileceği için bu özellikle cerrahi planlama bağlamında hayli önem teşkil eder [68].

Sanal gerçeklik simülasyonları, cerrahi tekniklerin bilgisayarlı görselleştirmeye dayanarak uygulanmasına izin veren sistemlerdir. Cerrah veya cerrahi stajyeri, bir dizi bilgisayarlı görüntüyü manipüle etmek için çeşitli araçlar kullanır ve böylece sanal bir ortamda ameliyatı gerçekleştirir. İlk sanal gerçeklik simülatörleri, Aşil tendonu onarımı, kolesistektomi, yara debridmanı ve dikiş atma uygulamalarını içermektedir [71]–[73]. Bu sanal gerçeklik simülatörleri, önceki bilgisayarsız simülasyon modellerinden farklı olarak, güvenli, etik ve tekrarlanabilir olmalarıyla öne çıkmışlardır. Zamanla, sanal gerçeklik simülatörleri üzerine yapılan kapsamlı klinik araştırmalar ve yeni teknolojilerin entegrasyonu, giderek daha etkili ve çok yönlü modellerin geliştirilmesiyle sonuçlanmıştır. Örneğin, MIST-VR (Sanal Gerçeklikte Minimal İnvazif Cerrahi Eğitmeni) ve laparoskopik ameliyathane için geliştirilen diğer sanal gerçeklik simülatörlerinin ameliyathanedeki performansını iyileştirdiği gösterilmiştir [74][75]. Bugün, bazı sanal gerçeklik simülatörleri, ameliyathanede kullanılan gerçek cerrahi araçları son derece fotorealistik olan bilgisayar üretimi sentetik görüntülerle birleştirmektedir. Bu hibrit simülatörler, tüm işlemleri yüksek doğrulukla taklit edebilmektedirler [76].

Anatomik olarak yüksek doğrulukta sanal gerçeklik simülasyonları, hastaya özel anatomi üzerinde çalışma imkanı sunarak insan hatası riskini büyük oranda azaltır ve sadece ekip üyeleriyle değil aynı zamanda bizzat hastalarla da cerrahi planın görsel iletişimine olanak tanır [78]. Pankreatektomiler, hepatektomiler, böbrek cerrahisi ve el cerrahisinde kullanılmak üzere hastaya özel simülatörler ortaya çıkmıştır [77]–[79]. Makiyama vd. [77] tarafından tanımlanan böbrek cerrahisi simülatöründe, 2B BT görüntüleri kullanılarak simülatörde hastanın böbreği 3B olarak yeniden üretilir (Şekil 5). Bu, operasyona girecek cerrah için hastanın anatomik varyasyonlarının doğru temsillerinden faydalanarak ameliyat öncesinde laparoskopik prosedürleri sanal bir ortamda risksiz biçimde uygulayabilmesine olanak tanır. Simülatörün genel doğruluğu yüksek bulunmuş; tümörler, ureterler, renal arterler ve damarlar gibi yapıları %95 ile %100 arası doğrulukla verebildiği tespit edilmiştir. Bu simülasyonları oluşturmak için gereken süre nispeten kısadır. Hepatektomi ve pankreatektomi simülatörleri için gereken hazırlık yaklaşık 2,5 saat sürmektedir [78]. Bulgular göstermektedir ki, sanal gerçeklik simülatörleri karmaşık prosedürlerin ameliyat öncesi planlaması için etkili araçlar olabilmektedir. 3B yazıcılardan farklı olarak, kolayca yeniden kullanılabilirler ve kaynakları tüketmezler. Sanal gerçeklik simülatörlerinin bu özellikleri, klinik kullanımını daha da desteklemektedir [80].





Şekil 5. Laparoskopik böbrek cerrahisi için kullanılan hastaya göre özelleştirilebilen sanal gerçeklik simülatörü [77].

### Tıp eğitiminde sanal gerçeklik kullanımı

Simülasyonun tıp eğitimi çerçevesinde beceri, bilgi ve tutum gelişimine yardımcı olduğu uzun zamandır bilinmektedir [81]. Anatomi öğrencileri, sanal gerçeklik eğitiminin güvenli, etkili ve esnek olması sayesinde insan vücudunun farklı sistemlerini üç boyutlu olarak görselleştirebilir ve pratik becerileri standart bir şekilde öğrenebilirler [82]. Gerçek muadillerine yüksek sadakatte olduğu için suni görünmeyen sanal gerçeklik ortamları, içerik ve iletişim sürecini kesintiye uğratmadan öğrenmeye yardımcı olmaktadır [83].

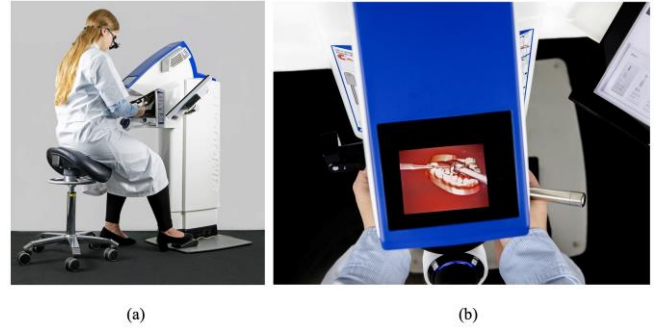
Özellikle, tıp eğitimi alanında sanal ortamların kullanımı son yıllarda yaygın hale gelmiş, çokça çalışılmış ve çeşitli literatür taramalarına konu olmuştur [84]–[91]. Elde edilen bulgularda, sanal ortam uygulamalarının geleneksel öğrenmeyi desteklemek ve performansı artırmak için kullanılabilceği sonucuna varılmıştır [92]–[94].

Cerrahi pratiğindeki karmaşıklıklar, cerrahlar tarafından nesilden nesile aktarılan araçları ve yöntemleri kullanarak, bunları gelişen uygulama yaklaşımının gerçeklerini yansıtmak için yeri geldiğinde değiştirerek ve zaman zaman miadı dolmuş olanı tamamen yenisiyle ikame ederek ele alırlar. Klinik uygulama geliştikçe, eğitim yöntemleri de benzer şekilde gelişmiştir. Genel olarak, cerrahi eğitimin tüm seviyelerinde hedef yetkin klinik uygulamaya ulaşmaktır. Bununla birlikte, teknolojik ilerlemeler, tıbbi bakım için toplumdan gelen erişim, kalite ve güvenliğe dair talepler ve gelişen bir yetkinlik anlayışı, cerrahi eğitimdeki mevcut durum ve eğilimlere katkıda bulunan önemli ve birbiriyle bağlantılı itici güçler olmuştur [95].

Sanal gerçeklikte cerrahi becerisi ve karar verme eğitimi, özellikle çevreyici sanal gerçeklik yoluyla geliştirilir [96]. Cerrahide uzmanlık edinimi ve incelikli pratik kazanımı için en başta psikomotor, otomatizite ve profesyoneller arası iletişim becerileri gereklidir [97][98]. Prosedürler beceriye, kurala ve bilgiye dayalıdır [99]. Bunların ilk ikisi, ex vivo veya in vivo hayvan modelleriyle makul ölçüde iyi öğretilenmiştir; ancak karmaşık görevler ve prosedürler için çok modlu çevreyici sanal gerçeklik kullanımı giderek daha gerekli görülür hale gelmektedir. Hayli stresli olabilen ve

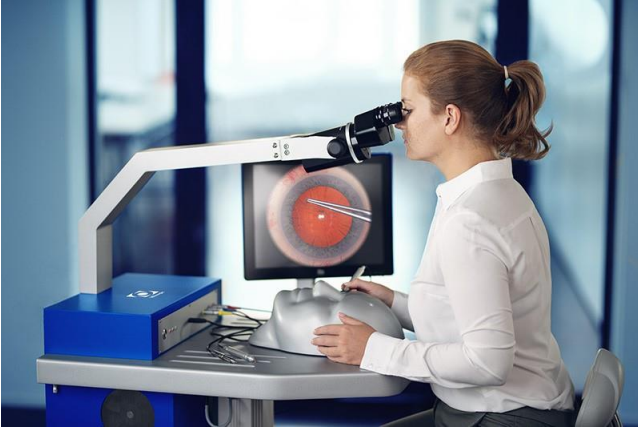
dikkat gerektiren cerrahi ortamın simülasyon ile tecrübe ettirilmesi, iletişim, stres yönetimi ve ekip çalışmasını öğretmek için de yararlıdır [100].

Alfalah vd. [102], etkileşimli bir ortamda kalp yapısının gerçek zamanlı 3B temsili veren bir sanal gerçeklik sistemi sunmuştur. Sistem, kalbin farklı bölgelerinin anatomik ilişkilerinin gerçekçi gösterimi için serbest manipülasyon ve sökülebilir modeller gibi etkileşimlere izin vermektedir. Modelin çeşitlenen yapısının gerçekçi bir temsili elde etmek için hafif abartılı farklı ten rengi tonları kullanılmıştır. Böylece, kalp yapısının karmaşıklığını anlamaya yardımcı olması ve kalbin farklı bölümlerinin anatomik ilişkilerini netleştirilmesi amaçlanmıştır. Wang vd.'nin [101] çalışmasında, diş tacı hazırlama eğitimi için geliştirilmiş 3B sanal gerçeklik simülasyon sistemi olan Simodont tanıtılmıştır (Şekil 6). Bu simülatör, diş hekimliği öğrencilerinin ve protez asistanlarının hem süre hem de beceri açısından gelişimini sağlayabilmekte; böylelikle bir öğretim aracı olarak geçerlilik sağlamaktadır. Gerçekçi klinik durumlar sunduğu için öğrencilerin fantom uçlarla veya plastik mankenlerle yapılandırılan daha kapsamlı bir şekilde pratik yapmalarına olanak tanır.



Şekil 6. (a) Simodont dişçilik eğitimi simülatörü (b) Bir öğrenci Simodont'u kullanarak dokunsal geribildirimli diş hazırlama egzersizi gerçekleştiriyor [101].

Vankipuram vd. [103], gelişmiş kardiyak yaşam desteği için sanal gerçeklik tabanlı bir eğitim simülasyonu geliştirmişlerdir. Simülasyon, esas olarak hastaların hayatını kurtarma pratiği edinmesi gereken yeni oluşturulmuş klinisyen ekiplerine yönelik hazırlanmıştır. Bu hedefle geliştirilen simülasyon senaryosu, kalp durması ve solunum yetmezliği sırasında yapılan klinik müdahaleler hakkında rehberlik sağlayan, zamana duyarlı ve ekip bazlı tıbbi görevlerden oluşmaktadır. Harrison vd. [104] tarafından ele alınan bir diğer uygulamada, ameliyat sonrası enfeksiyonun önlenmesinde kazanımı çok önemli bir pratik olan cerrahi el hazırlığı öğretimini iyileştirmek hedeflenmiştir. Radia vd.'nin [105] çalışmasında sunulan VRmagic Eyesi Oftalmik Cerrahi Simülatörü (Şekil 7), gerçek hayattaki katarakt ve vitreoretinal cerrahiye uygulanabilecek psikomotor becerilerin kazanılması ve mikrocerrahiye uygun uzamsal farkındalık geliştirilmesi için gerçekçi bir ortam sağlar. Bu simülatör ile, oftalmi eğitimine yeni başlayan cerrahlara emniyetli bir ortamda hastanın gözünü güvenli biçimde ele alma tecrübesi edinmede ve ameliyathane endişesini gidermede yardımcı olunması amaçlanmıştır.



Şekil 7. Öğrenci, VRmagic Eyesi Oftalmik Cerrahi Simülatörü'nü kullanarak katarak ameliyatı eğitimi alıyor [105].

2018 tarihli bir literatür incelemesinde [93], önceden endoskopik deneyimi olmayan stajyerler için erken geleneksel endoskopi eğitiminin, sanal gerçeklik simülasyonu temelli eğitim ile tam olarak ikame edilemeyeceği ancak sanal gerçeklik eğitiminin geleneksel eğitimi tamamlayıcı faydaları olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde, cerrahi stajyerler için yapılan sanal gerçeklik eğitiminin laparoskopik cerrahideki kullanımlarının potansiyel yararlarını ve zararlarını değerlendiren 2008 tarihli bir diğer incelemede [87], geleneksel eğitime ilave olarak yapılan sanal gerçeklik eğitiminin çalışma süresini azalttığı ve sınırlı laparoskopik deneyime sahip stajyerlerin hem hiç eğitimi olmayanlarla hem de geleneksel, gözetimli, veya hasta tabanlı eğitimi olanlarla karşılaştırıldığında ameliyat performansını geliştirdiği sonucuna varılmıştır. 1969'dan 2003'e kadar 34 yıl boyunca yayınlanan ilgili çalışmaları kapsayan sistematik bir inceleme [88], yüksek doğrulukta simülasyona dayalı tıp eğitiminin kullanımına odaklanarak, bu tür kullanımların eğitimsel olarak etkili olduğu ve geleneksel tıp eğitimi tamamladığı; ancak alandaki araştırma titizliğinin ve kalitesinin iyileştirilmesinin gerekli olduğu sonucuna varmıştır.

## Güncel görünüm, zorluklar, öneriler ve öneriler

Sanal gerçekliğe ilginin yüksek olduğu ve artmaya devam edeceği açıktır. Teknolojinin yenilikçi kullanımlarının günümüz popülasyonlarında, özellikle de teknolojik gelişmeleri yakından takip eden ve bunları hızlı bir şekilde benimseyebilen genç yetişkinlerde önemli faydalar sağlayabileceği görülmektedir [106]. 2015 yılında yapılan bir ankete göre [107], 30 ila 39 ve 20 ila 29 yaş aralıklarındaki bireylerin sırasıyla %76 ve %77'si sanal gerçekliğe ilgi duyduklarını belirtmiştir. Bu rakam, 14 ila 19 arası yaş grubunda ise %96'ya yükselmiştir. Dolayısıyla, bu noktada esas soru, sanal gerçekliğin ileride yaşantımızın standart bir parçası olup olmayacağı değil; yaşantımızın hangi alanlarında ne zaman ve nasıl standart olacağıdır [108].

Sanal gerçekliğin farklı algı yollarını bir arada harekete geçiren ilgi çekici ortamlar sağlayarak olumlu sonuçlar almaya izin veren büyük bir potansiyele sahip olduğu pek çok

araştırma tarafından defaatle ortaya konulmuştur. Ancak bu çalışmaların önemli bir kısmının eski teknolojileri kullanarak gerçekleştirildiğini göz önünde bulundurmak gerekir. Sanal gerçeklik teknolojilerindeki gelişmeler ışığında, modern sanal gerçeklik donanım ve yazılımlarını kullanarak gerçekleştirilecek kapsamlı yeni araştırmalar büyük önem taşımaktadır. Ayrıca her insanın benzersiz olduğu ve farklı sanal gerçeklik algısına sahip olabileceği de dikkate alınmalıdır. Bu nedenle özellikle çocuklara veya dezavantajlı bireylere yönelik sanal gerçeklik senaryoları doğru bir şekilde incelenmeli ve değerlendirilmeli, geliştirme süreçlerinde uygun sahaların profesyonellerine danışılmalıdır.

Sanal gerçeklik için en önemli zorluklardan biri, gerçek zamanlı etkileşimi sağlarken oluşturulan sahneyi mümkün olduğunca yüksek fotogerçekçilikte temsil etmektir. Psikogörsel olarak, insan beyninin işleyişi, gerçekçi olmayan küçük ayrıntıları bile tespit etmemizi sağlar ve sanal gerçeklik deneyimi sırasında bunların algılanması zihinsel çevrelemeyi kolayca bozabilir. Ancak, görüntüleme teknolojileri ve sanal gerçeklik grafiklerini üretmek için kullanılan mevcut teknikler sınırlıdır. Bu nedenle, fotogerçekçi görüntü üretimi ve gerçek zamanlı etkileşim arasında bugün hala bir ödünleşimde bulunmak gerekmektedir. Sanal sahne, bir *3B grafik yazılım arayüzüne* (ing. 3D graphics API) dayalı olarak oluşturulur. Modern grafik yazılım arayüzleri, sanal sahnedeki her bir nesneyi adına üçgen ağ denen bir üçgenler topluluğu olarak temsil eder. Bunun sebebi, birbirine bağlı bir üçgen ağı üzerinde çalışmanın bir grup birbirinden bağımsız üçgen üzerinde çalışmaktan daha verimli olmasıdır. Artan sayıda üçgenlerle, sanal nesneye daha fazla ayrıntı gömülebilir; ancak bu artış, sahneyi oluştururken daha yüksek bir hesaplama maliyeti ile sonuçlanır. Bu durum gerçek zamanlı etkileşimin sağlanmasını tehlikeye atabileceği için oluşturulan sahnenin karmaşıklığının dikkate alınması gerekir. Ayrıca, fiziksel fenomenlerin (örn. doğal akış, sıvı-sıvı etkileşimleri ve katı-sıvı etkileşimleri), deforme olabilen katı nesnelerin ve sanal kameradan uzaklığa bağlı uygun ayrıntı düzeyinin simülasyonlarında da gerçek zamanlı hesaplama açısından önemli zorluklar vardır.

İnsan faktöründen kaynaklı problemler ve fiziksel yan etkiler, sanal gerçeklikte bugün de devam eden diğer bazı zorluklardır [41]. Bazı çalışmalar, HMD kullanımının kaygı, stres, izolasyon ve olumsuz ruh hali değişiklikleri gibi istenmeyen fiziksel/fizyolojik yan etkilere yol açabileceğini öne sürmüştür [109]. Ayrıca, sanal ortamda simüle edilen hareketlerin kişinin fizyolojik hareket algısıyla uyumsuzluğu, kişinin zaman ve mekan algısını etkileyerek siber hastalık adı verilen semptomlara neden olabilir [110]. Örneğin, Regan'ın çalışmasında [111] 150 denek, çevreyici bir sanal ortamda 20 dakika boyunca siber hastalık için test edilmiştir. Deneklerin %61'i, 20 dakikalık çevreyici tecrübe esnasında ve 10 dakikalık çevreyici tecrübenin sonrasında siber hastalık semptomları bildirmiş; %5'i de şiddetli siber hastalık semptomları nedeniyle deneyi bırakmak zorunda kalmıştır. Bu tür yan etkileri azaltmak için sanal gerçekliğe adaptasyon egzersizleri önerilmektedir. Kullanım sırasında oluşabilen doğal olmayan postürler, kardiyovasküler ritim üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir [109]. HMD ile sanal gerçeklik tecrübesinde kullanılan stereo kamera çiftinin ayarları iyi yapılmadığı takdirde kullanıcının 3B görsel algısında

akomodasyon ile yakınsama mekanizmalarının rahatsız edici düzeyde ayrışmasına neden olabilir [112].

Eğitim sistemleri sürekli devinim ve gelişim halindedir. Eğitimde kullanılan yaklaşımlar, her zaman mevcut teknolojiye ve öğrencilerin ihtiyaçlarına göre yeniden ele alınıp uyarlanagelmıştır. Günümüz itibariyle yine bir dönüşümün eşiğinde bulunuyoruz. Bu dönüşümü benimsemek ve gerekli hazırlıkları yapmak bilim insanlarının ve eğitimcilerin görevidir. İlköğretime yeni başlayan veya devam etmekte olan nesil, tüm yaşamları boyunca çevrimiçi olagelmıştır. *Z kuşağı* olarak adlandırılan bu yeni nesil için dijital dünya, gerçek dünya kadar önemli ve sürükleyicidir. Zira onlar, cep telefonları, tablet bilgisayarlar, hemen her yerden erişilebilen internet ve istenen bilgi, veri, müzik, video vd. içeriğe anında erişim dünyasında doğmuş dijital yerlilerdir. Bu bakımdan, *Z kuşağının* eğitiminde, katılımı en üst düzeye çıkarmak için oldukça farklı yöntemlere ihtiyaç vardır. Teknoloji temelli yeni yaklaşımlara olan eğilimleri sayesinde, sanal gerçeklik, *Z kuşağı* ve ötesinin eğitiminde anahtar bileşenlerden biri olmaya adaydır.

Eğitimde sanal gerçeklik teknolojilerini kullanmanın kanıtlanmış pek çok avantajı vardır. Her şeyden önce, sanal gerçeklik, geleneksel sınıflarda elde edilemeyen olağanüstü bir görselleştirme imkanı sağlar. Genç nesillerin kendilerini rahat hissettikleri dünyayı yansıtır. Kapsayıcıdır; herkesin eğitim sürecine katılmasına izin verir. Sınıfta kullanılan modern teknoloji, ilgiyi artırır, işbirliğini ve katılımı teşvik eder. Yüksek verimli karma öğrenme ve kendi kendine çalışmayı teşvik etme için kullanışlıdır [19].

Eğitimle ilgili çalışmalar üzerine gerçekleştirdiğimiz gözden geçirme, sanal gerçekliği öğretimde uygulayan araştırma alanlarının çeşitliliğine işaret etmektedir. Sanal gerçekliğin geleneksel eğitim yaklaşımlarına tamamlayıcı bir öğretim ve öğrenme ortamı olarak kullanılması, bilişsel, beceri temelli ve duyuşsal öğrenme çıktıları için olumlu sonuçlar ve faydalı etkiler sunmaktadır. Sanal gerçeklik, araştırmacıların çoğu tarafından, özellikle de yüksek öğretim için, umut verici bir öğrenme aracı olarak ele alınmıştır. Fakat hala daha yeterli kullanım olgunluğuna erişemediği açıktır. İncelenen makalelerin çoğunda açıklanan teknolojiler deneysel durumda kalmış ve çoğunlukla sadece performansları ve kullanılabilirlikleri açısından test edilmişlerdir. Ayrıca çok az sayıda tasarım odaklı çalışmanın, sanal gerçeklik uygulamalarını teknik geliştirme rehberliği görevi gören belirli bir öğrenme teorisine dayalı olarak yapılandırıldığı görülmüştür. Benzer şekilde, sanal gerçeklik temelli öğretimin müfredat içinde nasıl benimsenebileceğini ayrıntılı olarak ele alan az sayıda makale bulunmaktadır.

Bu gerçekler, çevreyici sanal gerçeklik teknolojilerinin öğretimde kitlesel olarak benimsenmesinin önüne geçmektedir. Mühendislik ve bilgisayar bilimleri gibi bazı alanlarda, belirli becerileri, özellikle kavramsal, prosedürel veya pratik bilgi gerektiren konuları, öğretmek için sanal gerçeklik uygulamalarının sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, sanal gerçeklik bazı eğitim, çoğu alanda hala deneysel durumdadır ve kullanımı sistematik veya en iyileştirilmiş örnek uygulamalara dayalı değildir. Sanal gerçeklik uygulama geliştiricileri ve yüksek öğretimdeki eğitimler, mevcut literatürden sağlanacak

çıkartımlar ve içgörülerden beslenerek sayılan eksikleri giderecek iyileştirmelerde bulunabilirler [113].

Sanal gerçeklik ortamlarını gerçek zamanlı olarak yüksek fotogerçekçilikte sağlamak için, hesaplama açısından güçlü donanımlar gerekmektedir. Şu anda, Oculus Quest 2 ve HTC Vive gibi üst segment HMD sanal gerçeklik sistemleri eski muadillerine kıyasla daha az alan işgal ederek çok daha düşük maliyetler gerektirirler de [114], sırasıyla, yaklaşık 300\$ ve 800\$ civarında seyreden fiyatları geleneksel öğretim yöntemlerinin maliyetlerine kıyasla halen daha oldukça pahalı kalmaktadır. Sanal gerçeklik teknolojisi, daha büyük kitlelerin erişimi için düşük maliyetli giyilebilir çözümler hedefiyle hızla gelişmeye devam etmektedir. Örneğin, Samsung Gear VR veya Google Cardboard gibi akıllı telefon tabanlı sanal gerçeklik HMD'leri, üst segment seçeneklerden daha erişilebilir maliyettedir. Google Cardboard, günümüzde mevcut olan çoğu akıllı telefonla çalışabilen son derece düşük maliyetli (yaklaşık 10\$) bir HMD'dir. Ancak, çoğu akıllı telefonlarda oluşturulan deneyimler veya simülasyonlar, çevreleme açısından üst segment sanal gerçeklik HMD'leri ile oluşturulanlar kadar yüksek performanslı fotogerçekçilik sunmamaktadır. Ek olarak, akıllı telefon tabanlı çözümler sınırlı etkileşim yetenekleri sağlar. Bununla birlikte, erişilebilirlik ve fiyat arasındaki denge, akıllı telefon tabanlı çözümlerin daha geniş kitleler tarafından kullanılmasında kilit faktör olabilir. Kaldı ki, çoğu eğitim simülasyonları için, yüksek fotogerçekçilikten ziyade içerik kalitesi önceliklidir. Bu durum, alt segmentlerdeki HMD'leri kullanarak sınıftaki tüm öğrenciler için çok daha düşük maliyetle sanal gerçeklik teknolojilerinden yararlanabilmeyi hayli tercih edilebilecek bir alternatif haline getirir.

Sanal gerçekliğin eğitimde kullanılması faydalı olsa da risklerden yoksun değildir. Ana sorunlardan biri mevcuttaki esneklik eksikliğidir. Geleneksel derslerde öğrenciler istedikleri gibi soru sorabilir, cevap alabilir ve tartışmaya katılabilirler. Belirli bir yazılım çerçevesinde sanal gerçeklik başlığı kullanan öğrenciler, yazılımın getirdiği limitlere uymak durumundadır ve yazılımın tasarım fonksiyonlarıyla sunulanlardan başka şeyler yapamazlar. Bazı eğitimciler, doğal olarak değişime karşı dirençlidir ve onların da dahiliyet ve aktif katılım sağlaması, yeni teknolojilerin eğitim sistemine başarılı bir şekilde tanıtılması için önemlidir. Diğer bazı eğitimciler ise, tam tersine, teknolojik gelişmelere aşırı güvenme eğiliminde olabilir ve bu da öğretmen-öğrenci etkileşiminde eksikliklere yol açabilir. Programlanmış sanal bir öğretmenin aksine, canlı bir öğretmen, öğrenciler tarafından edinilen bilgilerin doğal bir filtresi ve moderatördür; varlığı, elde edilen verilerin geçerliliğini ve uygunluğunu değerlendirmek için gereklidir. Tüm eski usul yöntemleri modern dijital çözümlerle değiştirmek cazip gelse de son teknoloji çözümler ile insan etkileşimi, mentörlük ve öğretmen-öğrenci ilişkisi arasında bir denge gözetilmelidir.

Sanal gerçeklikteki ilerlemeler kuşkusuz sağlık hizmetlerini de dönüştürmektedir. Bu dönüşüm, doktorlar, bilimsel araştırmacılar, hastalar, yazılım şirketleri ve donanım üreticilerinin iştirakleri sayesinde mümkün olmaktadır. Teknik, bilişsellik, ölçeklenebilirlik ve benimseme eksenlerindeki zorluklar, daha proaktif ve kişiselleştirilmiş sağlık hizmetleri için sektöre özel çözümlere dair daha fazla inovasyonu teşvik etmektedir. Sanal gerçeklik, hastanelerin

dijitalleşmesine yönelik dünya çapındaki çabaları destekleyen yeni veri entegrasyon yetenekleri getirmekte ve gelişmiş tıbbi eğitim, iyileştirilmiş hasta deneyimi, merkezi uzmanlığın dağıtımı ve modern tıbbi prosedürler dahil olmak üzere benzersiz faydalar sağlamaktadır. Çevreyici teknolojilerde aşama kaydedildikçe ve buna paralel olarak, tamamlayıcı teknoloji platformları geliştikçe, bu alanların bir araya geleceği ve sağlık hizmetlerinin sunulma biçiminde sismik değişimler yaratacağından şüphe yoktur. Geleceğin hastanesinde, aynı zamanda yapay zeka, robotik cerrahi ve kişiselleştirilmiş implantların entegre tıbbi kullanımının doktorlar ve hastalarla birlikte yerinde gerçekleştiği görülebilecektir. Sanal gerçeklikteki gelişmeler ve genişletilmiş gerçeklik (ing. extended reality) spektrumundaki diğer teknolojiler, tamamlayıcı doğaları itibarıyla daha da ikna edici hale gelerek başka platform teknolojilerini yeni erişilebilirlik, satın alınabilirlik ve etkinlik seviyelerine yükseltecek; sonuçta olumlu ekonomik etki, eğitim ve beceri artışı sağlayacak ve tüm dünyadaki hastalar için yaşam kalitesini artıracaktır [68].

Geçmişte tıp eğitimi, kadavralar, maketler ve nihayetinde gözetim altında gerçek hastalar üzerinde yapılıyordu. Günümüzde tıp eğitiminin, tıbbi simülasyonlarda sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik ile uygulanmasına ve bunların staj müfredatında yer edinmesine yönelik bir dönüşüm devam etmektedir. Fiziksel rehabilitasyon, engellilik idamesi, cerrahi eğitim, bilişsel rahatsızlıkların tedavisi ve analjezik modalite dahil olmak üzere tıp alanının çeşitli dallarında ve unsurlarında, geniş bir yelpazede gerçekleştirilen sanal gerçeklik uygulamalarında önemli faydalar elde edildiği raporlanmıştır [115]–[120]. Sanal gerçekliğe geçişin devam eden başarısı, büyük ölçüde simülasyon ve etkileşimin aslına uygunluğundaki ilerlemeye bağlı olacaktır. Ayrıca, uygulamaya özel standartlaştırılmış cerrahi simülasyon değerlendirme ölçütlerine ihtiyaç vardır. Zira güvenilir ölçütler, farklı simülasyonlar arasında daha adil bir karşılaştırmanın yanı sıra hedeflenen uygulama ile ilgili gerçekten önemli olan yönleri odaklanmayı mümkün kılacaktır [121].

Diğer bir zorluk, gerçek cerrahi aletlerinin verdiği hissi taklit etme amacıyla faydalanılan haptik geri bildirim cihazlarının kullanımında yatmaktadır. Haptik geribildirim, tıbbi simülasyonlarda sanal gerçeklik deneyiminin aslına uygunluğunu artırmak için önem taşır. Haptik güncelleme sıklığının getirdiği hesaplama gereksinimleri, gerçek zamanlı görsellerinkinden bile daha zorlayıcıdır. Gerçekçi kuvvet geri bildirim için çarpışma algılama ve kuvvet oluşturma bir milisaniyeden daha kısa sürede çözülmesi gerekir. İnsan vücudu yumuşak ve sert doku kombinasyonundan var olduğu için, cerrahi simülasyonun sert-sert ve sert-yumuşak nesne etkileşimini taklit edebilmesi gerekir. Sert-sert nesne etkileşimi, gerçekleştirmesi en kolay olanıdır ve çoğu cerrahi simülasyonda uygulanmaktadır. Ancak simülasyonun aslına uygunluğunu artırmak için, gerektiğinde sert-yumuşak nesne etkileşiminin de mevcut olmasına ihtiyaç vardır. Rijit (deforme olmayan) nesnelere arası etkileşimde kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, rijit ve deforme olabilen nesnelere arasındaki etkileşim, veri yapılarının bir milisaniyelik zaman sınırı içinde güncellenmesini ve doğru fiziksel davranışı taklit etmesini gerektirir. Literatürde bu konuda umut verici sonuçlara ulaşılmıştır [122]. Bugün, geniş

bir uygulama yelpazesini hedefleyen, ticari olarak temin edilebilen birçok haptik geri bildirim cihazı bulunmaktadır. Fakat, genel kullanım hedefiyle üretilen bu cihazların fiziksel uç işlevleri (son efektörleri) operasyonlar sırasında kullanılan tıbbi aletlere benzemez. Bu sorunla başa çıkmak için, haptik geri besleme cihazının uç işlevleri gerçek bir cerrahi aletle değiştirilebilir [123]. Ancak bu durumda cihazın sağladığı çalışma alanı, kuvvet aralığı, çözünürlük ve sertlik değişmeyecektir. Bu bakımdan, uygulamaya özel haptik geri bildirim cihazları geliştirilmesi daha iyi bir çözüm olacaktır. Elbette, yüksek kaliteli haptik geri bildirim cihazları pahalıdır ve cerrahi simülasyonların maliyetini büyük ölçüde artırır [124].

COVID-19 pandemisi, normal yaşamımızı dramatik şekillerde değiştirmiştir. Yüz yüze grup etkinliklerine erişimin ani ve neredeyse tamamen kaybıyla birlikte okullarda uzaktan eğitime; sağlık hizmetlerinde yüz yüze doktor ziyaretlerinden uzaktan teletıp görüşmelerine geçiş, bilhassa gelişmiş ülkelerde, hızlı ve geniş bir ölçekte gerçekleşebilmiştir [125][126]. Neredeyse her büyüklükteki profesyonel toplantılar sırasında sanal olarak buluşma ve etkili bir şekilde etkileşime girmek için gerekli teknolojilerin uzun zamandır geliştiriliyor olması ve hemen benimsenebilmeleri için yaygın olarak mevcutta bulunmaları bunu mümkün kılmıştır. Örneğin, 2020’de yapılan bir anket, yanıt veren eğitim programlarının %97’sinin cerrahi eğitiminde kapsamlı sanal konferansları benimsediğini ortaya koymuştur [127]. Bununla birlikte, uygulamalı eğitim olanaklarının kaybı ve stajyerlerin fiziksel ve duygusal esenliğine yönelik karmaşık güçlükler de dahil olmak üzere diğer zorluklar karşısında mevcut teknolojilerin yaygın oluşu tek başına kolay bir geçişi garanti etmemiştir [95].

Artık tüm tıp ve eğitim toplulukları COVID-19’a uyum sağlamak zorunda kaldığına göre, mevcut halk sağlığı krizi geçtikten sonra bile sanal eğitim için pek çok alanda gerçekten geniş kapsamlı etkiler görülebilecektir. Öte yandan, bu uygulamaların ne kadar uzun süreli olacağı konusunda çok fazla spekülasyon da yapılmıştır. Sanal eğitim uygulamalarına ilişkin yakın tarihli bir çok-kurumlu görüş bildirgesinde [128], coğrafi sınırlamalar olmaksızın geniş kapsamlı toplantılara erişim imkanının katılım için nasıl eşit görülmemiş fırsatlar yarattığına dair dengeli bir tablo olduğu ortaya koymuştur. Buna karşın, sanal görüşmelerde gerçek hayatta alıştığımız ve beklediğimiz her türlü etkileşimin mümkün olmamasından ötürü işbirliği veya mentörlüğü olumsuz etkileyebilecek yönler de mevcuttur. Sanal etkileşimlerin gelecekte sunacağı imkanların, geçmişten gelen uygulamaları ne yönde değiştireceğini ve nihayetinde pandemi sonrası dünyada ne denli değerli ve tamamlayıcı olacağını göreceğiz.

## Kaynaklar

- [1] W. R. Sherman and A. B. Craig, “Understanding virtual reality,” *San Francisco, CA: Morgan Kaufman*, 2018.
- [2] J. Kim and T. Leathem, “Virtual reality as a standard in the construction management curriculum,” Dec. 2018.
- [3] J. Orlosky, K. Kiyokawa, and H. Takemura, “Virtual and augmented reality on the 5g highway,” *Journal*

- of *Information Processing*, vol. 25, pp. 133–141, 2017.
- [4] J. Jerald, *The VR book: Human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool, 2015.
- [5] M. Slater, “Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments,” *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 364, no. 1535, pp. 3549–3557, 2009.
- [6] S. Bouchard and A. “. Rizzo, “Applications of virtual reality in clinical psychology and clinical cognitive neuroscience—an introduction,” in *Virtual Reality for Psychological and Neurocognitive Interventions*, A. “. Rizzo and S. Bouchard, Eds. New York, NY: Springer New York, 2019, pp. 1–13, isbn: 978-1-4939-94823. doi: 10.1007/978-1-4939-9482-3\_1. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-94823\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-94823_1).
- [7] D. Villani, F. Riva, and G. Riva, “New technologies for relaxation: The role of presence.,” *International Journal of Stress Management*, vol. 14, no. 3, p. 260, 2007.
- [8] J. Fox, J. Bailenson, and J. Binney, “Virtual experiences, physical behaviors: The effect of presence on imitation of an eating avatar,” *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 18, no. 4, pp. 294–303, 2009.
- [9] S. Persky and J. Blascovich, “Immersive virtual video game play and presence: Influences on aggressive feelings and behavior,” *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 17, no. 1, pp. 57–72, 2008.
- [10] M. Price and P. Anderson, “The role of presence in virtual reality exposure therapy,” *Journal of anxiety disorders*, vol. 21, no. 5, pp. 742–751, 2007.
- [11] C. Heeter, “Being there: The subjective experience of presence,” *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, vol. 1, no. 2, pp. 262–271, 1992.
- [12] S. Zheng, M. B. Rosson, P. C. Shih, and J. M. Carroll, “Understanding student motivation, behaviors and perceptions in moocs,” in *Proceedings of the 18th ACM conference on computer supported cooperative work & social computing*, 2015, pp. 1882–1895.
- [13] R. E. Yager, “A vision for what science education should be like for the first 25 years of a new millennium,” *School Science and Mathematics*, vol. 100, no. 6, pp. 327–341, 2000.
- [14] A. Collins and R. Halverson, *Rethinking education in the age of technology: The digital revolution and schooling in America*. Teachers College Press, 2018.
- [15] I. Lazar and I. O. Panisoara, “Understanding the role of modern technologies in education: A scoping review protocol,” *Psychreg J. Psychol*, vol. 2, pp. 74–86, 2018.
- [16] M. Lieshout, T. Egyedi, and W. Bijker, *Social Learning Technologies: The introduction of multimedia in education*. Routledge, 2018.
- [17] C. Goldin and L. F. Katz, “The race between education and technology,” in *Inequality in the 21st Century*, Routledge, 2018, pp. 49–54.
- [18] H. Hōrak, “Computer vision-based unobtrusive physical activity monitoring in school by room-level physical activity estimation: A method proposition,” *Information*, vol. 10, no. 9, p. 269, 2019.
- [19] D. Kamińska, T. Sapiński, S. Wiak, ve diğerleri, “Virtual reality and its applications in education: Survey,” *Information*, vol. 10, no. 10, p. 318, 2019.
- [20] G. Cvetkovski, L. Petkovska, P. Di Barba, ve diğerleri, “Vimela project: An innovative concept for teaching mechatronics using virtual reality,” *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 95, no. 5, pp. 18–21, 2019.
- [21] S. Minocha, *Google expeditions and lesson plans*, Dec. 2016. [Online]. Available: <https://www.shaileyminocha.info/news/2016/10/23/google-expeditions-and-lesson-plans>
- [22] A. Brown and T. Green, “Virtual reality: Low-cost tools and resources for the classroom,” *TechTrends*, vol. 60, no. 5, pp. 517–519, 2016.
- [23] C. Blyth, “Immersive technologies and language learning,” *Foreign Language Annals*, vol. 51, no. 1, pp. 225–232, 2018.
- [24] J. A. di Lanzo, A. Valentine, F. Sohel, A. Y. T. Yapp, K. C. Muparadzi, and M. Abdelmalek, “A review of the uses of virtual reality in engineering education,” *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 28, no. 3, pp. 748–763, 2020, issn: 1099-0542. doi: 10.1002/cae.22243.
- [25] T. Nadan, V. Alexandrov, R. Jamieson, and K. Watson, “Is virtual reality a memorable experience in an educational context?” *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, vol. 6, no. 1, pp. 53–57, 2011.
- [26] Y. Slavova and M. Mu, “A comparative study of the learning outcomes and experience of vr in education,” in *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, IEEE, 2018, pp. 685–686.
- [27] T. Cochrane, “Mobile vr in education: From the fringe to the mainstream,” *International Journal of Mobile and Blended Learning (IJMBL)*, vol. 8, no. 4, pp. 44–60, 2016.
- [28] B. Salah, M. H. Abidi, S. H. Mian, M. Krid, H. Alkhalefah, and A. Abdo, “Virtual reality-based engineering education to enhance manufacturing sustainability in industry 4.0,” *Sustainability*, vol. 11, no. 5, p. 1477, 2019.
- [29] M. Akçayır and G. Akçayır, “Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature,” *Educational Research Review*, vol. 20, pp. 1–11, 2017.
- [30] L. Jensen and F. Konradsen, “A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training,” *Education and Information Technologies*, vol. 23, no. 4, pp. 1515–1529, 2018.
- [31] F. Wang and M. J. Hannafin, “Design-based research and technology-enhanced learning environments,” *Educational technology research and development*, vol. 53, no. 4, pp. 5–23, 2005.

- [32] H. Macleod and C. Sinclair, "Digital learning and the changing role of the teacher," in *Encyclopedia of Educational Philosophy and Theory*, Springer Singapore, 2015, pp. 1–5.
- [33] Z. Tacgin, *Virtual and Augmented Reality: An Educational Handbook*. Cambridge Scholars Publishing, 2020.
- [34] L. Lenz, A. Richert, K. Schuster, and S. Jeschke, "Are virtual learning environments appropriate for dyscalculic students? a theoretical approach on design optimization of virtual worlds used in mixed-reality simulators," in *2015 IEEE Games Entertainment Media Conference (GEM)*, IEEE, 2015, pp. 1–8.
- [35] B. Dalgarno and M. J. Lee, "What are the learning affordances of 3-d virtual environments?" *British Journal of Educational Technology*, vol. 41, no. 1, pp. 10–32, 2010.
- [36] C. Dede, "Immersive interfaces for engagement and learning," *science*, vol. 323, no. 5910, pp. 66–69, 2009.
- [37] A. Karabulut-Ilgu, N. Jaramillo Cherez, and C. T. Jahren, "A systematic review of research on the flipped learning method in engineering education," *British Journal of Educational Technology*, vol. 49, no. 3, pp. 398–411, 2018.
- [38] J. Garzón, J. Pavón, and S. Baldiris, "Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings," *Virtual Reality*, vol. 23, no. 4, pp. 447–459, 2019.
- [39] T. Wang and D. Towey, "A mobile virtual environment game approach for improving student learning performance in integrated science classes in hong kong international schools," in *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)*, IEEE, 2013, pp. 386–388.
- [40] Y. Iidal, D. Tsutsumi, S. Saeki, Y. Ootsuka, T. Hashimoto, and R. Horie, "The effect of immersive head mounted display on a brain computer interface game," in *Advances in Affective and Pleasurable Design*, Springer, 2017, pp. 211–219.
- [41] C. Christou, "Virtual reality in education," in *Affective, interactive and cognitive methods for e-learning design: creating an optimal education experience*, IGI Global, 2010, pp. 228–243.
- [42] W. Alhalabi, "Virtual reality systems enhance students' achievements in engineering education," *Behaviour & Information Technology*, vol. 35, no. 11, pp. 919–925, 2016.
- [43] W. Huang, "Evaluating the effectiveness of headmounted display virtual reality (hmd vr) environment on students' learning for a virtual collaborative engineering assembly task," in *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, IEEE, 2018, pp. 827–829.
- [44] L. Stuchlíková, A. Kósa, P. Benko, and P. Juhász, "Virtual reality vs. reality in engineering education," in *2017 15th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, IEEE, 2017, pp. 1–6.
- [45] A. Parkinson, R. Kitchen, A.-D. Tudor, S. Minocha, and S. Tilling, "Role of smartphone-driven virtual reality field trips in inquiry-based learning," 2017.
- [46] M. N. Saadatzi, R. C. Pennington, K. C. Welch, and J. H. Graham, "Small-group technology-assisted instruction: Virtual teacher and robot peer for individuals with autism spectrum disorder," *Journal of autism and developmental disorders*, vol. 48, no. 11, pp. 3816–3830, 2018.
- [47] O. T. Laseinde, S. B. Adejuyigbe, K. Mpofu, and H. M. Campbell, "Educating tomorrows engineers: Reinforcing engineering concepts through virtual reality (vr) teaching aid," in *2015 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, IEEE, 2015, pp. 1485–1489.
- [48] E. Tanner, S. Savadatti, B. Manning, and K. Johnsen, "Usability and cognitive benefits of a mobile tracked display in virtual laboratories for engineering education," in *2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, IEEE, 2016, pp. 269–270.
- [49] M. Melatti and K. Johnsen, "Virtual reality mediated instruction and learning," in *2017 IEEE Virtual Reality Workshop on K-12 Embodied Learning through Virtual & Augmented Reality (KELVAR)*, IEEE, 2017, pp. 1–6.
- [50] I. Makarova, R. Khabibullin, E. Belyaev, and A. Bogateeva, "The application of virtual reality technologies in engineering education for the automotive industry," in *2015 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, IEEE, 2015, pp. 536–544.
- [51] M. T. Valdez, C. M. Ferreira, M. J. M. Martins, and F. M. Barbosa, "3d virtual reality experiments to promote electrical engineering education," in *2015 International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, IEEE, 2015, pp. 1–4.
- [52] A. C. M. Queiroz, A. M. Nascimento, R. Tori, and M. I. da Silva Leme, "Using hmd-based immersive virtual environments in primary/k-12 education," in *International Conference on Immersive Learning*, Springer, 2018, pp. 160–173.
- [53] D. Parmar, "Evaluating the effects of immersive embodied interaction on cognition in virtual reality," Ph.D. dissertation, Clemson University, 2017.
- [54] N. R. Herga, B. Čagran, and D. Dinevski, "Virtual laboratory in the role of dynamic visualisation for better understanding of chemistry in primary school," *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, vol. 12, no. 3, pp. 593–608, 2016.
- [55] D. Bogusevschi, C. Muntean, and G.-M. Muntean, "Teaching and learning physics using 3d virtual learning environment: A case study of combined virtual reality and virtual laboratory in secondary school," *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, vol. 39, no. 1, pp. 5–18, 2020.
- [56] P. Migkotzidis, D. Ververidis, E. Anastasovitis, ve diğçerleri, "Enhanced virtual learning spaces using applied gaming," in *International Conference on*

- Interactive Collaborative Learning*, Springer, 2018, pp. 710–721.
- [57] M. Wrzesien and M. A. Raya, “Learning in serious virtual worlds: Evaluation of learning effectiveness and appeal to students in the e-junior project,” *Computers & Education*, vol. 55, no. 1, pp. 178–187, 2010.
- [58] *About*, Oct. 2019. [Online]. Available: <https://vrschoolresearch.com/about/>.
- [59] E. Olmos-Raya, J. Ferreira-Cavalcanti, M. Contero, M. C. Castellanos, I. A. C. Giglioli, and M. Alcañiz, “Mobile virtual reality as an educational platform: A pilot study on the impact of immersion and positive emotion induction in the learning process,” *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, vol. 14, no. 6, pp. 2045–2057, 2018.
- [60] Ü. Çakiroğlu and S. Gökoğlu, “Development of fire safety behavioral skills via virtual reality,” *Computers & Education*, vol. 133, pp. 56–68, 2019.
- [61] M. T. Schultheis and A. A. Rizzo, “The application of virtual reality technology in rehabilitation,” *Rehabilitation psychology*, vol. 46, no. 3, p. 296, 2001.
- [62] H. H. Ip, S. W. Wong, D. F. Chan, ve diğerleri, “Enhance emotional and social adaptation skills for children with autism spectrum disorder: A virtual reality enabled approach,” *Computers & Education*, vol. 117, pp. 1–15, 2018.
- [63] G. Lorenzo, A. Lledó, J. Pomares, and R. Roig, “Design and application of an immersive virtual reality system to enhance emotional skills for children with autism spectrum disorders,” *Computers & Education*, vol. 98, pp. 192–205, 2016.
- [64] P. Arter, T. Brown, M. Law, J. Barna, A. Fruehan, and R. Fidiham, “Virtual reality: Improving interviewing skills in individuals with autism spectrum disorder,” in *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*, Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2018, pp. 1086–1088.
- [65] S. L. Burke, T. Bresnahan, T. Li, ve diğerleri, “Using virtual interactive training agents (vita) with adults with autism and other developmental disabilities,” *Journal of autism and developmental disorders*, vol. 48, no. 3, pp. 905–912, 2018.
- [66] M. Lombard and T. Ditton, “At the heart of it all: The concept of presence,” *Journal of computer-mediated communication*, vol. 3, no. 2, JCMC321, 1997.
- [67] W. Greenleaf, “How vr technology will transform healthcare,” in *ACM SIGGRAPH 2016 VR Village*, 2016, pp. 1–2.
- [68] M. R. Desselle, R. A. Brown, A. R. James, M. J. Midwinter, S. K. Powell, and M. A. Woodruff, “Augmented and virtual reality in surgery,” *Computing in Science & Engineering*, vol. 22, no. 3, pp. 18–26, 2020.
- [69] J. Dascal, M. Reid, W. W. IsHak, ve diğerleri, “Virtual reality and medical inpatients: A systematic review of randomized, controlled trials,” *Innovations in clinical neuroscience*, vol. 14, no. 1-2, p. 14, 2017.
- [70] D. Van Krevelen and R. Poelman, “A survey of augmented reality technologies, applications and limitations,” *International journal of virtual reality*, vol. 9, no. 2, pp. 1–20, 2010.
- [71] R. M. Satava, “Historical review of surgical simulation—a personal perspective,” *World journal of surgery*, vol. 32, no. 2, pp. 141–148, 2008.
- [72] S. L. Delp, J. P. Loan, M. G. Hoy, F. E. Zajac, E. L. Topp, and J. M. Rosen, “An interactive graphics-based model of the lower extremity to study orthopaedic surgical procedures,” *IEEE Transactions on Biomedical engineering*, vol. 37, no. 8, pp. 757–767, 1990.
- [73] R. M. Satava and H. H. Sherck, “Virtual reality surgical simulator—the first steps,” *Clinical Orthopaedics and Related Research*, no. 442, pp. 2–4, 2006.
- [74] M. Alaker, G. R. Wynn, and T. Arulampalam, “Virtual reality training in laparoscopic surgery: A systematic review & meta-analysis,” *International Journal of Surgery*, vol. 29, pp. 85–94, 2016.
- [75] N. E. Seymour, “Vr to or: A review of the evidence that virtual reality simulation improves operating room performance,” *World journal of surgery*, vol. 32, no. 2, pp. 182–188, 2008.
- [76] S. S. Y. Tan and S. K. Sarker, “Simulation in surgery: A review,” *Scottish medical journal*, vol. 56, no. 2, pp. 104–109, 2011.
- [77] K. Makiyama, H. Yamanaka, D. Ueno, ve diğerleri, “Validation of a patient-specific simulator for laparoscopic renal surgery,” *International Journal of Urology*, vol. 22, no. 6, pp. 572–576, 2015.
- [78] K. Endo, N. Sata, Y. Ishiguro, ve diğerleri, “A patient-specific surgical simulator using preoperative imaging data: An interactive simulator using a three-dimensional tactile mouse,” *Journal of Computational Surgery*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2014.
- [79] J. Eschweiler, J.-P. Stromps, M. Fischer, ve diğerleri, “Development of a biomechanical model of the wrist joint for patient-specific model guided surgical therapy planning: Part 1,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, vol. 230, no. 4, pp. 310–325, 2016.
- [80] I. Badash, K. Burt, C. A. Solorzano, and J. N. Carey, “Innovations in surgery simulation: A review of past, current and future techniques,” *Annals of Translational Medicine*, vol. 4, no. 23, pp. 453–453, Dec. 2016, issn: 23055839, 23055847. doi: 10.21037/atm.2016.12.24.
- [81] J. E. Callan, M. M. Maheu, and S. F. Bucky, “Crisis in the behavioral health classroom: Enhancing knowledge, skills, and attitudes in telehealth training,” in *Career paths in telemental health*, Springer, 2017, pp. 63–80.
- [82] C. Moro, Z. Štromberga, A. Raikos, and A. Stirling, “The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy,”

- Anatomical sciences education*, vol. 10, no. 6, pp. 549–559, 2017.
- [83] R. Mason, “Computer conferencing for managers.,” *Interactive Learning International*, vol. 8, no. 1, pp. 15–28, 1992.
- [84] C. Basdogan, S. De, J. Kim, M. Muniyandi, H. Kim, and M. A. Srinivasan, “Haptics in minimally invasive surgical simulation and training,” *IEEE computer graphics and applications*, vol. 24, no. 2, pp. 56–64, 2004.
- [85] C. Basdogan, M. Sedef, M. Harders, and S. Wesarg, “Vr-based simulators for training in minimally invasive surgery,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 27, no. 2, pp. 54–66, 2007.
- [86] K. Dockx, E. M. Bekkers, V. Van den Bergh, ve diğerleri, “Virtual reality for rehabilitation in parkinson’s disease,” *Cochrane Database of Systematic Reviews*, no. 12, 2016.
- [87] K. Gurusamy, R. Aggarwal, L. Palanivelu, and B. Davidson, “Systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of virtual reality training for laparoscopic surgery,” *Journal of British Surgery*, vol. 95, no. 9, pp. 1088–1097, 2008.
- [88] S. Barry Issenberg, W. C. Mcgaghie, E. R. Petrusa, D. Lee Gordon, and R. J. Scalese, “Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: A beme systematic review,” *Medical teacher*, vol. 27, no. 1, pp. 10–28, 2005.
- [89] Z. Nedic, J. Machotka, and A. Nafalski, *Remote laboratories versus virtual and real laboratories*. IEEE, 2003, vol. 1.
- [90] P. Piromchai, A. Avery, M. Laopaiboon, G. Kennedy, and S. O’Leary, “Virtual reality training for improving the skills needed for performing surgery of the ear, nose or throat,” *Cochrane Database of Systematic Reviews*, no. 9, 2015.
- [91] J. Rosen, B. Hannaford, C. G. Richards, and M. N. Sinanan, “Markov modeling of minimally invasive surgery based on tool/tissue interaction and force/torque signatures for evaluating surgical skills,” *IEEE transactions on Biomedical Engineering*, vol. 48, no. 5, pp. 579–591, 2001.
- [92] A. G. Gallagher, E. M. Ritter, H. Champion, ve diğerleri, “Virtual reality simulation for the operating room: Proficiency-based training as a paradigm shift in surgical skills training,” *Annals of surgery*, vol. 241, no. 2, p. 364, 2005.
- [93] R. Khan, J. Plahouras, B. C. Johnston, M. A. Scaffidi, S. C. Grover, and C. M. Walsh, “Virtual reality simulation training for health professions trainees in gastrointestinal endoscopy,” *Cochrane Database of Systematic Reviews*, no. 8, 2018.
- [94] R. K. Reznick and H. MacRae, “Teaching surgical skills—changes in the wind,” *New England Journal of Medicine*, vol. 355, no. 25, pp. 2664–2669, 2006.
- [95] J. Beqari and N. E. Seymour, “Application of technology to educational needs in surgery,” *Journal of Surgical Oncology*, vol. 124, no. 2, pp. 181–192, 2021.
- [96] S. Dargar, R. Kennedy, W. Lai, V. Arikatla, and S. De, “Towards immersive virtual reality (ivr): A route to surgical expertise,” *Journal of computational surgery*, vol. 2, no. 1, pp. 1–26, 2015.
- [97] K. A. Ericsson, R. T. Krampe, and C. Tesch-Römer, “The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance.,” *Psychological review*, vol. 100, no. 3, p. 363, 1993.
- [98] G. D. Logan, “Automaticity, resources, and memory: Theoretical controversies and practical implications,” *Human factors*, vol. 30, no. 5, pp. 583–598, 1988.
- [99] J. Rasmussen, “Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models,” *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, no. 3, pp. 257–266, 1983.
- [100] D. M. Hilty, K. Randhawa, M. M. Maheu, ve diğerleri, “A Review of Telepresence, Virtual Reality, and Augmented Reality Applied to Clinical Care,” *Journal of Technology in Behavioral Science*, vol. 5, no. 2, pp. 178–205, Jun. 2020, issn: 2366-5963. doi: 10 . 1007/s41347-020-00126-x.
- [101] F. Wang, Y. Liu, M. Tian, Y. Zhang, S. Zhang, and J. Chen, “Application of a 3d haptic virtual reality simulation system for dental crown preparation training,” in *2016 8th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME)*, IEEE, 2016, pp. 424–427.
- [102] S. F. Alfalah, J. F. Falah, T. Alfalah, M. Elfalah, N. Muhaidat, and O. Falah, “A comparative study between a virtual reality heart anatomy system and traditional medical teaching modalities,” *Virtual Reality*, vol. 23, no. 3, pp. 229–234, 2019.
- [103] A. Vankipuram, P. Khanal, A. Ashby, ve diğerleri, “Design and development of a virtual reality simulator for advanced cardiac life support training,” *IEEE journal of biomedical and health informatics*, vol. 18, no. 4, pp. 1478–1484, 2013.
- [104] B. Harrison, R. Oehmen, A. Robertson, ve diğerleri, “Through the eye of the master: The use of virtual reality in the teaching of surgical hand preparation,” in *2017 IEEE 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, IEEE, 2017, pp. 1–6.
- [105] M. Radia, M. Arunakiranthan, and D. Sibley, “A guide to eyes: Ophthalmic simulators,” *The Bulletin of the Royal College of Surgeons of England*, vol. 100, no. 4, pp. 169–171, 2018.
- [106] K. Isgin-Atici, A. Ozkan, U. Celikkan, ve diğerleri, “Usability study of a novel tool: The virtual cafeteria in nutrition education,” *Journal of Nutrition Education and Behavior*, vol. 52, no. 11, pp. 1058–1065, 2020.
- [107] Statista, *Virtual reality interest in the u.s. by age group 2015*, Jun. 2015. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/456812/virtual-reality-interest-in-the-united-states-by-age-group/>.
- [108] S. Greengard, *Virtual Reality*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2019, pp. 148–149.



- [109] P. J. Costello ve diğerleri, "Health and safety issues associated with virtual reality: A review of current literature," 1997.
- [110] B. Cebeci, U. Celikcan, and T. K. Capin, "A comprehensive study of the affective and physiological responses induced by dynamic virtual reality environments," *Computer Animation and Virtual Worlds*, vol. 30, no. 3-4, e1893, 2019.
- [111] C. Regan, "An investigation into nausea and other side-effects of head-coupled immersive virtual reality," *Virtual Reality*, vol. 1, no. 1, pp. 17–31, 1995.
- [112] E. Avan, T. K. Capin, H. Gurcay, and U. Celikcan, "Enhancing vr experience with rbf interpolation based dynamic tuning of stereoscopic rendering," *Computers & Graphics*, 2021.
- [113] J. Radianti, T. A. Majchrzak, J. Fromm, and I. Wohlgenannt, "A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda," *Computers & Education*, vol. 147, p. 103778, Apr. 2020, issn: 03601315. doi: 10.1016/j.compedu.2019.103778.
- [114] J. Q. Coburn, I. Freeman, and J. L. Salmon, "A review of the capabilities of current low-cost virtual reality technology and its potential to enhance the design process," *Journal of computing and Information Science in Engineering*, vol. 17, no. 3, 2017.
- [115] A. Baldominos, Y. Saez, and C. G. del Pozo, "An approach to physical rehabilitation using state-of-the-art virtual reality and motion tracking technologies," *Procedia Computer Science*, vol. 64, pp. 10–16, 2015.
- [116] J. P. Bliss, H. S. Hanner-Bailey, and M. W. Scerbo, "Determining the efficacy of an immersive trainer for arthroscopy skills," *Studies in health technology and informatics*, vol. 111, pp. 54–56, 2005.
- [117] M.-D. Tsai, M.-S. Hsieh, and C.-H. Tsai, "Bone drilling haptic interaction for orthopedic surgical simulator," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 37, no. 12, pp. 1709–1718, 2007.
- [118] K. Sato, S. Fukumori, T. Matsusaki, ve diğerleri, "Nonimmersive virtual reality mirror visual feedback therapy and its application for the treatment of complex regional pain syndrome: An open-label pilot study," *Pain medicine*, vol. 11, no. 4, pp. 622–629, 2010.
- [119] K. Meyerbröker and P. M. Emmelkamp, "Virtual reality exposure therapy for anxiety disorders: The state of the art," *Advanced Computational Intelligence Paradigms in Healthcare 6. Virtual Reality in Psychotherapy, Rehabilitation, and Assessment*, pp. 47– 62, 2011.
- [120] C.-Y. Shing, C.-P. Fung, T.-Y. Chuang, I.-W. Penn, and J.-L. Doong, "The study of auditory and haptic signals in a virtual reality-based hand rehabilitation system," *Robotica*, vol. 21, no. 2, pp. 211–218, 2003.
- [121] L. Li, F. Yu, D. Shi, ve diğerleri, "Application of virtual reality technology in clinical medicine," *American Journal of Translational Research*, vol. 9, no. 9, pp. 3867–3880, Sep. 2017, issn: 1943-8141.
- [122] S. P. Byeon and D. Y. Lee, "Method for real-time simulation of haptic interaction with deformable objects using gpu-based parallel computing and homogeneous hexahedral elements," *Computational Mechanics*, pp. 1–14, 2020.
- [123] Y. Tai, L. Wei, M. Xiao, ve diğerleri, "A highimmersive medical training platform using direct intraoperative data," *IEEE access*, vol. 6, pp. 69438– 69452, 2018.
- [124] A. J. Lungu, W. Swinkels, L. Claesen, P. Tu, J. Egger, and X. Chen, "A review on the applications of virtual reality, augmented reality and mixed reality in surgical simulation: An extension to different kinds of surgery," *Expert Review of Medical Devices*, vol. 18, no. 1, pp. 47–62, Jan. 2021, issn: 1743-4440, 17452422. doi: 10.1080/17434440.2021.1860750.
- [125] E. Monaghesh and A. Hajizadeh, "The role of telehealth during covid-19 outbreak: A systematic review based on current evidence," *BMC Public Health*, vol. 20, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [126] R. E. Jones and K. R. Abdelfattah, "Virtual interviews in the era of covid-19: A primer for applicants," *Journal of surgical education*, vol. 77, no. 4, pp. 733– 734, 2020.
- [127] E. C. Ellison, K. Spanknebel, S. C. Stain, ve diğerleri, "Impact of the covid-19 pandemic on surgical training and learner well-being: Report of a survey of general surgery and other surgical specialty educators," *Journal of the American College of Surgeons*, vol. 231, no. 6, pp. 613–626, 2020.
- [128] D. Vervoort, J. A. Dearani, V. A. Starnes, V. H. Thourani, and T. C. Nguyen, "Brave new world: Virtual conferencing and surgical education in the coronavirus disease 2019 era," *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, vol. 161, no. 3, pp. 748–752, 2021.
- [129] P. Milgram and F. Kishino, "A taxonomy of mixed reality visual displays," *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, vol. 77, no. 12, pp. 1321– 1329, 1994.
- [130] M. J. Schuemie, P. van der Straaten, M. Krijn, and C. A. van der Mast, "Research on Presence in Virtual Reality: A Survey," *CyberPsychology & Behavior*, vol. 4, no. 2, pp. 183–201, Apr. 2001, issn: 1094-9313, 1557-8364.