



# **SANAL GERÇEKLİK TEKNOLOJİSİ VE GELECEK ÖNGÖRÜLERİ ARAŞTIRMA RAPORU**

**BİLGİ TEKNOLOJİLERİ VE İLETİŞİM KURUMU**  
ANKARA - 2022

Hazırlanan rapor bilgilendirici mahiyette olup, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu'nun resmi görüşü olarak değerlendirilemez ve gösterilemez.

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>6</b>
<b>BÖLÜM 1: SANAL GERÇEKLIK TEKNOLOJİSİNİN TANIMI VE TARİHÇESİ .....</b>	<b>7</b>
1.1. Sanal Gerçeklik Teknolojisi Nedir?.....	7
1.2 Geçmişten Geleceğe Sanal Gerçeklik .....	8
<b>BÖLÜM 2: SANAL GERÇEKLIK İÇİN ARABİRİMLER VE KULLANILAN EKİPMANLAR .....</b>	<b>12</b>
2.1. Görme Duyusuna Yönelik Arabirimler .....	13
2.2. İşitme Duyusuna Yönelik Arabirimler .....	15
2.3. Dokunma Duyusuna Yönelik Arabirimler .....	15
2.4. Hareket İzlemeye Yönelik Arabirimler .....	16
<b>BÖLÜM 3: SANAL GERÇEKLIK SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI .....</b>	<b>17</b>
3.1. Sürükleyici Birincil Kişi .....	18
3.2. Artırılmış Sanal Gerçeklik .....	18
3.3. Pencereden İzleme.....	19
3.4. Ayna Dünyası.....	19
3.5. Waldo Dünyası .....	19
3.6. Oda Dünyası .....	19
3.7. Kabin Simülatörü Ortamı .....	20
3.8. Siber Uzay.....	20
3.9. Telebulunuş (Telepresence) .....	20
<b>BÖLÜM 4: SANAL GERÇEKLIK İLE İLGİLİ KAVRAMLAR.....</b>	<b>22</b>
4.1. Genişletilmiş Gerçeklik.....	22
4.2. Artırılmış Gerçeklik .....	23
4.3. Karma Gerçeklik .....	25
<b>BÖLÜM 5: SANAL GERÇEKLIK TEKNOLOJİSİ KULLANIM ALANLARI .....</b>	<b>28</b>
5.1. Eğitim Alanında Sanal Gerçeklik .....	28

Sanal Gerçeklik Teknolojisi ve Gelecek Öngörülerini Araştırma Raporu .....	
5.2. Sağlık Alanında Sanal Gerçeklik.....	30
5.3. Mühendislik Alanında Sanal Gerçeklik.....	31
5.4. Bankacılık ve Finans Alanında Sanal Gerçeklik.....	33
5.5. Turizm Alanında Sanal Gerçeklik .....	34
<b>BÖLÜM 6: SANAL GERÇEKLIK TEKNOLOJİSİ VE METAVERSE .....</b>	<b>35</b>
6.1. Metaverse'in Tanımı .....	35
6.2. Sanal Gerçeklik ve Metaverse.....	36
<b>BÖLÜM 7: 5G VE ÖTESİ (6G, 7G) VE SANAL GERÇEKLIK .....</b>	<b>38</b>
7.1. 5G Nedir .....	38
7.2. 6G Nedir .....	38
7.3. 7G Nedir .....	39
7.4. 5G ve Ötesinin (6G, 7G) ile Karşılaştırılması .....	39
7.5. 5G ve Ötesinin (6G, 7G) Sanal Gerçeklik ile Bağlantısı .....	40
<b>BÖLÜM 8: SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER.....</b>	<b>42</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>44</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: İlk Sanal Gerçeklik Başlığı .....	7
Şekil 2: NASA Uzay Araçları Tamir Aracı .....	10
Şekil 3: CAVE Odası .....	11
Şekil 4: HMD Görüntü Başlığı .....	13
Şekil 5: Binocular Omni Oriented Monitor .....	14
Şekil 6: Thurston ve Mattoon'un Sanal Gerçeklik İçin Doğruluk Ölçeği .....	17
Şekil 7: Sanal Kadavra .....	29
Şekil 8: Ağrı ve Acı Tedavisi .....	31
Şekil 9: Sanal Gerçeklik Teknolojisiyle Yapı Tasarımı .....	32
Şekil 10: Sanal Gerçeklik Teknolojisiyle Araç Tasarımı .....	32
Şekil 11: Bankacılık ve Finans Alanında Sanal Gerçeklik .....	33
Şekil 12: Turizm Alanında Sanal Gerçeklik .....	34

# ÖNSÖZ

Değerli okuyucular,

Son otuz yılda bilişim sektöründeki gelişmeler bilgisayar temelli uygulamaların her alanda hızla yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bilim kurgu romanları, filmler, mobil uygulamalar ve simülatörler bu ortamdan beslenmekte hatta öngörülerle desteklenmektedir. Günümüzde özellikle cep telefonu ve mobil uygulamaların gelişmesiyle kitlelere çok daha kolay ulaşan ve bireysel deneyimler yaşatabilen ve geleceği biçimlendirecek bir teknoloji olan sanal gerçeklik ile karşı karşıyayız. Yazılımlar ve özel donanımlarla oluşturulan ve insana gerçek algısı veren kurgusal ortamlar, bilişim teknolojilerinin hızlı yükselişi ile birlikte değerlendirildiğinde bu alanın çok daha gelişeceği, gelecekte daha da gerçekçi uygulamaların sunulacağı ve milyarlarca dolar büyüklüğünde bir pazar haline geleceği tahmin edilmektedir.

Bizler de Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu olarak görev ve sorumluluklarımız dâhilinde bilişim sektöründeki tüm gelişmeleri yakından takip ediyoruz. Bu bağlamda 5G ve ötesi teknolojilerle ilişkili en önemli alanlardan biri olan Sanal Gerçeklik Teknolojisinin incelendiği bu raporun Kurum olarak aynı amaca hizmet ettiğimiz paydaşlarımız ve bu konuya ilgi duyan vatandaşlarımız için faydalı bir araştırma raporu olacağına inanıyorum.

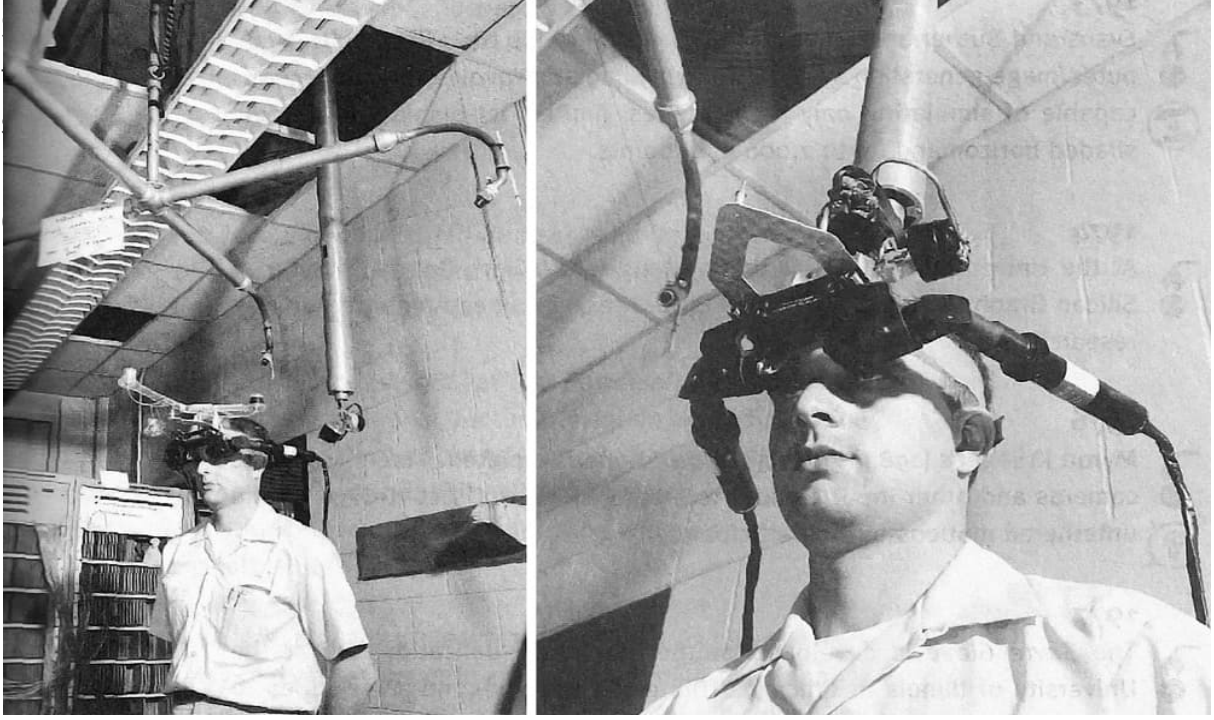
Rapor toplamda sekiz bölümden oluşmakta olup, ilk bölümde sanal gerçeklik teknolojisinin tanımı ve tarihçesi hakkında bilgiler yer alırken, ikinci bölümde ise sanal gerçeklik için kullanılan arabirimler ve ekipmanlardan bahsedilmektedir. Sanal gerçeklik sistemlerinin sınıflandırılmasını içeren üçüncü bölümü sanal gerçeklik ile ilgili kavramların yer aldığı dördüncü bölüm izlemektedir. Sanal gerçeklik teknolojisinin kullanım alanlarının açıklandığı beşinci bölüm ve sanal gerçeklik metaverse ilişkisine odaklanan altıncı bölümden sonra 5G ve ötesi ile sanal gerçeklik bağlantısını değerlendiren yedinci bölüm gelmekte, rapor sonuç ve değerlendirmeler kısmı ile sona ermektedir.

Raporumuzun siz değerli okuyucular için faydalı olması temennisiyle çalışmamızı kamuoyunun bilgilerine sunuyorum.

**Ömer Abdullah KARAGÖZOĞLU**  
Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu Başkanı

# BÖLÜM 1: SANAL GERÇEKLIK TEKNOLOJİSİNİN TANIMI VE TARİHÇESİ

## 1.1. Sanal Gerçeklik Teknolojisi Nedir?



**Şekil 1: İlk Sanal Gerçeklik Başlığı**

Sanal gerçeklik yaygın olarak gerçek hayatta var olan ya da hayal edilen yerlerin en az üç boyutlu olarak bilgisayar ile yeniden oluşturulması ve gerçek gibi bir ortamda sunulması için kullanılmaktadır. Dolayısıyla, sanal gerçeklik ile oluşturulan ortam bilgisayar tarafından yaratılmış üç boyutlu bir alandır. Kullanıcı, yapay olarak oluşturulan ortam neticesinde gerçek dünyanın devre dışı kaldığına ikna olmaktadır. Sanal gerçeklikte üç boyutlu ortamlar görüntünün yanı sıra duyma, hareket gibi diğer duylardan da yararlanmaktadır.<sup>1</sup>

Burdea ve Coiffet'e göre sanal gerçeklik, kullanıcı tarafından yapılan girişlere tepki verebilen, gerçek dünya benzeri ve dinamik bir yapıya sahip, bilgisayar tarafından oluşturulmuş bir dünya benzetimidir. Ausburn ise sanal gerçekliği, bir ortamı simüle ederek veya çoğaltarak kullanıcıya varlık duygusu ve oradaymış hissini verme ile kullanıcının bedenini kullanarak ortam ile etkileşimde bulunma biçimi olarak ifade ederken, sanal gerçeklik kavramını kısaca "gerçeğin yeniden inşa edilmesi" şeklinde betimleyen Kayabaşı; daha geniş manada "dijital ortamda oluşturulan üç boyutlu nesnelerin teknolojik araçlar vasıtası

<sup>1</sup> TiRiDi, Sanal Gerçeklik Nedir?  
<https://www.tiridi.com/sanal-gerceklik/sanal-gerceklik-nedir.html>

ile insan zihninde gerçek ortam algısını vermesinin yanı sıra bu nesnelere etkileşimde bulunmalarını sağlayan teknoloji" olarak tanımlanmaktadır.<sup>2</sup>

Yukarıdaki tanımlardan yola çıkarak sanal gerçeklik; kişilere ortamda gerçekten bulunuyormuş hissi vermek için bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak hazırlanmış, birçok duyu organına aynı anda hitap edebilen, kullanıcı ile etkileşimde bulunabilen ve çeşitli özel teknolojik araçlar kullanarak hazırlanmış sanal ortamlar şeklinde tanımlanabilir.

Şu ana dek sanal gerçeklik başta eğlence dünyasından, tıp alanındaki karmaşık bilimsel deneylere kadar pek çok uygulama alanı bulmuştur. Bu uygulamalarda sanal gerçeklik doğal olarak kendi içinde birtakım sorunları da beraberinde getirmiştir. Sanal dünyalar, gerçek zamanda ya da gerçeğe yakın bir süratle görüntülenmelidir. Bu sebeple sanal gerçeklik sistemlerinin pahalı olması yaygın kullanım açısından önemli bir dezavantaj oluşturmuştur. Dolayısıyla başlangıçta özellikle oyun ve eğlence dünyasında daha fazla uygulama olanağı bulmuştur.<sup>3</sup>

Diğer taraftan, sanal gerçeklik uygulamaları; simülasyon ya da kurgulanmış gerçeklikler yardımıyla şirketlerin çalışma biçimlerine katkı sunabilmektedir. Sanal gerçeklik ortamındaki ön çalışmalar, incelemeler ve denetimler; kurumların ihtiyaç ve analizlerini belirlemelerine yardımcı olabilmekte, zaman ve maliyet gibi belirleyici faktörlerin daha verimli biçimde kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca risklerin tespit edilmesine ve çözümlerin erken süreçte geliştirilmesine yardımcı olabilmektedir.

## 1.2 Geçmişten Geleceğe Sanal Gerçeklik

Eski Yunan'da Euclid perspektif olarak sağ ve sol gözün aynı görüntüyü farklı algıladığını belirlemiş ve "stereo" kavramını ilk defa kullanmıştır.

Charles Wheatstone, ilk stereo görüntüleyicisi olarak bilinmektedir. 1838 yılında iki boyutlu nesnelere üç boyutlu olarak gösteren stereoscope'u icat etmiştir. Charles Wheatstone'un stereoscope'u icat etmesi üzerine, David Brewster kutu şeklindeki stereoskopu, Coleman Sellers Kinematoscope'u bulmuştur.

Kinematoscope derinlik hissi oluşturmada, bu oluşum için eş resimlerden (sağ ve sol gözün bakış açısı ile aynı cismin oluşturulması) faydalanmakta, eş resimlerin bir mil etrafında döndürülmesiyle film izlenimi oluşturmaktadır.

20. yüzyılda benzetim teknolojisinin kullanılması, üç boyutlu çalışmaları daha karmaşık hale getirmiştir. Benzetim teknolojisinin ilk örneği pilotların gereksinimini karşılamak amacıyla oluşturulmuş ve "Mavi Kutu" olarak adlandırılmıştır.

<sup>2</sup> Seçkin TUNÇ, Sanal Gerçeklik Ortamlarında Kişilerin Etkileşim ve İzlenme Kaygılarının Belirlenmesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2018

[https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/239729/yokAcikBilim\\_10227679.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/239729/yokAcikBilim_10227679.pdf?sequence=-1&isAllowed=y)

<sup>3</sup> Erkan BAYRAKTAR, Fatih KALELİ, Sanal Gerçeklik ve Uygulama Alanları, Akademik Bilişim, Şubat 2007

<https://ab.org.tr/ab07/bildiri/160.pdf>

Aynı yüzyılda sanal gerçeklik kavramı, sanat alanında da çalışılmıştır. 1924 yılında Laszio MoholyNagy tarafından sanat alanında çalışmalar yapılmış, tiyatrodaki ışık, dekor, ses gibi kavramların önemi vurgulanmıştır.

1948 yılında Norbert Wiener tarafından yapılan çalışmada iletilerin insandan-makineye veya makineden-makineye aktarımı olarak tanımlanan "Cybernetics" kavramı ortaya çıkmıştır. Wiener bu kavram ile insan-makine arasındaki etkileşimin bireyin sosyal hayat kalitesini doğrudan etkileyeceğini anlatmıştır.

Ray Bradbury 1950 yılında "The Veldt" adlı sıra dışı kısa öyküsünde sanal gerçekliği anlatmış ve bu şekilde sanal gerçeklik kavramının bir anlamda öncüsü olmuştur. 1962 yılında Morton Heilig ilk sanal gerçeklik simülatorünü kullanmıştır. Üç boyutlu renkli görüntü, stereo ses, hareket, koku, hatta rüzgâr etkisi veren titreşimli bir koltuktan oluşan bu simülatöre "Sensorama" adını vermiştir.<sup>4</sup>

Kullanıcılar New York'ta motosiklet gezintisi yaparken yüzünde rüzgârı hissederek yanından geçtiği restoranlardan gelen yemek kokularını da algılayabiliyordu. Bu süreçte kullanıcılar sabit olan bir göstericiye, ekrana ya da perdeye bakarak bu deneyimi yaşıyorlardı. Heilig, bir yere mekanik olarak bağlı olmayan, bağımsız görüntü başlıkları üzerine de çalışmalarına devam etmiştir.

Bilgisayarla oluşturulan grafiğin mucidi sayılan Ivan Sutherland ise 1966 yılında iki küçük ekrandan oluşan ve kullanıcının başına takabileceği elektro-optik bir sistem geliştirmiştir. Sistem tavandan sarkan kollar nedeniyle "Demokles'in Kılıcı" olarak da anılmıştır. Sutherland çalışmalarını kamerayla çekilmiş görüntüler yerine, bilgisayarda oluşturulmuş grafik ya da görüntülerin kullanılabilirliği üzerine yoğunlaştırmıştır. Heilig ve Sutherland'in çalışmaları, günümüz modern sanal gerçeklik gözlükleri



<sup>4</sup> Şule Bıyık BAYRAM, Nurcan ÇALIŞKAN, Beceri Öğretiminde Sanal Gerçeklik, JERN 2021  
[https://www.jer-nursing.org/Content/files/sayilar/91/JERN\\_Turk-D-21-81542.pdf](https://www.jer-nursing.org/Content/files/sayilar/91/JERN_Turk-D-21-81542.pdf)

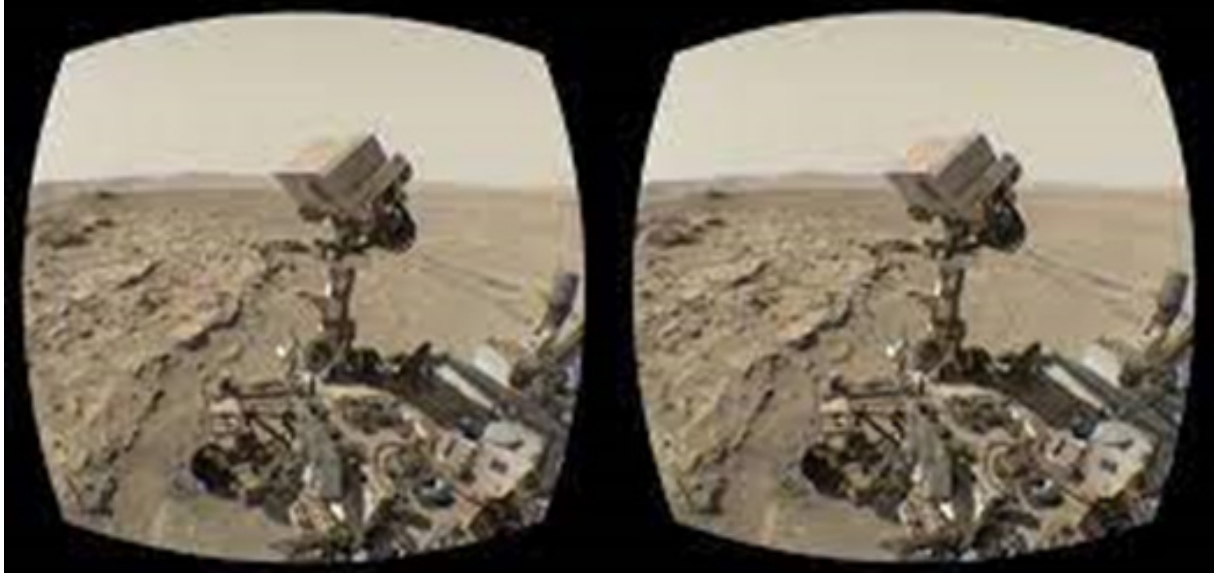
(Head Mounted Display: HMD) ve uygulamalarının temeli atılmıştır. Bu sistemlerin geliştirilmesinde en büyük destek, pilot, astronot ve askerlerin eğitimi için gerekli olan ortamları daha pratik ve ucuz karşılayabileceklerini düşünen savunma sanayiinden gelmektedir.

Birçok yeni gelişmede olduğu gibi sanal gerçeklikte de ilk ciddi çalışmalar askeri alanda olmuş olup, pilotlar ve astronotlar için uçakları ya da uzay araçlarını simüle eden sistemler sanal gerçeklik araştırmalarına yön vermiştir.

Teknolojinin ilerlemesi ile 1982 yılında siber uzay kavramı ortaya çıkmıştır. William Gibson tarafından ortaya konulan "Siberuzay" kavramı insanların bilgi tabanlı mekânı yönlendirdiği sonsuz, yapay bir dünya" olarak tanımlanmaktadır. Bilgisayar ve kullanıcısının internet ağı içinde kurduğu iletişimden doğan, sanal gerçeklik ortamını anlatan zaman-mekân sınırının ortadan kalktığı, metaforik bir soyutlamadır.

Gibson "Neuromancer" adlı bir romanda ilk defa siber uzay kavramından bahsetmiştir. Ayrıca bu kitap sanal gerçeklik, yapay zekâ ve genetik mühendisliği kavramları da yer aldığı ilk eserdir.

Sonrasında sanal gerçeklikle ilgili en önemli çalışmalar Amerikan Uzay Ajansı'nda (NASA) yapılmıştır. NASA 1980'lerde uzay araçları için montaj, tamir ve bakım gibi konularda uzaktan müdahale etme imkânlarını sanal gerçeklik teknolojileri ile desteklemiştir.<sup>5</sup>



**Şekil 2: NASA Uzay Araçları Tamir Aracı**

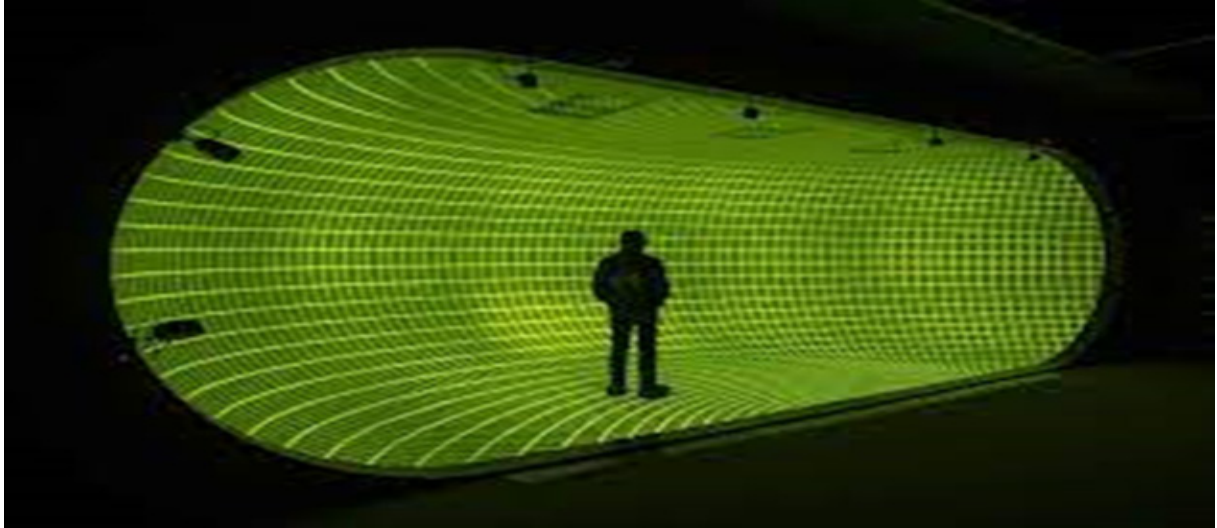
Diğer taraftan, 1981'de Tom Furness sanal bir kokpit geliştirmiştir. 1982'de Thomas Zimmerman optik algılayıcılar kullanan bir veri eldiveninin patentini almış, aynı yıl yine Thomas Furness küçük katot ışınlu tüpler kullanarak yüksek çözünürlüğe sahip bir görüntü başlığı geliştirmiştir. 1983'te The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) ilk sanal gerçeklik konferansını Seattle'da düzenlemiştir ve yine bu yıl Mark Callahan MIT'de bir görüntü başlığı yapmıştır. 1984'te Mike Mcgreevy ve Jim Humphries

<sup>5</sup> Savaş FERHAD, Dijital Dünyanın Gerçekliği, Gerçek Dünyanın Sanallığı Bir Dijital Medya Ürünü Olarak Sanal Gerçeklik, TRT Akademi, 2016  
<https://dergipark.org.tr/download/article-file/218567>

gelecekteki astronotlar için VIVED sistemini geliştirmiştir. McGreevy likit kristal görüntü ve kafanın hareketini sezmek için bir Polhemus izleyici kullanarak 1985'te bir görüntü başlığı geliştirmiştir. VPL şirketi sanal gerçeklik için donanım üretmeye başlamış, Veri eldivenleri ve LEEP video sistemli görüntü başlığının yapılmasının ardından SIGGRAPH'89 konferansında ilk kişisel bilgisayar tabanlı VR CAD sistemi sunulmuştur.

VIVED 1992 yılında Illinois Üniversitesi Elektronik Görselleştirme Laboratuvarında kişilerin içerisinde hareket edebildiği ve yürüyebildiği küp şeklinde CAVE (Otomatik Sanal Ortam) isimli sanal gerçeklik ara yüzü olan ilk sanal gerçeklik odasını geliştirmiştir. CAVE odasının duvarları projeksiyon cihazları vasıtasıyla sanal görüntülerin yansıtıldığı birer monitör şeklinde tasarlanmıştır. Sistem tek kullanıcının içeriği kullanmasını amaçlasa da, on kişiye kadar kullanıcı aynı anda sanal içeriği görebilmektedir.

1994 yılında üç boyutlu bir sahnenin geometrisini ve davranışını tanımlayan ve kullanıcının onu nasıl yönlendireceğinin belirleyen hiyerarşik sahne tanımlama dili, VRML (Virtual Reality 13 Modeling Language) tanıtılmıştır.<sup>6</sup>



**Şekil 3: CAVE Odası**

Sanal gerçeklik bütün bu gelişmelerden sonra başta video oyunları ve eğlence dünyasında olmak üzere eğitim, kültür, sanat, turizm, e-ticaret, imalat, savunma, havayolu ve inşaat alanları da dahil olmak üzere neredeyse hayatın her alanında kullanılmaya başlanmıştır.<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Seçkin TUNÇ, Sanal Gerçeklik Ortamlarında Kişilerin Etkileşim ve İzlenme Kaygılarının Belirlenmesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2018

[https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/239729/yokAcikBilim\\_10227679.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/239729/yokAcikBilim_10227679.pdf?sequence=-1&isAllowed=y)

<sup>7</sup> Şule Bıyık BAYRAM, Nurcan ÇALIŞKAN, Beceri Öğretiminde Sanal Gerçeklik, JERN 2021

[https://www.jer-nursing.org/Content/files/sayilar/91/JERN\\_Turk-D-21-81542.pdf](https://www.jer-nursing.org/Content/files/sayilar/91/JERN_Turk-D-21-81542.pdf)

## BÖLÜM 2: SANAL GERÇEKLIK İÇİN ARABİRİMLER VE KULLANILAN EKİPMANLAR

İnsan-bilgisayar etkileşimini sağlayabilmek için, kullanıcının bilgisayara komut girmesine yarayan ya da bilgisayardan kullanıcıya geri bildirim sağlayan özel olarak tasarlanmış arabirimlerin kullanılması gerekmektedir. Etkileşim sadece görme ve işitme ile değil dokunma, koku ve tat alma gibi farklı duyu aracılığıyla da olabilmektedir. Bu farklı duyuları oluşturmak için başta görme ve işitme arabirimleri yanında özel olarak tasarlanmış eldivenler ve tüm vücudu kaplayan elbiseler kullanılmaktadır. Özel olarak tasarlanmış bu giysilerin üzerinde, hem kullanıcının yaptığı hareketleri sistemin algılaması hem de sistemden gelen uyarıları kullanıcının algılamasını sağlayan algılayıcı ve uyarıcılar bulunmaktadır.

Günümüzde bu farklı insan duyularına hitap edebilen çok çeşitli özelliklerde ve çok farklı amaçlar için kullanılan sanal gerçeklik arabirimleri mevcuttur. Örneğin üç boyutlu yer takip cihazları vücut hareketlerini takip ederek bilgileri bilgisayara, bilgisayar da bu hareketlere göre gerekli görseli, sesi veya ilgili çıktıyı oluşturarak kullanıcıya göndermektedir.

Üç boyutlu algı çoğunlukla görme, işitme ve dokunma olmak üzere beş temel duyudan üçünü kullanmaktadır. İnsanlarda görme, en çok kullanılan duyudur ve sanal gerçeklikte de üç boyutlu dünya algısı oluşturmada en çok kullanılandır. İkinci en çok kullanılan duyu olan işitme, kişilere üç boyutlu dünya ile ilgili birçok ipucu vermektedir. Birçok insan bir ses duyduğunda, bu sesin geldiği yönü ve yaklaşık olarak mesafesini kolayca söyleyebilmektedir. Dokunma hissi ise ağırlık, şekil ve diğer ayrıntılarla görüntü ve sesteki oluşan sanal dünya algısını desteklemektedir. Diğer iki duyu olan tat alma ve koku alma duyularına hitap eden algılar birçok kimyasal işlem ile oluşturularak kullanılabilir.



Bir sanal gerçeklik simülasyonu, birçok değişik şekilde görüntüler, sinyaller ve uyarılar üretmeli ve bunları kullanıcıya iletmek için çeşitli görüntü ve diğer iletim araçlarını kullanmalıdır. İdeal olarak bu cihazlar ergonomik olarak tasarlanmalı ve kullanıcı için yeterli kaliteye ve çözünürlüğe sahip olmakla beraber kullanıcının algılama kabiliyetine de uygun olmalıdır. Ayrıca bu uygulamaları geliştirilenler insanın duygusal algı yeteneklerini anlamak ve görüntü, sinyal ve uyarıları doğru şekilde ve miktarda iletmenin yanı sıra bunları entegre ederek senkronize bir şekilde kullanıcılara sunmak durumundadır. Sanal gerçeklik arabirimleri yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı gibi görme, işitme ve dokunma başta olmak üzere bu üç duyunun çalışma prensipleri ile uyumlu olacak şekilde aşağıda belirlenen başlıklar altında incelenebilmektedir.

## 2.1. Görme Duyusuna Yönelik Arabirimler

Hemen hemen tüm sanal gerçeklik sistemleri göze hitap eden arabirimler kullanmaktadır. Sanal ortam görüntülerini kullanıcılara aktarmak için kullanılan görsel cihazlar, kullanıcının her iki gözüne farklı görüntüler gönderiyorsa binoküler, her iki göze de aynı görüntüyü gönderiyorsa monoküler bir cihaz olarak adlandırılmaktadır. Görsel cihazlar aynı zamanda üç boyutlu bir sahneyi kullanıcı girdilerine uygun hızda ve mümkün olan en az gecikme ile gösterebilmelidir. Görme duyusuna yönelik arabirimler aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır:

**Görüntü Başlığı (HMD):** HMD sistemleri kafaya takılan görüntü iletim cihazlarıdır. Bu cihazlar bir kask ve kişinin her bir gözünün önüne gelecek şekilde bir çift küçük CRT veya LCD ekrandan oluşmaktadır. Ekranlardaki görüş alanı optik sistem tarafından sağ gözün önündeki ekranda nesnenin sağ gözün göreceği şekli, sol gözün önündeki ekranda da nesnenin sol gözün göreceği şekli göstererek kişinin sanki birkaç metre önündeymiş gibi canlandırmaktadır.

Son zamanlarda teknik özellikleri iyice geliştirilen bazı sistemlerde bir gözlük benzeri yapı da kişinin gözüne takılabilmektedir. Bu sayede görüntüler üç boyutlu olarak algılanmaktadır. HMD sistemleri tam çevreleyen ortamlarda etkileşim için görüntüleme koşullarını kolaylaştırmaktadır, ancak başlığın kafaya takılması sebebiyle görüş alanını daraltmakta ve diğer doğal sınırlamalar meydana gelmektedir. Bu kısıtlamalara rağmen HMD sistemleri sanal ortamlarla etkileşim kurmak için hala güçlü bir alternatif olmakta ve psikolojik araştırmalar ile eğitim ve bilim alanlarında önemli katkılar sunma potansiyeline sahip görünmektedir.



**Şekil 4: HMD Görüntü Başlığı**

**Binocular Omni Oriented Monitor (BOOM):** Görme duyusuna yönelik diğer bir arabirim olan BOOM da aynı HMD gibi gözlerin önündeki iki ekran vasıtasıyla sanal ortamı görüntülemektedir. Ancak HMD'den farklı olarak bu ekranlar HMD'deki gibi kafaya takılmak yerine bükülebilen mekanik bir kol üzerinde takılı dürbün şeklindedir. Bu kol vasıtasıyla hem havada asılı durabilmekte hem de uzaydaki konumu tespit edebilmektedir. Ayrıca sanal gerçeklik deneyimi süresince sanal ortamda hareket edebilmek için kullanıcının BOOM cihazını manuel olarak tutması ve hareket ettirmesi gerekmektedir.



**Şekil 5: Binocular Omni Oriented Monitor**

**Cave Automatic Virtual Environment (CAVE):** Görme duyusuna yönelik diğer bir cihaz da kullanıcıyı tümüyle çevreleyen küp şeklinde bir görüntüleyici olan CAVE'dir. Son gelişmeler ile birlikte kafaya takılan bir takip cihazı yardımı ile kullanıcı hareket ettikçe konumuna göre görüntü yeniden oluşturularak doğru bir perspektif elde edilmektedir. CAVE görüntü alanı kullanıcı konumuna göre değişmekle birlikte küpün her bir yüzeyindeki görüntü bir araya gelerek toplamda 360 derecelik bir bütün meydana getirmektedir. Dolayısıyla HMD ve BOOM daha kısıtlı bir görüntü verirken, CAVE maksimum bir görüş açısı verebilmektedir. CAVE'in bazı diğer avantajları ise;

- Kullanıcının görüntüyü bir ekrandan izlemek yerine, fiziksel olarak kendisi görüntünün içinde yer alarak daha gerçek bir deneyim yaşayabilmesi,
- Başlık, kablo, hareket ettirmesi gereken cihaz gibi araçlara bağımlı kalmadan sadece üç boyut gözlüğü kullanması,
- Küpün içerisinde istediği gibi hareket edebilmesi,
- Aynı anda birden fazla kişinin sistemi kullanabilmesidir.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Seçkin TUNÇ, Sanal Gerçeklik Ortamlarında Kişilerin Etkileşim ve İzlenme Kaygılarının Belirlenmesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2018  
[https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/239729/yokAcikBilim\\_10227679.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/239729/yokAcikBilim_10227679.pdf?sequence=-1&isAllowed=y)

## 2.2. İşitme Duyusuna Yönelik Arabirimler

Sanal gerçeklik sistemlerinin görme ve dokunma duyularını canlandırması yanında ses algısı da gerçek dünyaya göre simüle edilebilmektedir. Bir diğer deyişle sanal gerçeklik gözlüklerinin fiziki yapısı üzerine yerleştirilmiş kulaklık sistemleri sayesinde kullanıcı, çevresel ses deneyimi yaşayabilmektedir. Üç boyutlu ses olarak da adlandırılan sesin yön bilgisi, görsel tasarıma bağlı olarak yapılmaktadır. Kullanıcı görüntüde gördüğü nesnelere gelen sesleri karşısında duyarken göremediği alanlardaki sesleri ise arkasında ve yanlarda duymaktadır. Başını sesin geldiği yöne doğru çevirdiğinde hem sesin kaynağını karşısında görebilmekte hem de sesini karşıdan duyabilmektedir. Ses perspektifi dediğimiz bu olgu, tamamen görüntünün kullanıcı üzerinde yarattığı yön duygusu üzerine tasarlanmaktadır. Sanal gerçeklik içeriklerinde sesler özel tasarlanmış kulaklık ve hoparlör sistemleriyle kullanıcıya iletilmektedir. Eğer kullanıcı kask tipi HMD kullanıyorsa kulaklık sistemi tercih edilmektedir. Bu kulaklıklar, sanal gerçeklik gözlüğünün tasarımına göre yapısal değişiklikler gösterebilmektedir.<sup>9</sup>

## 2.3. Dokunma Duyusuna Yönelik Arabirimler

Günlük yaşamda en çok kullanılan duyulardan biri de dokunma duyusudur. Yemekten yürümeye, yazı yazmaktan oturmaya, el sıkışmaktan telefon kullanmaya günlük hayatımızın çok büyük bir bölümü dokunmayı gerektirmektedir. Sanal gerçeklik içeriklerinde dokunma hissini yaşayabilmek için kullanılan donanımlardan biri de özel tasarlanmış veri eldivenleridir. Bu eldivenler el ve parmak hareketleri ile dokunma yüzeylerini algılayabilen sensörlerle donatılmışlardır. Bu eldivenler sayesinde sistem kullanıcının eliyle yaptığı her tür hareketi görüntüyle özdeşleştirerek simüle etmektedir. Kullanıcı görüntüde gördüğü bir cisimle etkileşime girerek onu tanımlayabilir, sanal olarak kavrayıp eline alabilir ve istediği bir yere gerçek hayattaki gibi bırakabilir.

Dokunma duygusu için ağırlıklı olarak eldivenler kullanılmakla birlikte beden giysileri de mevcuttur. Dokunma hissini uyandıran küçük titreşim cihazlarıyla donatılmış bütün bedeni kapsayan özel giysiler sayesinde kullanıcıların bedeninin herhangi bir yerinde yanma, çarpma, uyarılma hissi oluşturulabilmektedir.

Bu giysiler, sanal gerçeklik senaryosu içinde kullanıcıya çarpan bir nesnenin ya da vuran birinin vurma etkisini o noktada hafif veya duruma göre can yakıcı fiziksel bir etkiye çevirecek şekilde sisteme ileterek etkileşim sağlayan algılayıcılarla da donatılmıştır. Bedeni saran bu kıyafetler hâlihazırda çoğunlukla özel polis ve askerî birliklerin eğitimlerinde kullanılmaktadır.

Bu sistemler sayesinde herhangi bir vuruşun şiddeti, kullanıcının bedenindeki uygulama noktasına göre değerlendirilip ölümcül bir vuruş olup olmadığı kullanıcıya hissettirilebilmektedir. Sanal yaralanma durumunda bedenin hangi bölgesinde nasıl bir sorun oluşturacağı bile bu simülasyonda bir veri olarak

<sup>9</sup> Savaş FERHAD, Dijital Dünyanın Gerçekliği, Gerçek Dünyanın Sanallığı, Bir Dijital Medya Ürünü Olarak Sanal Gerçeklik, TRT Akademi, Sayı 2 Temmuz 2016

<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/218567>

kullanılabilmektedir. Örneğin bacağından vurulan kimsenin kolaylıkla yürüyememesi gibi etkiler kullanıcıya aktararak gerçeklik hissi üst seviyeye çıkartılmaktadır.

## 2.4. Hareket İzlemeye Yönelik Arabirimler

Kullanıcı ile bilgisayar etkileşimini sağlamak üzere kullanıcının komutlarını bilgisayara girmek ve simülasyondan kullanıcıya geri bildirim sağlamak için çeşitli özel arabirimler kullanılmalıdır. Sanal gerçeklik sisteminin kullanıcıdan gelen etkilere tepki verebilmesi gerekmektedir. Örneğin, HMD kullanarak sanal dünyada gezen bir kullanıcı kafasını başka yöne çevirdiğinde, görüntü de değişmelidir. Temel olarak izleme aygıtlarının görevi kullanıcının uzaydaki konumunu ve yönünü belirlemektir.

Burdea ve Coiffet'e göre izleme cihazları beş grupta incelenebilir:

- Sensörlü bağlantı noktalarına sahip mekanik izleyiciler,
- Hareketli nesnenin gerçek zamanlı konumunu belirlemek için manyetik alan kullanan manyetik izleyiciler,
- Sabit bir noktadan ses dalgaları yayarak konum belirleyen ultrasonik izleyiciler,
- Optik algılama teknikleri kullanarak gerçek zamanlı konum belirleyen optik izleyiciler,
- Yukarıdaki yöntemlerden birkaçını bir arada kullanan karma izleyiciler.

Bu tip izleyiciler hemen hemen bütün sanal gerçeklik araçlarına monte edilmiştir.



## BÖLÜM 3: SANAL GERÇEKLIK SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Sanal gerçeklik sistemlerinin sınıflandırması söz konusu olduğunda literatürde birden fazla yöntemin olduğu görülmektedir. Sınıflandırmalar, kullanıcının etkileşim şekline veya kullanılan metot ve ekipmana göre farklı biçimlerde yapılabilmektedir.

Sanal gerçeklik sınıflandırması konusunda bilinen en eski tanımlardan biri, Jacobson tarafından yapılmış ve sanal gerçeklik kavramı dört sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar; çevreleyen sanal gerçeklik, masaüstü sanal gerçeklik, projeksiyon sanal gerçeklik ve simülasyon sanal gerçeklik olarak bilinmektedir.<sup>10</sup>

Sınıflandırma konusunda ilerleyen zamanlarda çalışma gerçekleştiren Thurman ve Mattoon ise sınıflandırma yapabilmek için gerçeklikle ilişkilendirilen bir ölçek kullanmışlardır. Kullanılan ölçek, uygulamanın fiziksel gerçekliğe ne kadar yakın olduğuna bağlı olarak farklı sanal gerçeklik türleri arasında ayırım yapmaya yardımcı olmaktadır. Doğru şeklinde uzanan ölçeğin sol ucu somut, sağ ucu ise soyut fikirleri temsil etmektedir. Şekil 6'da da gösterildiği üzere ölçeğin sol ucu fiziksel yasalara karşılık gelen gerçek dünyayı örneklerken, sağ ucu ise tamamen yeni ve gerçek dünyada benzeri olmayan fikirleri örneklemektedir. Thurman ve Mattoon ayrıca, insanların sisteme entegre edilmelerine odaklanan bir "bütünleşme boyutu" da tanımlamaktadır. Bu boyut; toplu işleme, paylaşılan kontrol ve toplam dâhil etme kategorilerini içerirken kategoriler insan-bilgisayar entegrasyonunun dönemlerini temsil etmektedir.<sup>11</sup>



**Şekil 6: Thurston ve Mattoon'un Sanal Gerçeklik İçin Doğruluk Ölçeği**

Bir başka sınıflandırma ise Brill tarafından yapılmıştır. Donanım ve yazılım türlerini bir arada inceleyen Brill modeline Mclellan tarafından güncellemeler getirilmiş olup nihayetinde dokuz farklı sanal gerçeklik türü oluşturulmuştur. Bu türler; sürükleyici birincil kişi, artırılmış gerçeklik, pencereden izleme, ayna dünyası, Waldo dünyası, oda dünyası, kabin simülatörü ortamı, siber uzay ve telebulunuş olarak bilinmektedir.<sup>12</sup>

<sup>10</sup> KILLIOĞLU Süleyman, Sanal Gerçekliğin Türkiye Madencilik Endüstrisinde Kullanılabilirliği, Hacettepe Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2013

<http://www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11655/2831/8e98460a-3a33-41b1-9d47-e37daafbdfea.pdf?sequence=1>

<sup>11</sup> MCLELLAN Hillary, Virtual Reality

<http://members.aect.org/edtech/ed1/pdf/15.pdf>

<sup>12</sup> MCLELLAN Hillary, Virtual Reality

<http://members.aect.org/edtech/ed1/pdf/15.pdf>

Brill'in sanal gerçeklik kategorilerinden bazıları fiziksel olarak sürükleyiciyken bazıları değildir. Tüm sanal gerçeklik sistemlerinin temel özelliği, kullanıcının kendisini fiziksel, algısal ve psikolojik olarak içinde hissettiği, bilgisayar veya diğer medya tarafından oluşturulan bir ortam sağlamalarıdır. Sanal gerçeklik sistemleri, kullanıcıların bilgisayar tarafından oluşturulan yapay alanlarda katılımcı olmalarını sağlamaktadır. Bu kapsamda dokuz başlık altında toplanan sınıflandırmalar aşağıdaki şekilde açıklanabilmektedir:<sup>13</sup>

### **3.1. Sürükleyici Birincil Kişi**

Sürükleyici birincil kişi sanal gerçeklik denildiğinde genellikle kafaya takılan ekranlar, fiber optik kablolu eldivenler, konum izleme cihazları ve üç boyutlu ses sağlayan ses sistemleri gibi sürükleyici sistemler akla gelmektedir. Bu tür sanal gerçeklikte bu ekipmanlardan yararlanılarak kullanıcının gerçeklik hissini artırılması amaçlanmaktadır. Bir başka deyişle kullanıcının sanal dünyada herhangi bir nesne ile girdiği etkileşim hissi bahse konu cihazlar ile gerçekleştirilmektedir.

### **3.2. Artırılmış Sanal Gerçeklik**

Sürükleyici birincil kişi sanal gerçekliğin bir varyasyonu olarak tanımlanan artırılmış sanal gerçeklik, belirli özellikleri vurgulamak ve anlayışı geliştirmek için bilgisayar grafiklerinin kullanılmasıdır. Gerçek dünyadaki algının artırılması ile ilgili bir sistem olan artırılmış sanal gerçeklikten özellikle havacılık ve tıbbi alanlarda yararlanılmaktadır.



<sup>13</sup> ARLENE Strulle, Differentiation Of The Causal Characteristics And Influences Of Virtual Reality and The Effects On Learning At A Science Exhibit,2004  
<https://digital.sandiego.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1733&context=dissertations>

### 3.3. Pencereden İzleme

Masaüstü sanal gerçeklik olarak da bilinen pencereden izleme türünde kullanıcı, bilgisayar ekranından üç boyutlu dünyayı görerek fare gibi bir kontrol cihazı ile bu dünyada gezinebilmektedir. Sürükleyici sanal gerçeklik gibi bu tür de birinci şahıs deneyimi sağlamaktadır. Bu türün en önemli örnekleri arasında video oyunları gelmektedir.

Kullanıcı, kullanmış olduğu cihazlar ile sanal gerçekliğin bir uzantısı halini almaktadır. Sanal gerçekliğin ortaya çıkmış olduğu zamanlardan beri ilgi gören bir tür olan pencereden izleme, günümüzde akıllı telefonların ve tabletlerin kullanımının yaygınlaşması ile birlikte sanal gerçeklikte en çok kullanılan ve karşılaşılan türlerin başında gelmektedir.

### 3.4. Ayna Dünyası

Birinci şahıs sistemlerinin aksine ayna dünyası (yansıtılmış gerçeklikler), izleyicinin hayali dünyanın dışında durduğu ancak içindeki karakterler veya nesnelere iletişim kurabildiği ikincil şahıs deneyimi sağlamaktadır. Ayna dünyası sistemleri giriş aygıtı olarak bir video kamera kullanılmaktadır. Kullanıcılar, görüntülerini videoya yansıtılmış görüntüde sunulan sanal bir dünyayla birleştirilmiş olarak görebilmektedirler. Kullanılan bir sayısallaştırıcı sayesinde kullanıcıların konumları, hareketleri veya fiziksel bilgileri gibi özellikleri bu dünyaya aktarılabilir. Bu tür sistemler başlık, eldiven veya diğer arayüzleri gerektirmemesinden dolayı ekonomik yönden daha uygun olarak değerlendirilmektedir.

Ayna dünya türü ile oluşturulan sanal dünyalar pek çok farklı alanda kullanılmaktadır. Bu alanlardan en önemlileri arasında tatil yerleri ve müzeler gibi gezilerek görülmesi gereken ortamlara yönelik uygulanan sanal turlar yer almaktadır.

### 3.5. Waldo Dünyası

Waldo Dünyası olarak bilinen tür, ismini, Robert Heinlein'in 1965 tarihli bir bilim kurgu öyküsünden almıştır. Sanal karakterler veya sanal animasyon olarak da bilinmektedir. Hareketi algılayan sensörlerle donatılmış elektronik bir maske veya vücudu kaplayan bir giysi giyen kullanıcı, gerçek zamanlı olarak bir bilgisayar animasyon figürünü veya bir robotu kontrol etmektedir. Waldo Dünyası türünün ilk örneklerinden birini SimGraphics Engineering tarafından geliştirilen Virtual Actors™ oluşturmaktadır. Virtual Actors™, gerçek zamanlı-olarak bilgisayar tarafından oluşturulan animasyonlu karakterlerin insan aktörler tarafından kontrol edilmesi şeklinde özetlenmektedir.

### 3.6. Oda Dünyası

Mağara sistemi olarak da adlandırılabilen oda dünyası türünde, kullanıcılara sanal bir dünya içinde sürükleyici sanal gerçeklik sistemlerine oranla daha özgür hareket hissi verilmektedir. Birkaç bilgisayar tarafından kontrol edilen ve küçük bir sanal gerçeklik projeksiyon tiyatrosunu andıran bu türde, duvarlara yansıtılan görüntüler ve kullanıcının takmış olduğu başa takılan cihazlar sayesinde üç boyutlu görüntüler

oluşmakta ve dahil olma hissi artırılmaktadır. Bu sistemlerden ilkinin, Illinois Üniversitesi Elektronik Görseleştirme Laboratuvarında geliştirilen CAVE oluşturmaktadır. CAVE, görüntülerin yansıtılabileceği üç duvar ve bir zeminden oluşmaktadır. CAVE, birinci şahıs deneyimi sağlarken kullanıcı ekran sınırları içinde hareket ettikçe (bir konum sensörü ve üç boyutlu gözlük takarak) görüntü de kullanıcı ile birlikte hareket ederek kullanıcıyı çevrelemektedir.

### **3.7. Kabin Simülasyonu Ortamı**

Kabin simülasyonu ortamı aslında geleneksel simülasyonun bir uzantısı olan birincil şahıs sanal gerçekliğin türüdür. Bir veya birden fazla kişi tarafından kullanılabilen ortam, sanal gerçekliğin eğlence veya deneyim simülasyonu biçimi olarak tanımlanmaktadır. Oluşturulan sanal ortamda var olma hissi; görüş alanından daha büyük görsel öğeler, üç boyutlu sesler, bilgisayar kontrollü hareket tabanları sayesinde verilmektedir.

Kabin simülasyonları eğitim ve eğlence amaçlı kullanılabilir. Bu durumun örneklerini; polis memurlarının yüksek hızlı ve tehlikeli koşullar altında sürüş pratiği yapmaları için geliştirilen kabin simülasyonları, uçuş simülasyonları veya askeri eğitimler için oluşturulan simülasyonlar oluşturmaktadır.

### **3.8. Siber Uzay**

William Gibson tarafından geniş bilgisayar ağları ve veri tabanlarının egemen olduğu bir geleceği anlatan bilim kurgu romanı Neuromancer'da kullanılan siber uzay terimi, ağ bağlantılı bilgisayarlar aracılığıyla birçok kişi tarafından aynı anda ziyaret edilebilen küresel bir yapay gerçeklik olarak bilinmektedir. Siber uzay aynı zamanda bir bilgisayar ağına veya elektronik veri tabanına bağlı olunan yer olarak da tanımlanmaktadır. Önceleri belirli bir kullanıcının erişebildiği siber uzay, gelişen teknoloji ve küresel çapta yaygınlaşan internet kullanımı ile birlikte herkesin erişimine açık bir sanal gerçeklik sistemi haline almıştır.

### **3.9. Telebulunuş (Telepresence)**

Siber uzay kavramı, gerçekte bulunulan yerden başka bir yerde olma hissi olan telebulunuş kavramıyla bağlantılıdır. Bununla ilgili olarak telebulunuş, bir robotu veya başka bir cihazı uzaktan kontrol edebilme anlamı taşımaktadır.

NASA, Antarktika'ya konuşlandırılan Telebulunuş Kontrollü Uzaktan Kumandalı Sualtı Aracı (TROV) ile bağlantılı olarak bir eğitim programı uygulamıştır. NASA'da geliştirilen dağıtılmış bir bilgisayar kontrol mimarisi sayesinde, ABD'de sınıflardaki okul çocukları, Antarktika'da TROV'u sırayla kullanabilmişlerdir.

Tüm bu sınıflandırmalara ek olarak başka bir sınıflandırma ise kullanıcı etkileşim şekillerine göre yapılmış olup, günümüzde fazlaca kullanılmaktadır. Bu sınıflandırma en genel hali ile üç kategoriye ayrılmıştır; bu kategoriler; yarı sürükleyici sanal gerçeklik, sürükleyici sanal gerçeklik ve sürükleyici olmayan sanal gerçeklik olarak bilinmektedir. Sınıflandırma yapılan kategoriler ise aşağıdaki şekilde açıklanabilmektedir:

**Yarı Sürükleyici Sanal Gerçeklik:** Kullanıcılara kısmen sanal bir ortam sağlayan sanal gerçeklik türüdür. Bu tür sanal gerçeklikte kullanıcılar dijital görüntüye odaklandıklarında farklı bir gerçeklikte olduklarını algılamakta, ancak fiziksel çevrelerine de bağlı kalmaya devam etmektedirler. Yarı sürükleyici teknolojide, dikey gerçeklik derinliği olarak bilinen bir terim olan üç boyutlu grafikler aracılığıyla gerçekçilik sağlanmaktadır. Daha ayrıntılı grafikler, daha sürükleyici bir his sağlamaktadır. Bu sanal gerçeklik kategorisi genellikle eğitim-öğretim amaçları için kullanılırken yüksek çözünürlüklü ekranlar, güçlü bilgisayarlar, projektörler kullanılmaktadır.

**Sürükleyici Sanal Gerçeklik:** Sürükleyici sanal gerçeklik, kullanıcılara görsel ve ses konusunda eksiksiz en gerçekçi simülasyon deneyimini sunmaktadır. Tamamen sürükleyici sanal gerçekliği deneyimlemek ve onunla etkileşim kurmak için kullanıcının uygun sanal gerçeklik gözlüğüne, eldivene veya başa takılan ekrana ihtiyacı vardır. Sanal gerçeklik ekranı, geniş bir görüş alanı ile yüksek çözünürlüklü içerik sağlamaktadır. Ekran tipik olarak kullanıcının gözleri arasında bölünerek stereoskopik bir üç boyut efekti oluşturmaktadır. Bu tür sanal gerçeklikler, oyun ve diğer eğlence amaçları için yaygın olarak kullanılmaktadır ancak eğitimde de kullanımı giderek yaygınlaşmıştır.

**Sürükleyici Olmayan Sanal Gerçeklik:** Sürükleyici olmayan sanal gerçeklik, günlük yaşamda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknolojide bilgisayar tarafından oluşturulan bir sanal ortam bulunmasına rağmen kullanıcı bu sanal ortam ile doğrudan etkileşimde bulunmamakta, bahsi geçen ortamla dışardan bağlantı kurmaktadır. Video oyunları sürükleyici olmayan sanal gerçeklik deneyiminin en güzel örneklerini oluşturmaktadır Sürükleyici olmayan sanal gerçeklik sistemlerinin kullanıcı ile etkileşimi oyun konsolu, ekran, klavye ve fare gibi giriş aygıtları vasıtasıyla olmaktadır.



## BÖLÜM 4: SANAL GERÇEKLIK İLE İLGİLİ KAVRAMLAR

Son yıllarda adından sıkça söz ettiren sanal gerçeklik ile birlikte artırılmış ve karma gerçeklik terimleri de öne çıkmaktadır. Birbirlerinin yerine de sıklıkla kullanılabilen bu kavramlar benzerlik gösterebilirler ancak esasen birbirlerinden çok farklıdır. Kullanım alanları ve teknolojileri konusunda çalışmaları hala devam eden bu teknolojiler, geleceğin teknolojileri olarak da bilinmektedir.

Sanal, artırılmış ve karma gerçekliği içeren fakat bunlarla sınırlı olmayan bir diğer kavram ise genişletilmiş gerçekliktir. Genişletilmiş gerçeklik tüm bu teknolojileri barındıran şemsiye bir kavram olup; sanal, artırılmış ve karma gerçekliğin bir üst kümesini oluşturmaktadır.

### 4.1. Genişletilmiş Gerçeklik

Tüm sürükleyici teknolojilerin bir araya geldiği teknoloji olarak bilinen genişletilmiş gerçeklik; sanal ve gerçek dünya ile insan makine etkileşiminin birleşimi olarak tanımlanmaktadır. Genişletilmiş gerçeklik; sanal, artırılmış ve karma gerçeklik kavramlarını içeren ancak bunlarla sınırlı olmayan; gelecekte üretilecek buna benzer teknolojileri de içeren bir terimdir. Genişletilmiş gerçeklik terimi herhangi bir özel teknolojiye atıfta bulunmazken; dijital ve fiziksel dünyayı harmanlayarak veya tamamen sanal bir ortam oluşturarak gerçekliği değiştiren, mevcut veya gelecekte oluşturulacak yeni teknolojileri içermektedir.

Genişletilmiş gerçeklik teknolojisinin gelecekteki başarısında kullanıcı deneyiminin büyük rol oynaması beklenmektedir. Genişletilmiş gerçeklik teknolojisinde görüntüleme ara yüzü, gerçeklikler arasında sorunsuz geçişe izin veren daha zengin görsel içeriklerle geliştirilmelidir. Artırılmış gerçekliklerdeki sanal nesnelere, aynı görünümdeki gerçek nesnelere ayırt edilemez olmalıdır.<sup>14</sup>



<sup>14</sup> A study commissioned by the ICRC Innovation Board, 2018  
<https://blogs.icrc.org/inspired/wp-content/uploads/sites/107/2019/10/Extended-Reality-Report-BRIEF.pdf>

## 4.2. Artırılmış Gerçeklik

Günümüzün en büyük teknoloji trendleri arasında sayılan artırılmış gerçeklik kavramı esasen sayısal görsel öğeler, ses veya diğer duyuşsal uyarıların kullanımıyla elde edilen ve teknoloji aracılığıyla sağlanan gerçek fiziksel dünyanın geliştirilmiş bir versiyonudur.

Artırılmış gerçeklik hem gerçek dünya unsurları hem de sanal gerçekliği içeren bir ortamdır. Artırılmış gerçekliğin birincil hedeflerinden biri, fiziksel dünyanın belirli özelliklerini vurgulamak, bu özelliklerin daha iyi anlaşılmasını sağlamak, gerçek dünya uygulamalarına uygulanabilecek erişilebilir iç görüler elde etmek ve kullanıcıların gerçek ortama bakış açısını iyileştirmektir.

Artırılmış gerçekliğin tarihine bakıldığında 1960'lı yıllara dayandığı görülmektedir. 1992 yılında ise Tom Caudell, artırılmış gerçeklik olarak bildiğimiz kavramı ilk kez kullanmıştır. Caudell uçak firması Boeing'in teknikerlerinin faydalanması amacıyla elektrik kablolarının takılmasına yönelik bir artırılmış gerçeklik uygulaması geliştirmiştir.

Sanal gerçeklikten farklı olarak artırılmış gerçeklik, gerçek dünyaya sanal nesnelere yerleştirerek mevcut gerçek dünya ortamını kullanmaktadır. Sanal gerçeklikte kullanıcılar genellikle bilgisayarlar tarafından oluşturulmuş sanal bir ortamda bulunurken, artırılmış gerçeklikte gerçek dünya deneyiminin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Artırılmış gerçeklik, doğal ortamları bir şekilde görsel olarak değiştirmek veya kullanıcılara ek bilgi sağlamak için kullanılmaktadır. Artırılmış gerçeklik, dijital ve üç boyutlu bileşenleri bireyin gerçek dünya algısıyla harmanlamayı başarmaktadır.<sup>15</sup>

Artırılmış gerçeklik sistemlerinin oluşturulması için gerçek ve sanal ortamın birleşimi gerekmektedir. Bu birleşimin sağlanmasında ekran teknolojisine ihtiyaç duyulmaktadır. Ekran teknolojileri optik şeffaf, video şeffaf, sanal retina sistemleri ve monitör tabanlı artırılmış gerçeklik sistemleri olarak bilinmektedir. Ekran teknolojilerinin açıklamaları ise aşağıdaki şekilde yapılabilmektedir:

**Optik Şeffaf Başa Takılan Ekran:** Bu sistemde sanal ortamı doğrudan gerçek dünya üzerinde göstermek için şeffaf ve başa monte edilen ekran kullanılmaktadır. Optik birleştiriciler, kullanıcının gözünün önüne yerleştirilerek çalışmaktadır. Bu birleştiriciler kısmen aktarıcıdır, böylece kullanıcı gerçek dünyayı görmek için doğrudan bunlara bakabilmektedir. Birleştiriciler ayrıca kısmen yansıtıcıdır; böylece kullanıcı, başa takılan ekranlara birleştiricilerden yansıyan sanal görüntüleri de görebilmektedir.

**Video Şeffaf Başa Takılan Ekran:** Video şeffaf başa takılan ekranlar başa takılan kapalı görüşlü ekranlara eklenen bir veya iki kamera ile kullanıcıya gerçek dünya ve sanal dünyanın birleşik görünümünü veren ekranlardır. Bu yaklaşım, optik şeffaf artırılmış gerçeklik sistemine göre biraz daha karmaşıktır ve kameraların uygun şekilde konumlandırılması gerekmektedir.

**Sanal Retina Sistemleri:** 1991 yılında Washington Üniversitesi'nde İnsan Arayüzü Teknoloji Laboratuvarı'nda üretilmiştir. Tam renkli, geniş görüş alanı sağlayan, yüksek çözünürlüklü, yüksek parlaklık

15 R. SİLVA, J. C. OLIVEIRA, G. A. GIRALDI, Introduction to Augmented Reality  
<https://www.lncc.br/~jauvane/papers/RelatorioTecnicoLNCC-2503.pdf>

ve düşük maliyetli sanal görüntü üretmek amaçlanmıştır. Sanal retina ekranında görüntü üretmek için doğrudan retina üzerine bir ışık huzmesi yansıtılmakta ve görüntü bir ekranda değil gözün retinasında oluşturulmaktadır.

**Monitör Tabanlı Artırılmış Gerçeklik:** Monitör tabanlı artırılmış gerçeklik, birleştirilmiş video akışlarını kullanır ancak ekran daha geleneksel bir masaüstü monitör veya elde tutulan bir ekrandan oluşmaktadır. Görüntüleme cihazları kullanıcı tarafından takılmaz ancak görüntüler monitörde sunulurken kullanıcının gözlük gibi bir görüntüleme cihazını takması gerekebilmektedir.<sup>16</sup>

Artırılmış Gerçeklik teknolojisinin eğlence, eğitim, tıp ve imalat dâhil olmak üzere çok çeşitli alanlarda birçok olası kullanımı mevcuttur. Bu teknolojinin yaygınlaşmasıyla birlikte diğer potansiyel uygulama alanlarının ortaya çıkması beklenmektedir. Artırılmış gerçeklik teknolojisinin farklı alanlardaki kullanım örnekleri aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir:

**Tip:** Görüntüleme teknolojisinin tıp alanında kullanımının çok yaygın oluşu, bu alanda artırılmış gerçeklik sistemlerinin kullanımının gelişmesini de mümkün hale getirmektedir. Özellikle ameliyat öncesi hastanın bilgisayarlı tomografisi veya manyetik rezonans görüntüleme taramaları gibi görüntüleme çalışmaları, cerraha iç anatominin gerekli görünümünü sağlamaktadır. Cerrahi ekip bu görüntüleri daha sonra artırılmış gerçeklik uygulanması ile ameliyathanede hasta üzerinde görebilme fırsatı elde edebilecek ve dolayısı ile ameliyatın performansının artması sağlanabilecektir. Ayrıca bu sistem sayesinde tıp öğrencileri de daha gerçekçi bir yaklaşım ile eğitim alabileceklerdir.



<sup>16</sup> AJUNEWANİS Ismail, Augmented Reality Theory And Applications  
<https://core.ac.uk/download/pdf/11791948.pdf>

**Eğlence ve Oyun:** Artırılmış gerçekliğin basit bir şekli aslında yıllardır eğlence ve oyun alanında kullanılmaktadır. Spor müsabakalarının yayınlandığı zamanlarda reklam amacıyla sahaya yansıtılan görüntüler bu durumun örneğini oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra artırılmış gerçekliğin oyun sektöründe en bilinen kullanım örneğini şüphesiz Pokemon Go oyunu oluşturmaktadır. 2016 yılında piyasaya sürülen oyunda gerçek dünyaya aktarılmış sanal yaratıklar bulunmaktadır. Oyun sektörünün her geçen gün büyümesi artırılmış gerçeklik teknolojisinin bu alanda yaygınlaşmasına fırsat tanımaktadır.

**Askeri Eğitim:** Askerlerin eğitimi neredeyse tüm ülkelerin en önemli gündem maddelerinden birini oluşturmaktadır. Artırılmış gerçeklik teknolojisi tatbikat veya savaş alanı hissini gerçekçi bir şekilde verebildiği için askerlerin eğitimi noktasında kullanılabilir. **İmalat:** Özellikle üretim endüstrisi gibi alanlarda oluşabilecek hataların minimuma indirilmesi konusunda artırılmış gerçeklik sistemleri öne çıkmaktadır. Artırılmış gerçeklik sayesinde oluşturulacak üç boyutlu görselleştirme ile ürün prototiplerine ilişkin öngörüler elde edilebilecektir.

### 4.3. Karma Gerçeklik

Sanal ve artırılmış gerçekliğin bir araya gelmesi olarak yorumlanan karma gerçeklik; sanal ve gerçek dünyadaki hem dijital hem de fiziksel nesnelerin bir arada bulunabileceği ve birbirleriyle etkileşime girebileceği yeni ortamların oluşmasına imkân sağlamaktadır. Diğer bir deyiş ile sanal ve artırılmış gerçeklik, karma gerçeklikte birleşmektedir.

Araştırmacılar Paul Milgram ve Fumio Kishino, 1994 yılında tamamen gerçek ve tamamen sanal ortamlar arasındaki sürekliliği tanımlamak için karma gerçeklik terimini icat etmişlerdir. Günümüzde karma gerçeklik, gerçek ve sanal öznelerin ve nesnelerin gerçek zamanlı olarak etkileşime girdiği ve hem gerçek hem de sanal bileşenlerle etkileşime girilebilecek ortamları tanımlamaktadır. Bu durum, gerçek dünyayı görmeye devam edebilmek için şeffaf lens veya kamerası olan bir kulaklık gerektirmektedir.<sup>17</sup>

Karma gerçeklik eğilimi; platformlara, cihazlara ve yazılım ekosistemlerine yapılan yatırımlarla desteklenmektedir. Bu yatırımların nihai hedefi, klavyeleri ve ekranları iletişim ve iş birliği için tamamen yeni paradigmalara değiştirmektir. Bu alanda başarı sağlanırsa modern teknolojik çağda gördüğümüz kullanıcı etkileşiminde en büyük temel değişim yaşanacaktır.<sup>18</sup>

Herhangi bir karma gerçeklik sisteminin üç önemli özelliği bulunmaktadır. Bu özellikler; gerçek dünya nesnesini ve sanal nesneyi birleştirmek, gerçek zamanlı etkileşim sağlamak ve sanal nesne ile gerçek nesne arasında etkileşim oluşturmak için eşleme şeklinde sıralanabilmektedir.<sup>19</sup>

Bunlara ek olarak karma gerçeklik sistemleri için kullanılan iki tür cihaz özelliği bulunmaktadır. Bu cihazlar holografik ve sürükleyici cihazlar olarak bilinmektedir. Holografik cihazlar; etkileşimli sanal hologramlar

<sup>17</sup> <https://www.adobe.com/products/substance3d/discover/mixed-reality.html>

<sup>18</sup> Mixed Reality, Deloitte University Press

<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/technology/deloitte-uk-tech-trends-2017-mixed-reality.pdf>

<sup>19</sup> SOMAİEH Rokhsaritalemi 1 , ABOLGHASEM Sadeghi-Niaraki , A Review on Mixed Reality: Current Trends, Challenges and Prospects,2020

<https://3dvar.com/Rokhsaritalemi2020A.pdf>

ile kullanıcıya yarı sürükleyici deneyim yaşatmaktadır. Microsoft HoloLens ve Google Cardboard gibi cihazlar holografik cihazlara örnek olarak gösterilmektedir. Ürün montajı, makine operasyonları ve fabrika denetimleri gibi görevlerde profesyonellere uzaktan görsel rehberlik sağlamak için fabrikalarda veya üretim tesislerinde kullanılabilirlerdir.

Sürükleyici cihazlar ise başa takılan bir ekran kullanarak kullanıcının çevresinin sanal bir ortam ile değişmesini sağlamaktadır. Sürükleyici bir cihazda, her bir göz için bir tane olmak üzere, iki göz yakını ekranı bulunmaktadır. Sürükleyici cihazlara örnek olarak ise Meta Quest 2 veya Samsung Gear VR gösterilmektedir.

Birçok araştırmaya konu olan karma gerçeklik; eğlence, eğitim, alışveriş, üretim ve sağlık gibi farklı alanlardaki bir dizi uygulamada kendine yer bulmuştur. Bu durumun örnekleri aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir:

**Eğitim:** Eğitim sektöründe, öğretme ve öğrenme prosedürünü geliştirmek için karma gerçeklik teknolojileri kullanılmaktadır. Karma gerçeklik; görsel imgelerin daha iyi anlaşılmasına neden olduğu için konuların daha iyi kavranmasını ve açıklanmasını sağlamaktadır. Ayrıca karma gerçeklik bilginin kişiselleştirmesini sağlayabildiği için ömür boyu öğrenmeye yardımcı olmaktadır.

Diğer taraftan, eğitimde karma gerçekliğin uygulama örneği Ohio'daki Case Western Reserve Üniversitesi'nde görülebilmektedir. Bu üniversitede anatomi öğrencileri Microsoft HoloLens 2 ile karma gerçekliği eğitim amaçlı kullanmaktadır. Cihaz aynı zamanda profesörlerin yüzlerce kilometre uzakta olmalarına rağmen öğrencilere ders vermelerini ve onlarla etkileşim kurmalarını sağlamıştır.<sup>20</sup>

**Eğlence:** Karma gerçekliğin eğlence sektöründe kullanım alanlarına bakıldığında yalnızca oyun sektörü ile sınırlı kalmadığı görülmektedir. İzleyicilerin de akışa dahil olduğu film, yarışma, spor müsabakaları gibi birçok kullanım alanı olabileceği düşünülmekte ve buna yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

**Alışveriş:** Karma gerçeklik ile birlikte özellikle internet alışverişlerinin farklı bir boyuta geçeceği düşünülmektedir. Örneğin yapılacak bir otel rezervasyonu öncesinde sanal bir şekilde otelde bulunmanın veya alınacak herhangi bir ürünün sanal ortamda denemenin karma gerçeklik ile birlikte hayatlarımız yer bulması beklenmektedir.<sup>21</sup>

**Sağlık:** Sağlık hizmetleri söz konusu olduğunda, karma gerçeklik teknolojilerinin birçok potansiyel uygulaması mevcuttur. Bunlardan en belirgin olanı, incelenen kavramların görsel olarak zenginleştirilmesi ve anatomi gibi konuların daha iyi anlaşılmasına yol açmasıdır. Karma gerçeklik, insan vücudunun farklı katmanlarının haritalanmasına yardımcı olmaktadır. Bu durumun bir örneğini İngiltere'de tıp öğrencilerinin kullandığı karma gerçeklik teknolojisi oluşturmaktadır.

Cambridge Üniversitesi'nin bir parçası olan Addenbrooke Hastanesi'ndeki öğrenciler; HoloScenarios adlı bir karma gerçeklik eğitim sistemi ile dünyada bir ilk olarak sürükleyici holografik hasta senaryoları

<sup>20</sup> <https://case.edu/hololens/>

<sup>21</sup> Mixed Reality, Deloitte University Press

<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/technology/deloitte-uk-tech-trends-2017-mixed-reality.pdf>

aracılığıyla eğitim almaktadırlar. Öğrenciler, karma gerçeklik cihazlarını kullanarak gerçek dünyadaki fiziksel ortamlarının üzerine yerleştirilmiş holografik hastalar ve tıbbi ekipmanlardan oluşan gerçeğe yakın bir eğitim senaryosuna dahil olmaktadır. Sistem, aynı odadaki öğrencilerin ve öğretmenlerin, holografik bir hasta ile etkileşime girerken gerçek hayatta birbirlerini görmelerine olanak tanımaktadır. Öğrenciler astım, anafilaksi, pulmoner emboli ve zatürree gibi yaygın solunum yolu rahatsızlıklarını nasıl teşhis edeceklerini ve tedavi edeceklerini öğrenmektedir.<sup>22</sup>

Tüm bu açıklamalar ile birlikte; sanal, artırılmış ve karma gerçeklik konusunda karşılaştırma yapılacak olursa; sanal gerçekliğin gerçek dünyaya tamamen kapalı olduğu, artırılmış ve karma gerçekliğin ise gerçek dünyayı deneyime dahil ettiği sonucuna ulaşılmaktadır. Bunun yanı sıra donanım açısından değerlendirildiğinde; her üç deneyimin de bir cihaza ihtiyaç duyduğu söylenebilmektedir. Sanal gerçeklik deneyimi için gerçek dünyayı tamamen engelleyen bir cihaz kullanılabilenken artırılmış gerçeklikte deneyimi sürdürmek için akıllı telefon gibi bir cihaz kullanılabilir. Karma gerçeklikte ise gerçek dünyanın izlenmeye devam edilmesi amacıyla gözlük veya kulaklık kullanılabilir.

Sanal gerçeklik, gerçekliğin tam bir sanal kopyasıyken, artırılmış gerçeklik gerçek dünya senaryosunda dijital içeriği kaplayarak kullanıcının algı duygusunu artırmanın bir yoludur. Karma gerçeklik ise üç boyutlu nesnelere fiziksel çevre ve insanlarla etkileşime girdiği artırılmış ve sanal gerçekliğin bir melezi olarak tanımlanabilmektedir.



<sup>22</sup><https://www.euronews.com/next/2022/06/28/hologram-patients-and-mixed-reality-headsets-help-train-uk-medical-students-in-world-first>

## BÖLÜM 5: SANAL GERÇEKLIK TEKNOLOJİSİ KULLANIM ALANLARI

Günümüz dünyasında, internet kullanımının yaygınlaşmasıyla sanal gerçeklik, hızla gelişen ve popüler bir teknoloji olmuştur. Ortamların bilgisayar teknolojileri ile oluşturularak o ortamın gerçekten içerisindeymiş gibi hissedilmesine neden olan insan ve bilgisayar etkileşimli bu teknoloji, insan duyularının yanıltılabileceği fikri üzerine geliştirilmeye başlanmıştır.

Geliştirilmiş olan bu teknolojinin ilk uygulama bulduğu alan video oyunları ve eğlence dünyası olmuştur. Popülerliğini bu sektörlerde kazanmasından dolayı sanal gerçeklik teknolojileri direk olarak dijital oyun sektörüyle bağlantılı gibi görünse de eğlence dünyasından, tıp alanındaki karmaşık bilimsel deneylere kadar pek çok uygulama alanı bulmuştur.

### 5.1. Eğitim Alanında Sanal Gerçeklik

Günümüzde geleneksel öğretim metotları yerini modern eğitim metotlarına bırakmaya başlamıştır. Sanal gerçeklik teknolojisi eğitim uygulamalarında sıklıkla tercih edilmeye başlanmıştır. İnsan ve makine arasındaki iletişimi artırmak için geliştirilmiş olan ve insan duygusuna hitap eden sanal gerçeklik teknolojisinin öğrenmede oldukça etkili bir teknoloji olduğu söylenebilir. Bu teknoloji, insan-makine etkileşimini görsel ve işitsel iletimle yetinmeyip, his yoluyla artırmaktadır. Öğrencilerin karmaşık içerikli konuları, sanal gerçeklik cihazları aracılığıyla eğlenceli ve kolay bir şekilde öğrenmelerini sağlamaktadır.

Eğitimde sanal gerçeklik kullanımı, yeni bakış açılarının deneyimsel öğrenme ile gelişmesi için olanaklar sağlayarak interaktif eğitime katkıda bulunur. Eğitimde sanal gerçeklik kullanımı ile öğrenciler sanal gerçeklik ortamında bulunan objelerle etkileşime geçip onlar hakkında daha çok şey öğrenebilmektedir.



**Sanal Gerçekliğin Tıp Eğitimi Alanında Kullanımı:** Sanal gerçeklik teknolojisiyle tıp eğitimini alan öğrencilerin sanal kadvralar üzerinde sayısız denemeler yapabilmeleri sağlanmaktadır. Öğrenci kas ve kemik üzerinde incelemeler yaparken kas ve kemiklerin bistiüriye karşı direncini hissedebilmektedir. Sadece tıp öğrencileri için değil aynı zamanda uzman doktorların da bu teknolojilerden faydalandıkları görülmektedir.

Gelecekte sanal gerçeklik, doktorların karmaşık ve ender operasyonları tekrar etmelerini, birden çok cerrahi yöntemin sonuçlarını görebilmelerini ve ilaç tedavisinin moleküler düzeyde etkilerini anlamalarını sağlayacaktır.



**Şekil 7: Sanal Kadavra**

**Sanal Gerçekliğin Mimarlık Eğitiminde Kullanımı:** Mimari alanında eğitim alan öğrenciler yapıların daha iyi tasarlanması için sanal gerçeklik ortamlarından yararlanmaktadır. Örneğin sanal gerçeklik vasıtasıyla bir bina içerisinde engellilerin kullanımına yönelik olarak merdivenlerin nasıl tasarlanacağı mimarlık öğrencilerine örnekleriyle anlatılabilmektedir.

**Sanal Gerçekliğin Tarih Eğitiminde Kullanımı:** Geçmişte yaşanan olaylar ve kişilerin gerçeğe uygun kopyalarının tarih derslerinde kullanılması öğrencilerin konuları daha iyi anlamalarını sağlamaktadır. Tarih odası adı verilen sanal gerçeklik ortamı sayesinde öğrenciler tarihi olaylara tanıklık edebilmekte ve bu olaylarda yer alan kişilerle etkileşim kurabilmektedirler.<sup>23</sup>

**Sanal Gerçekliğin Askeri Eğitimde Kullanımı:** Askeri ve sivil amaçlı pilotların eğitiminde sanal gerçeklik simülatörleri kullanılmaktadır. Uçak simülatörleri şu ana kadar yapılan eğitimsel örneklerin en iyisi olarak düşünülebilir. Aynı şekilde hava trafik kontrolörlerinin eğitiminde de sanal gerçeklikten yararlanıldığı görülmektedir.

**Sanal Gerçekliğin Matematik ve Fen Bilimleri Eğitiminde Kullanımı:** Sanal gerçekliğin eğitim amaçlı kullanım alanlarından birisi matematik eğitimidir. Bu metotla görsel olarak anlaşılması zor olan grafikler ve denklemler sanal gerçeklik ortamda daha kolay anlaşılır bir hale getirilmeye çalışılmaktadır. Bir diğer kullanım alanı ise fen eğitimidir. Kimya alanında üç boyutlu bilgisayar modelleri karmaşık

<sup>23</sup>KELLEN Ryan O, Using Augmented and Virtual Reality to Improve Social, Vocational, and Academic Outcomes of Students With Autism and Other Developmental Disabilities

moleküllerin şekillerini anlamaya yardımcı olurken fizik öğrencileri sanal gerçeklik ortamlarını kullanarak fiziksel teorileri test etme şansına sahip olabilmektedirler.

## 5.2. Sağlık Alanında Sanal Gerçeklik

Sağlık, yeni teknolojilerden hızla etkilenen alanlardan biridir. Sağlık hizmetlerini sunmak için kullanılan teknolojiler, doktorların, hemşirelerin ve diğer sağlık çalışanlarının işlerini daha az hatayla yapmalarına yardımcı olmaktadır. Yeni teknolojiler tedavi süresini kısaltmakta hastaların daha hızlı iyileşmesini sağlamaktadır.

Teknoloji, hizmetlerin daha verimli ve daha kaliteli hale getirilmesinde kilit faktörlerden biridir. Bu teknolojilerden biri olan sanal gerçeklik teknolojisinin geleceğin sağlık hizmetlerinde önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Sağlık hizmetlerinde hâlihazırda sanal gerçeklik teknolojisinden dünya çapında yaygın olarak yararlanılmaktadır. Sanal gerçeklik sağlık alanında eğitim, tedavi ve rehabilitasyon amaçları için kullanılabilir. <sup>24</sup>

Bununla birlikte, eğitim amacıyla kullanılan sanal gerçeklik uygulamaları ile bireylere birden fazla sayıda deneme yapma, doğru ve hatalı durumları anlık olarak takip edebilme imkânları sağlanabilirken tedavi ve rehabilitasyon amacıyla kullanılan sanal gerçeklik uygulamaları ile de bireye özgü tedavi süreçlerinin oluşturulması amaçlanmakta buna ek olarak hasta motivasyonu artırılırken hastanın korku ve endişeleri azaltılmaktadır. <sup>24</sup>

**Sanal Gerçekliğin Yüzleştirme Tedavisinde Kullanımı:** Fobileri olan hastalar için geliştirilmiş olan bu tedavi yöntemi kapalı alan, yükseklik, böcek gibi korkuları olan hastaları tedavi etmek için sanal gerçekliğin kullanıldığı ve psikiyatride yaygın olarak kullanılması beklenen bir tedavi yöntemidir. Bu yöntem sayesinde hastalar herhangi bir tehlikeye maruz kalmadan oluşturulan sanal gerçeklik ortamında tekrar tekrar korkularıyla yüzleştirilmekte ve bu da yapılan tedavilerin sonuçlarının hızlı bir şekilde görülüp yol haritası çizilmesine yardımcı olmaktadır. <sup>25</sup>

**Sanal Gerçekliğin Travma Sonrası Stres Bozukluğu Tedavisinde Kullanımı:** Sanal gerçeklik fobi ve anksiyete gibi sorunları olan hastalar üzerinde kullanımına benzer bir şekilde askerler gibi travma sonrası stres bozuklukları olan hastalar üzerinde de uygulanmış ve bu hastaları tedavi etmede yardımcı olduğu görülmüştür. <sup>26</sup>

**Sanal Gerçekliğin Ağrı ve Acı Tedavisinde Kullanımı:** Sanal gerçeklik oyunları hastaların ağrı ve acıyı hissetmelerini engelleyerek doktorların işlerini kolaylaştırmaktadır. Washington Üniversitesi'nde geliştirilen SnowWorld isimli sanal gerçeklik oyununda, soğuk bir ortamda penguenlerle kartopu oynadığını deneyimleyen hastaların tedavi esnasında acılarını unuttukları gözlemlenmiştir. <sup>27</sup> İzdıranlı tedaviler esnasında kullanılan bu yöntem beynin acı ve ağrı duyularını devre dışı bırakıp sanal gerçeklik ortamına adapte olmasıyla başarılı sonuçlar vermiştir.

<sup>24</sup> Dr. Brenda K., The Potential for Virtual Reality to Improve Health Care, BCIA

<sup>25</sup> <https://www.forbes.com/health/mind/virtual-reality-therapy/>

<sup>26</sup> <https://www.nytimes.com/2021/06/03/well/mind/vr-therapy.html>

<sup>27</sup> <https://www.rdworldonline.com/virtual-snowworld-helps-burn-victims-cope-with-extreme-pain/>



**Şekil 8: Ağrı ve Acı Tedavisi**

**Sanal Gerçekliğin Otizmlili Bireyler İçin Sosyal Biliş Eğitimi Kullanımı:** Texas Üniversitesi'nde otizmlili çocuklara destek olması açısından sosyal beceriler üzerine bir eğitim programı oluşturulmuştur. Çocuklar tanımadığı biriyle buluşma ya da iş mülakatına benzer sanal gerçeklik durumlarına sokularak beyin dalgaları izlenmiş ve görüntülenmiştir. Bu yaklaşım sosyal davranışları izleme açısından önemlidir. Program sonucu sanal gerçeklikle oluşturulan ortamlarda çocukların beyin aktivitelerinde artış gözlemlenmiş ve inceleme amacı başarıya ulaşmıştır.<sup>28</sup>

### 5.3. Mühendislik Alanında Sanal Gerçeklik

Sanal gerçeklik teknolojilerinin mühendislik alanlarındaki kullanımı gitgide yaygınlaşmakta ve artmaktadır. Çoğu mühendislik alanları, elektrik, kimya ve ağır imalat gibi sektörler tehlikeli bileşenlerden oluşmaktadır. Mühendislik eğitiminde sanal gerçeklik faydalıdır ve çalışanların yaralanma riski olmadan öğrenmelerini sağlar. Sanal gerçeklik, mühendislerin ürünleri görselleştirmelerini, analiz etmelerini ve hataları teşhis etmelerini sağlayan prototipleme için mükemmel bir ortamdır. Ayrıca, sanal gerçeklik teknolojisiyle modellerin farklı sürümlerini test etmek mümkündür. Bunlara ek olarak, mühendisler sanal çalışma odalarındaki projeler üzerinde işbirliği yapabilmekte, sanal gerçeklik teknolojisini kullanarak prototiplerin tanıtımını gerçekleştirebilmektedirler.

Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ve Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE) yazılımları, parçaların oluşturulmasına veya sanal prototiplerin tamamlanmasına yardımcı olan mühendislik ve tasarım amaçlı geliştirilmiş programlardır. CAD ve CAE yazılımlarında artık görsel işbirliği açısından sanal gerçeklik sistemlerinin avantajlarından yararlanılmakta ve bu da ürün geliştirme ile ilgili harcanan zaman ve diğer kaynakların azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

**Sanal Gerçekliğin İnşaat Mühendisliği Alanında Kullanımı:** İnşaat mühendisliği, köprüler, tüneller, kuleler ve yollar gibi kentsel yapıların tasarlanmasıyla ilgilenen alandır. Benzer şekilde, yapı mühendisliği, yapıların güvenliği ve istikrarından sorumlu bir mühendislik dalıdır. İnşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılan sanal gerçeklik teknolojisi sanal bir ortamda çeşitli yapıların ve nesnelerin

<sup>28</sup> <https://news.utdallas.edu/health-medicine/virtual-reality-helps-children-on-autism-spectrum/>

modellenmesine yardımcı olmaktadır. Saha çalışma alanlarına gitmeden önce mühendisler gerçekçi bir deneyim sağlayan sanal gerçeklik teknolojisi insan hatalarından kaynaklanan şantiye kazalarını önlemekte veya azaltmakta dolayısıyla da saha mühendislerinin, proje yöneticilerinin ve müfettişlerin güvenliğini arttırmaktadır.



**Şekil 9: Sanal Gerçeklik Teknolojisiyle Yapı Tasarımı**

**Sanal Gerçekliğin Makine Mühendisliği Alanında Kullanımı:** Makine mühendisliği alanı, çeşitli makine ve ekipmanların tasarımı ve mühendisliği konusunda uzmanlaşmıştır. Bu alanda faaliyet gösteren uzmanlar, sanal gerçeklik teknolojisinden faydalanıp ağır makine ve ekipmanların 3D modellerini tasarlamakta, teknik sorunları teşhis edebilmekte ve giderebilmektedir.



**Şekil 10: Sanal Gerçeklik Teknolojisiyle Araç Tasarımı**

**Sanal Gerçekliğin Elektrik Mühendisliği Alanında Kullanımı:** Elektrik alanında çalışmak zorlu ve riskli olduğundan, sanal gerçeklik bu alanda çalışan profesyonellerin güvenli bir ortamda çalışmasını ve öğrenmesini sağlamaktadır. Elektrik alanında sanal gerçeklik uygulamaları üzerine Dublin Teknoloji Üniversitesi'nde yapılan bir araştırmanın sonuçlarına göre öğrenciler sanal gerçeklik uygulamaları sayesinde verimli ve doğru bir şekilde modellemeler yapabilmelerinin yanı sıra iş güvenliğini konusunda da daha iyi performans göstermektedirler.<sup>29</sup>

<sup>29</sup> BARETT Martin, Using Virtual Reality Modelling to Enhance Electrical Safety and Design in the Built Environment

**Sanal Gerçekliğin Kimya Mühendisliği Alanında Kullanımı:** Kimya mühendisleri, sanal gerçeklik teknolojilerini kullanarak yeni bileşikler tasarlayabilmekte, elementlerin birbiriyle etkileşimini inceleyebilmekte ve çeşitli kimyasal deneyler yaparak sonuçlarını değerlendirebilmektedirler.

**Sanal Gerçekliğin Uçak Mühendisliği Alanında Kullanımı:** Uçak mühendisleri sanal gerçeklik teknolojisinin yardımıyla havacılık sektöründe kullanılan kompozit materyalleri işleyebilmekte, bunları tasarımda nasıl daha iyi kullanabileceklerini öğrenebilmekte, elde ettikleri yeni modelleri sanal rüzgâr türbinlerinde test edebilmekte ve çok daha güvenli ve verimli hava taşıtları tasarlayabilmektedirler.

## 5.4. Bankacılık ve Finans Alanında Sanal Gerçeklik

İşletmeler sanal gerçeklikten sanal bankacılık, ödemeler ve ticaret alanlarında da yararlanabilmektedir. Günümüzde birçok işletme müşterileri için sürükleyici deneyimler sunmak amacıyla bankacılık ve finansal hizmetlerde sanal gerçekliği kullanmaya başlamıştır. Sanal gerçeklik teknolojisi, soyut finansal verilerin mümkün olan en basit şekilde gösterilmesine yardımcı olabilmektedir. Sürekli değişen finans dünyasında sanal gerçeklik, karmaşık finansal verileri sürükleyici, estetik açıdan hoş bir şekilde birleştirmeye ve sunmaya yardımcı olmaktadır.



**Şekil 11: Bankacılık ve Finans Alanında Sanal Gerçeklik**

## 5.5. Turizm Alanında Sanal Gerçeklik

Turizm hizmetleri yeni yerler görme, dinlenme ve farklı deneyimler kazanma amacındaki müşterilerin isteklerini en iyi şekilde karşılamak amacıyla yöresel, bölgesel ve ulusal olarak yürütülüp kazanç sağlanan faaliyetler bütünüdür. Sanal gerçeklik teknolojisi ile turizm sektöründe işletmecilerin ve müşterilerin elde edebilecekleri faydalar artmaktadır. Kişiler gelişen bu teknoloji sayesinde bilgiye daha kolay ulaşabilmektedirler.

Konaklama işletmeleri açısından ele alındığında sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojilerinin müşterilerin turizm hizmetlerini satın alma kararı üzerinde çok etkili olduğu görülmektedir.<sup>30</sup> Bu bağlamda otel odalarının ve otel özelliklerinin sanal turlar ile internet sitelerine aktarılması, otel giriş işlemlerinin teknolojik cihazlar yardımıyla hızlandırılması ve konaklanacak yer hakkında sanal bilgilendirme sunmak gibi yeni tür müşteri deneyimlerinin oluşturulması konaklama işletmelerine önemli kazanımlar sağlamaktadır.

Benzer şekilde seyahat işletmeleri açısından ele alındığında sanal turlar, seyahatlerde kullanılan üç boyutlu navigasyon cihazları ve sayısal tur broşürleri gibi örnek uygulamaların, gezilen ve görülen yerlere ilişkin ekstra çekicilik sağladığı net olarak görülmektedir.

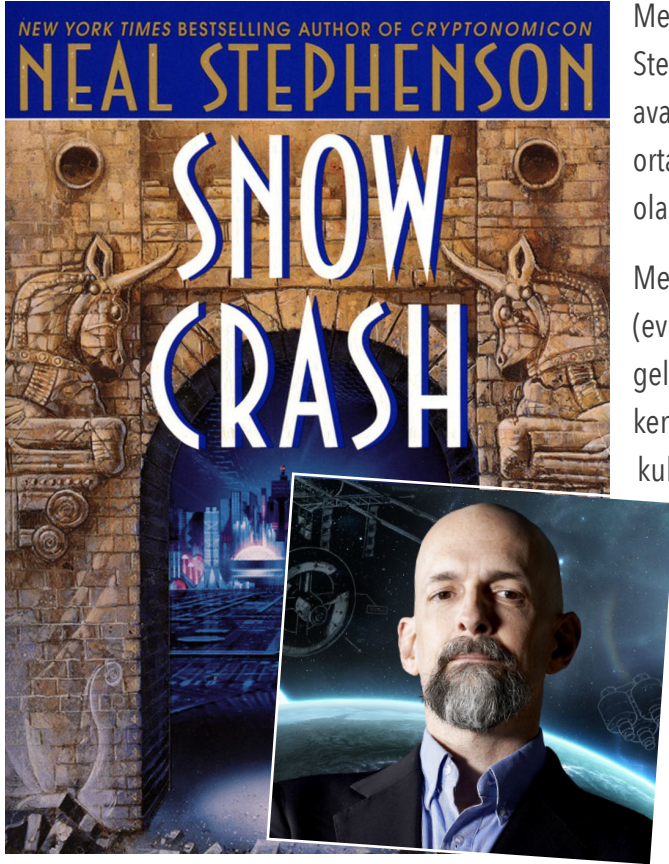


**Şekil 12: Turizm Alanında Sanal Gerçeklik**

<sup>30</sup> Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik Teknolojilerinin Turizm Uygulamaları ve Pazarlamadaki Yeri, Uluslararası Kırsal Turizm ve Kalkınma Dergisi

## BÖLÜM 6: SANAL GERÇEKLIK TEKNOLOJİSİ VE METAVERSE

### 6.1. Metaverse'in Tanımı



Metaverse kavramı ilk olarak 1992 yılında Neal Stephenson tarafından yazılan, insanların bir avatar kullanılarak sanal gerçeklik ile internet ortamında çevrimiçi olduğu bilim kurgu romanı olan Snowcrash isimli romanda kullanılmıştır.

Metaverse kelimesi meta (ötesinde) ve universe (evren) kelimelerinin birleşiminden meydana gelen, çevrimiçi üç boyutlu ortamlardaki kullanıcıların kendileri için seçtikleri bir dijital avatar yardımı ile kullanıcıların fiziksel dünyadaymış gibi iletişim kurabilecekleri, etkileşime girebileceği, eğlence, ticaret, oyun, eğitim vb. birçok faaliyetlerin yapılabileceği sanal bir dünya olarak tanımlanmaktadır.

Metaverse terimi yıllardır kullanılmasına rağmen, bu kavramın tanımı konusunda bir uzlaşmaya varılamamıştır. Son dönemde bu kavramın uluslararası boyutta gündeme

gelmesine neden olan Facebook'un ya da yeni adıyla Meta Platforms'un kurucusu ve CEO'su Mark Zuckerberg, metaverse'i "sadece ekrandan bakacağınız değil içine girebileceğiniz bir sanal çevre" olarak tanımlamıştır.<sup>31</sup>

Metaverse'ten ne beklenmesi gerektiği konusunda son günlerde dile getirilen görüşler arasında en nesnel yaklaşımın, teknoloji alanında bir "melek yatırımcı" olan ABD'li Matthew Ball tarafından ifade edildiği görülmektedir. Matthew Ball, çok sayıda teknoloji yazarının atıfta bulunduğu bir makalesinde "ideal bir metaverse'in" aşağıdaki özelliklere sahip olması gerektiğini savunmuştur:

- **Kalıcıdır:** Asla sıfırlanmaz, duraklatılamaz veya bitmez. Sadece süresiz olarak devam etmektedir.
- **Gerçek zamanlıdır:** Önceden planlanmış bir yapısı yoktur. Metaverse tıpkı gerçek hayatta olduğu gibi, herkes için tutarlı bir şekilde ve gerçek zamanlı olarak var olan canlı bir deneyim sunar. Bu deneyim bağımsız etkinlikler gerçekleşse de gerçek zamanlı olarak işlemeye devam etmektedir.

<sup>31</sup> Facebook Wants To Lean Into The Metaverse. Here's What It Is And How It Will Work  
<https://www.npr.org/2021/10/28/1050280500/what-metaverse-is-and-how-it-will-work>

- **Herkes için açıktır:** Herkes eş zamanlı olarak bireysel veya araçlar vasıtasıyla metaverse'te olabilmektedir.
- **Tam teşekküllü bir ekonomidir:** Bireyler ve işletmeler metaverse içerisinde değer üretebilmekte, bunları sahiplenerek son derecede geniş bir iş yelpazesi oluşturabilmekte, yatırım yapabilmekte, satabilmekte ve bunların karşılığını alabilmektedir.
- **Kapsayıcıdır:** Hem dijital hem de fiziksel dünyaları, özel ve genel ağları, açık ve kapalı platformları kapsayan bir deneyim sunmaktadır.
- **Farklı deneyimleri paylaşır:** Farklı metaverse evrenleri dijital öğeleri, dijital varlıkları, içerikleri ve deneyimleri başka platformlarda paylaşmaktadır.
- **Ortaklaşa inşa edilir:** Bağımsız bireyler, gayri resmi gruplar ve işletmeler metaverse evreninin içeriğini birlikte doldurmaktadır.<sup>32</sup>

## 6.2. Sanal Gerçeklik ve Metaverse

Sanal dünyalar artık gerçek hayatın kendisi haline dönüşmeye başlamıştır. İnsanların hayalinde metaverse, sanal gerçeklik gözlüğü ile çevrimiçi ortamda tasarlanmış üç boyutlu sanal bir dünyada etkileşime girebileceği, gerçek dünyadaki engeller olmadan yaşayabileceği bir ortam olarak canlanmıştır.

Bu dünyada insanlar ticaret yapabilecek, iş imkânları geliştirebilecek, istedikleri yerleri gezebilecek, çeşitli sosyal aktivitelere (konser, tanıtım, tatil, konferans, oyun vb.) bir avatar yardımı ile katılabilecektir. Metaverse, aslında insanların hayatında çeşitli bilgisayar oyunları, konferans ve toplantı sistemleri, eğitim platformları, sinemalar ve tanıtımlar ile 30 yıldır var olan bir sistemdir.<sup>33</sup>

Günümüzde bu ortama katılmak için internet bağlantısı olan herhangi bir cihaz kullanılması yeterlidir. Gelecekte ise metaverse, dünyayı tamamen üç boyutlu modelleyerek sanal bir ortamda, kendi seçeceğimiz dijital bir avatar kullanarak bu dünyada yaşamamızı sağlayacak sanal gerçeklik ile artırılmış gerçeklik teknolojileri üzerine inşa edilmesi planlanan bir sistemdir.

Metaverse sanal gerçeklik ile tasarlanan yeni dünya iken, sanal gerçeklik kısa ve öz bir anlatım şekliyle hayallerimizin üç boyutlu deneyimlenmesini sağlayan bir teknolojidir. İnternet üzerinden, çevrimiçi sunucularda inşa edilen metaverse platformlarına, kullanıcılar istemci olarak erişmekte ve bir dijital avatar yardımı ile internet üzerinde yaratılmış olan sanal bir dünya ile etkileşime girmektedir.

<sup>32</sup> The Metaverse: What It Is, Where to Find it, and Who Will Build It

<https://www.matthewball.vc/all/themetaverse>

<sup>33</sup> STEFAN Hall, LI Cathy, The Technologies That Could Make Up the Metaverse, 2021

<https://www.brinknews.com/what-is-the-metaverse/>

Çeşitli firmalara ait farklı platformlar bulunmaktadır. Temelde metaverse platformları ve arka planda kullanılan teknolojik alt yapı incelendiğinde, metaverse bileşenlerinin her birinin birbirine bağlı olduğu görülmektedir. Sanal gerçeklik teknolojisi, metaverse platformlarını oluşturan teknolojik bileşenlerden biridir.

Sanal gerçeklik teknolojisi sayesinde gerçek dünya üzerinde sanal katmanlar oluşturulabilir ve eğitimden pazarlamaya, oyun dünyasından iş dünyasına kadar pek çok farklı alanda metaverse uygulamaları gerçekleştirilebilmektedir. Gerçekçi metaverse uygulamaları içinse artırılmış gerçeklik teknolojisi sayesinde görüntüler, sesler ve metinler gibi veriler etkili olarak kullanabilmekte ve farklı alanlarda daha verimli bir metaverse ortamı meydana getirilebilmektedir.



## BÖLÜM 7: 5G VE ÖTESİ (6G, 7G) VE SANAL GERÇEKLİK

### 7.1. 5G Nedir

5G (5. Nesil Mobil Telekomünikasyon Hizmeti) yeni nesil kablosuz telefon teknolojisidir. Dördüncü nesil teknolojinin yaklaşık 10 katı veri iletim hızı sağlamaktadır. Bu hız kullanılan cihazın kategorisine göre 1 ila 10 Gbps arasında değişebilmektedir. Günümüz 5G teknolojisiyle gerçek şebekelerde 4,7 Gbit/sn hızına, laboratuvar ortamlarında ise 7.5 Gbit/sn hızlarına ulaşılmıştır. 2025 ve 2030 yılları arasında ise hızın 20 Gbit/sn'ye kadar indirme ve 10 Gbit/sn'ye kadar yükleme olmak üzere baz istasyonu başına toplam 30 Gbit/sn'ye yükseltilmesi hedeflenmiştir. 5G teknolojisiyle elde edilen yüksek hız ve düşük gecikme süresi, teknolojinin birçok alanında devrim niteliğinde gelişmelerin kapılarını aralama potansiyeline sahiptir. Özellikle sanal gerçeklik uygulamalarının 5G teknolojisiyle yepyeni bir boyut kazanması beklenmektedir. Ortak bir ağı paylaşan tüm cihazlar 5G teknolojisi sayesinde çok daha hızlı bir şekilde veri alışverişini yapabileceği için, bu teknolojinin nesnelerin interneti alanında da önemli gelişmelere önyak olacağı öngörülmektedir.

### 7.2. 6G Nedir

6G, 5G kablosuz teknolojisinin halefidir. 6G şebekeleri, 5G şebekelerinden daha yüksek frekansları kullanabilecek ve önemli ölçüde daha yüksek kapasite ve çok daha düşük gecikme süresi sağlayacaktır. 6G şebekesinin hedeflerinden biri, bir mikro saniye gecikmeli iletişimi desteklemektir. Bir mikrosaniye gecikme, bir milisaniye gecikmeden 1.000 kat daha hızlıdır. 6G teknolojisinin görüntüleme, varlık



teknolojileri ve konum farkındalığı teknolojileri alanlarında büyük gelişmelere olanak sağlaması beklenmektedir. Yapay zekâ (AI) ile birlikte çalışan 6G hizmeti bilgi işlem altyapısı için en iyi yeri belirleyebilecek, buna veri depolama, işleme ve paylaşma ile ilgili kararları da ekleyecektir. 6G'nin henüz işleyen bir teknoloji olmaması konuyla ilgili standartların mümkün olduğunca iyi belirlenmesi açısından iyi bir fırsattır. Bazı tedarikçiler bugünden 6G özellikli şebeke ürünleri için yeni nesil kablosuz standartlara ve endüstri özelliklerine yatırım yapmaya başlasa da en verimli sonucu elde etmek için çalışılması gereken birçok alan bulunmaktadır.

### 7.3. 7G Nedir

7G, 6G'ye göre daha da yüksek frekansları kullanabilecek ve iletişimde daha yüksek kapasite ve çok daha düşük gecikme süresi sağlayabilecektir. 7G uydular üzerinden çalışacak bir sistem olup uydular sabit olmayan bir hızda ve belirli bir yörüngede hareket ettiğinden, hüreselden uyduya ve uydudan uyduya iletişim için standartlar ve protokollerin herkes için ortak hale getirilmesi gerekecektir.

7G sistemi, telekomünikasyon uydu sistemi, küresel navigasyon uydu sistemi, dünya görüntüsü uydu sistemi ve ayrıca 6G hüresel mobil iletişim sistemi tarafından desteklenebilir yapıda olacaktır. Küresel navigasyon uydu sistemi esasen bir kullanıcının konumunu belirlemektedir. Telekomünikasyon uydu sistemi kullanıcının iletişim gereksinimi için ses ve multimedya verilerini sağlamaktadır. Dünya görüntüsü uydu sistemi ise mobil kullanıcılar için ekstra hizmet olarak hava durumu gibi bilgiler sağlamaktadır.

7G uydular aracılığıyla çalışırken 6G'de eşlenik olarak yerel ses ve multimedya veri hizmetlerini sağlamak için kullanılabilir durumda olacaktır çünkü hüresel baz istasyonları uydularla karşılaştırıldığında çok daha ucuz ve kararlıdır. Uydular pahalı olduğundan ve daha geniş alanları kapsayacak şekilde hareket ettiklerinden mobil kullanıcılar bir ülkeden başka bir ülkeye taşınırken iki farklı uydu sistemi arasında geçiş yapmak zorunda olacaktır. Uzay dolaşımı (space roaming) adı verilen bu kavram aslında uyduların sürekli olarak saatte 7.000 mil hızla hareket etmesinden ve buna bağlı olarak da 24 saatten daha kısa bir sürede iki tam yörünge yapmasında kaynaklanmaktadır.

### 7.4. 5G ve Ötesinin (6G, 7G) ile Karşılaştırılması

5G şebekeleri benzersiz avantajlar sunmasına rağmen az sayıda ülke dışında henüz hiç ticarileştirilmemiştir ve bu yapıyla yaklaşmakta olan kablosuz teknolojiler üzerine araştırma yapmak için önemli bir platform oluşturmaktadır. 6G ve 7G için yapılan araştırmalar da bu teknolojilerin aynen 5G gibi önceki şebekelerden gelen geleneği takip ettiğini ve şimdilik mümkün olduğunca basit tutulduğunu göstermektedir. 5G ve ötesi arasındaki temel farklar aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

**5G ve Ötesi Farklı Spektrum Kullanmaktadır:** 5G ve ötesi, 2G, 3G ve 4G gibi diğer şebekelerden daha hızlı veri iletimi için daha yüksek menzilli kablosuz spektrum kullanmaktadır. 5G ile ötesi kendi içinde karşılaştırıldığında ise 5G'nin 6 GHz ile 24,25 GHz frekans aralığında, 6G ve 7G'nin 95 GHz ile 3 THz frekans aralığında çalışmak üzere tasarlandığı görülmektedir. 5G ve ötesindeki teknolojiler farklı spektrum kullandığından verimliliklerini artırmak için farklı mekanizmalara ihtiyaç duymaktadır.

**6G ve 7G, 5G Teknolojisinden Daha Hızlıdır:** Performans faktörünü dikkate alan 6G ve buna uyduyu da ekleyen 7G, yeni yeni kurulmakta olan 5G kablosuz şebekelerden daha iyi bir performans gösterecektir. 6G ve 7G terahertz frekans bantlarında çalışarak hava gecikme süresini 100 mikrosaniyeden aza indirecek ve 1.000 gigabit/sn'lik bir veri indirme hızına erişecektir. 5G ve ötesinin şebeke hızları karşılaştırıldığında, gelişmiş güvenilirlik ve daha geniş şebeke kapsamı ile 6G ve 7G hızlarının 5G'den ortalama 100 - 500 kat daha fazla olması beklenmektedir.

**6G ve 7G, 5G ile Gelişmeye Başlayan Nesnelerin İnternetini Hızlandıracaktır:** Uygulanan frekansın zayıf planlaması nedeniyle 4G, LTE gibi önceki şebekelerde mümkün olmayan kapsamlı 5G şebeke testlerinin yapılabilmesinin ardından 5G tabanlı çözümlerin uygulanmasıyla nesnelerin interneti (IoT), günümüzde bir gerçeklik haline gelmektedir. Günümüzde kullanılan frekanslar akıllı cihazların doğru sonuçlar alabilmesi için ihtiyaç duyduğu verileri kesintisiz iletme noktasında çok yetersiz ve yoğundur.

5G'nin bu boşluğu doldurmak için sağladığı yeni imkânlar 6G ile birlikte ilerleyen yıllarda daha da artacak olup, 7G ile maksimum noktaya erişecektir. 6G şebekeleri aktif olarak hayata geçtiğinde 5G'ye göre kilometrekare bazında on kat daha fazla cihazın birbirine bağlanması 7G ile uydu sürecinin de eklenmesiyle bu artışın geometrik ivmelenmesi beklenmektedir.

**Tüm G'lerde Gecikme Süreleri Düşecektir:** Bir frekans üzerinden iletilen bir bilgi paketinin karşı tarafa ulaşmak için geçirdiği süreye gecikme denir. 4G şebekeleri yaklaşık 50 milisaniyelik bir gecikme süresine sahipken, 5G şebekeleri 4G şebekelerinden on kat daha düşük gecikme süresine, yani 5 milisaniyeye sahiptir. 5G şebekelerinde ulaşılabilecek teorik sınır 1 milisaniye olup, 6G ve 7G şebekeleri ile gecikme 1 milisaniyeden 1 mikrosaniyeye düşecek ve bir saniyeden çok daha kısa sürede büyük veri aktarımlarını mümkün olacaktır.

## 7.5. 5G ve Ötesinin (6G, 7G) Sanal Gerçeklik ile Bağlantısı

5G ve ötesinin sanal gerçeklik ile bağlantısı iki ana ekseninde değerlendirilebilir. Bunlardan birincisi bu yeni ve hızlı şebekelerin sanal gerçeklik teknolojisinin ihtiyaç duyduğu yüksek hızlı veri iletişimi ve düşük gecikme potansiyelini artırarak sanal gerçeklik teknolojisinin farklı alanlarda kullanımını destekler nitelikte olmasıdır. Bir diğer deyişle sanal gerçekliğin, kesintisiz ve gerçeğe en yakın hale getirilebilmesi için bu teknolojilerin sunduğu altyapı mutlak surette gereklidir ve geliştirilmelidir.

4G ve öncesi sadece mobil standartları ifade ederken, çok daha gelişmiş olan 5G ve ötesi nesnelerin interneti başta olmak üzere sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik gibi birçok yeni teknolojiyi geliştirmek için bir araç olarak görülmektedir.

Yapılan araştırmalar 5G şebekelerin sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamalarını desteklemek için minimum altyapıyı sunacağına asıl gelişimin 6G ve 7G ile gerçekleşeceğine işaret etmektedir. Abi Research tarafından hazırlanan bir raporda 2026 yılına kadar endüstriyel akıllı gözlüklerin ve sanal gerçeklik cihazlarının yaklaşık %10'unun 5G teknolojisini kullanacağı tahmin edilmektedir. Bu oran

ilerleyen yıllarda talep ve uygulamaların artmasına ek olarak 6G ve 7G şebekelerinin de hayata geçmesiyle daha da artacaktır çünkü altyapı teknolojisi geliştikçe ultra düşük gecikme ve ultra yüksek bant genişliği amacına daha da yaklaşılabilecek, bu potansiyel de sanal gerçeklik ve ilişkili teknolojiler için kuvvetli bir kaldıraç etkisi yaratacaktır.<sup>34</sup>

Bir diğer eksen ise özellikle 6G ve 7G noktasında sanal gerçekliğin yapay zekâyla birlikte bu teknolojilerin yönetimi için kullanılacak bir standart haline dönüşmesine odaklanmaktadır. 6G ve 7G şebekeleri yapay zekâ vasıtasıyla otonom olarak kendi şebeke kontrollerini kendileri gerçekleştirebilecek, kendi hatalarını kendileri düzeltebilecek daha da ötesi kendi enerji ve iletişim verimliliklerini kendileri ayarlayabilecektir. Şebekenin bunu yapamadığı noktada insan müdahalesi gerekirse ilgili operatör fiziki olarak şebekenin ilgili noktasına gitmeyecek oturduğu yerden sanal gerçeklik teknolojisi ile duruma müdahil olabilecektir. Bir başka deyişle 5G ve ötesi yapay zekâ ve sanal gerçekliği dıştaki uygulamalar için altyapı noktasında desteklerken içteki uygulamalar için de şebeke yönetimi alanında kullanabilecektir.

Diğer taraftan, bu uygulamanın ilk örnekleri çoktan 5G teknolojisi ile hayata geçmeye başlamıştır. Dünya çapında önde gelen haberleşme ekipmanı sağlayıcılardan bir olan Ericsson firması tasarlanan şebekelerdeki teşhis verileriyle ilgili sorunları ciddileşmeden önce tespit etmek ve bunları anında düzeltmek için gerekli bilgileri sağlamak amacıyla ART (Artırılmış Gerçeklik Sorun Giderme) isimli bir uygulama geliştirmiştir. Şirket bu yeni teknolojiyi hâlihazırda Estonya'da yer alan üretim tesislerinde kullanmakta olup, bir sonraki adımda Çin'deki bir fabrikasında da hayata geçirmeyi, ilerleyen zamanda da tüm üretim tesislerinde kullanılacak şekilde yaygınlaştırmayı planlamaktadır.<sup>33</sup>



<sup>34</sup> Augmented and Virtual Reality Device Connectivity, <https://www.abiresearch.com/market-research/product/1029629-augmented-and-virtual-reality-device-conne/>

## BÖLÜM 8: SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Sanal gerçeklik teknolojisi, son yılların en hızlı gelişen teknolojilerinden biri olmuştur. Farklı pazar araştırmalarına göre, sanal gerçekliğe olan talebin önümüzdeki beş yıl içinde katlanarak büyüyeceği tahmin edilmektedir. Bu hızlı büyüme sanal gerçeklik için yeterli işlem gücü sağlayabilen yeni nesil mobil cihazların yaygınlaşmasıyla birlikte daha da hızlanacaktır. Sanal gerçeklik cihazları, tüketicilere gerçek dünyayı taklit eden deneyimler sunarken, aynı zamanda kullanıcıların gerçek dünya koşullarından bağımsız olarak etkileşimde bulunmalarına da izin vermektedir.

Bu bağlamda donanım pazarı sanal gerçeklik açısından hâlihazırda yazılım pazarından önde gitse de ilerleyen yıllarda değişik pazarlardaki sanal gerçeklik ihtiyaçlarını karşılamak için talep artacak, talebin artması nedeniyle de yazılım pazarı donanım pazarından daha hızlı bir büyümeye tanık olacaktır.

Sanal gerçeklik ve ilişkili teknolojiler açısından hâlihazırda bölgesel olarak endüstrideki payın en büyük kısmını oluşturan Kuzey Amerika bölgesi gelecek yıllarda da lider konumu sürdürecektir olup, donanımdan yazılıma doğru gerçekleşecek bu dönüşüm ilk olarak yine bu bölgeden başlayacaktır. Kuzey Amerika bölgesini savunma ve ticari alanlardaki yatırımların artmasıyla başka birçok yeni teknolojiye de ev sahipliği yapacak olan Asya-Pasifik bölgesi izleyecektir.

Yapılan çalışmalarda elde edilen öngörüler, sanal gerçeklik teknolojisinin gelecekte en çok eğitim ve eğlence alanında kullanılacağı yönündedir. Ayrıca, tıp ve mühendislik gibi mesleki disiplinler de bu konuda öne çıkan diğer alanları oluşturmaktadır.

Diğer taraftan, alan her ne olursa olsun sanal gerçeklik uygulamalarına yönelik en büyük talep ticari tabanlı olacaktır. Bunun temel sebebi bugün henüz akademik alanda denenmekte olan sanal gerçeklik bağlantılı çoğu teknolojinin ilerleyen yıllarda gelişen altyapı ve ucuzlayan maliyetler nedeniyle ticari kullanıma doğru evrilecek olmasıdır.

Sanal gerçeklik teknolojisinin kullanım alanlarının giderek genişlemesi ve bu teknolojinin gelecekte daha fazla alanda kullanılabilir hale gelmesi bu teknolojinin etik ve güvenlik açısından dikkate alınmasını gerektiren birçok bağlantılı konuyu da ortaya çıkaracaktır. Bu nedenle sanal gerçeklik teknolojisinin geliştirilmesi ve kullanımı sırasında bu konuların da bugünden dikkate alınması ve olası farklı senaryolarda ne tür yaklaşımlar benimseneceğinin net olarak ortaya konulması büyük önem arz etmektedir.

Ülkemizde sanal gerçeklik üzerine yoğunlaşan çalışmalar genellikle akademik ortamda gerçekleştirilmekte olup, hâlihazırda ticari olarak sunulan ürünlere pek rastlanılmamaktadır.

Genel anlamda henüz başlangıç aşamasında olduğu değerlendirilen sanal gerçeklik uygulamalarına verilebilecek güzel örnekler arasında Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Dil Eğitim & Öğretim Uygulama ve Araştırma Merkezi'nin sunduğu Sanal Gerçeklik İle Türkçe Öğretimi uygulaması,<sup>35</sup> Crytek ve

<sup>35</sup> Türkiye'de Bir İlk Sadem'de Sanal Gerçeklik İle Türkçe Öğretimi, <https://sadem.subu.edu.tr/tr/turkiyede-bir-ilk-sademde-sanal-gerceklik-ile-turkce-ogretimi>

Bahçeşehir Üniversitesi işbirliği ile kurulan Sanal Gerçeklik Laboratuvarı<sup>36</sup> ve Koç Üniversitesi tarafından kurulan Karma Gerçeklik Laboratuvarı<sup>37</sup> sayılabilir. Kuşkusuz bu tür girişimlerin artması ve sanal gerçeklik teknolojisinin ticari olarak sunulan örneklerinin de yerli ve milli olarak geliştirilip daha sık görülmeye başlanması ülkemizin bu alanda söz sahibi olması açısından faydalı olacaktır.

Bu bağlamda sanal gerçeklik teknolojisinin olmazsa olmazı olan mobil iletişim altyapısının geliştirilmesine de ihtiyaç duyulmakta olup, bu amaca yönelik olarak atılan her türlü adım doğrudan sanal gerçeklik teknolojisini geliştirmeye yönelik olarak yapılan her çalışma kadar önemli bir hale gelmektedir.

Arzu edilen güçlü iletişim altyapısı için 4,5G yetkilendirmesinin tek başına yeterli olmayacağını ve sürecin 5G'ye doğru ilerlediğinin farkında olarak Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından kurulmuş olan 5GTR Forum'u 5G ve ötesi yeni nesil mobil haberleşme sistemlerinde yerli ve milli olarak dünya pazarında yer alacak katma değeri yüksek ürün, hizmet ve teknolojiler geliştirmek amacıyla ulusal ve uluslararası seviyede kamu-sanayi ve akademinin işbirliği ile ekosistemdeki paydaşlarla çalışmalar yapmaya devam etmektedir.

Bu çalışmalara ek olarak yine Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu koordinasyonunda yürütülen 5G Vadisi Açık Test Sahası Projesi ile Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Bilkent Üniversitesi ve Hacettepe Üniversitesinin yerleşkeleri ile BTK Merkez Binası arasındaki alanı kapsayacak bölgede üniversitelerin, araştırma merkezlerinin, şirketlerin ve girişimcilerin 5G ve ötesine ilişkin uygulama ve teknolojileri test edebilecekleri ve katma değer oluşturabilecekleri bir ortamın oluşturulması hedeflenmektedir.

5G ve ötesi konusundaki bu çabalar konuya yönelik nitelikli insan kaynağı yetiştirmek amacıyla hayata geçirilen 5G ve Ötesi Ortak Lisansüstü Destekleme Programı ile desteklenmektedir. Söz konusu program sayesinde, üniversitelerde bu konularda yüksek lisans ve doktora yapan araştırmacılar ve öğrencilere mobil işletmeciler tarafından destek sağlanmaktadır. Yapılan tüm bu çalışmalar 5G ve ötesi ile ilgili başka birçok gelişmeyi etkilediği gibi sanal gerçeklik ve ilişkili teknolojiler konusundaki çalışmalarını da ivmelendirici bir etki gösterecektir.

Sanal gerçeklik özelinde iyi çalışan bir altyapıyı paydaşlara sunmak ve nitelikli insan kaynağı yetiştirmek ne kadar önemliyse bu konudaki girişimleri büyütme ve destekleme de bir o kadar önemlidir. Bu bağlamda sanal gerçeklik ve bağlantılı teknolojileri geliştirmeye yönelik girişimlerin sayısının artırılması, bu tür oluşumlara destekler ve muafiyetler sağlanması ve iş yapılan alandaki mevzuatın ve teamüllerin belirlenmesi de kamu tarafında gerçekleştirilmesi gereken adımlar arasında yer almaktadır. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu bu alanı dikkatlice izlemekte olup başka birçok alanda olduğu gibi gerektiği yerde yol gösterici, gerektiği yerde destekleyici, gerektiği yerde ise düzenleyici olarak çalışmalarına devam etmektedir.

<sup>36</sup> Türkiye'nin İlk Sanal Gerçeklik Laboratuvarı Açıldı, <https://bau.edu.tr/haber/10293-bau-crytek-virtual-reality-lab-acildi>

<sup>37</sup> Türkiye Sanal ve Artırılmış Gerçeklikte İnsan Kaynağı Yetiştirmeye Başladı, <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/turkiye-sanal-ve-artirilmis-gerceklikte-insan-kaynagi-yetistirmeye-basladi/1627508>

## KAYNAKÇA

1. TiRiDi, Sanal Gerçeklik Nedir?  
<https://www.tiridi.com/sanal-gerceklik/sanal-gerceklik-nedir.html>
2. TUNÇ Seçkin, Sanal Gerçeklik Ortamlarında Kişilerin Etkileşim ve İzlenme Kaygılarının Belirlenmesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2018  
[https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/239729/yokAcikBilm\\_10227679.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/239729/yokAcikBilm_10227679.pdf?sequence=-1&isAllowed=y)
3. BAYRAKTAR Erkan, KALELİ Fatih, Sanal Gerçeklik ve Uygulama Alanları, Akademik Bilişim, Şubat 2007  
<https://ab.org.tr/ab07/bildiri/160.pdf>
4. BAYRAM Şule Bıyık, ÇALIŞKAN Nurcan, Beceri Öğretiminde Sanal Gerçeklik, JERN 2021  
[https://www.jer-nursing.org/Content/files/sayilar/91/JERN\\_Turk-D-21-81542.pdf](https://www.jer-nursing.org/Content/files/sayilar/91/JERN_Turk-D-21-81542.pdf)
5. FERHAD Savaş, Dijital Dünyanın Gerçekliği, Gerçek Dünyanın Sanallığı Bir Dijital Medya Ürünü Olarak Sanal Gerçeklik, TRT Akademi, 2016  
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/218567>
6. TUNÇ Seçkin, Sanal Gerçeklik Ortamlarında Kişilerin Etkileşim ve İzlenme Kaygılarının Belirlenmesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2018  
[https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/239729/yokAcikBilm\\_10227679.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/239729/yokAcikBilm_10227679.pdf?sequence=-1&isAllowed=y)
7. BAYRAM Şule Bıyık, ÇALIŞKAN Nurcan, Beceri Öğretiminde Sanal Gerçeklik, JERN 2021  
[https://www.jer-nursing.org/Content/files/sayilar/91/JERN\\_Turk-D-21-81542.pdf](https://www.jer-nursing.org/Content/files/sayilar/91/JERN_Turk-D-21-81542.pdf)
8. TUNÇ Seçkin, Sanal Gerçeklik Ortamlarında Kişilerin Etkileşim ve İzlenme Kaygılarının Belirlenmesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2018  
[https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/239729/yokAcikBilm\\_10227679.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/239729/yokAcikBilm_10227679.pdf?sequence=-1&isAllowed=y)
9. FERHAD Savaş, Dijital Dünyanın Gerçekliği, Gerçek Dünyanın Sanallığı Bir Dijital Medya Ürünü Olarak Sanal Gerçeklik, TRT Akademi, Sayı 2 Temmuz 2016  
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/218567>

10. KILLIOĞLU Süleyman, Sanal Gerçekliğin Türkiye Madencilik Endüstrisinde Kullanılabilirliği, Hacettepe Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2013  
<http://www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11655/2831/8e98460a-3a33-41b1-9d47-e37daafbdfca.pdf?sequence=1>
11. MCLELLAN Hillary, Virtual Reality  
<http://members.aect.org/edtech/ed1/pdf/15.pdf>
12. ARLENE Strulle, Differentiation Of The Causal Characteristics And Influences Of Virtual Reality and The Effects On Learning At A Science Exhibit, 2004  
<https://digital.sandiego.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1733&context=dissertations>
13. A study commissioned by the ICRC Innovation Board, 2018  
<https://blogs.icrc.org/inspired/wp-content/uploads/sites/107/2019/10/Extended-Reality-Report-BRIEF.pdf>
14. R. SILVA, J. C. OLIVEIRA, G. A. GIRALDI, Introduction to Augmented Reality  
<https://www.lncc.br/~jauvane/papers/RelatorioTecnicoLNCC-2503.pdf>
15. AJUNEWANIS Ismail, Augmented Reality Theory And Applications  
<https://core.ac.uk/download/pdf/11791948.pdf>
16. <https://www.adobe.com/products/substance3d/discover/mixed-reality.html>
17. Mixed Reality, Deloitte University Press  
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/technology/deloitte-uk-tech-trends-2017-mixed-reality.pdf>
18. SOMAİİEH Rokhsaritalemi 1 , ABOLGHASEM Sadeghi-Niaraki , A Review on Mixed Reality: Current Trends, Challenges and Prospects, 2020  
<https://3dvar.com/Rokhsaritalemi2020A.pdf>
19. <https://case.edu/hololens/>
20. Mixed Reality, Deloitte University Press  
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/technology/deloitte-uk-tech-trends-2017-mixed-reality.pdf>
21. <https://www.euronews.com/next/2022/06/28/hologram-patients-and-mixed-reality-headsets-help-train-uk-medical-students-in-world-first>
22. KELLEN Ryan O., Using Augmented and Virtual Reality to Improve Social, Vocational, and Academic Outcomes of Students With Autism and Other Developmental Disabilities
23. Dr. BRENDA K., The Potential for Virtual Reality to Improve Health Care, BCIA

24. <https://www.forbes.com/health/mind/virtual-reality-therapy/>
25. <https://www.nytimes.com/2021/06/03/well/mind/vr-therapy.html>
26. <https://www.rdworldonline.com/virtual-snowworld-helps-burn-victims-cope-with-extreme-pain/>
27. <https://news.utdallas.edu/health-medicine/virtual-reality-helps-children-on-autism-spectrum/>
28. BARETT Martin, Using Virtual Reality Modelling to Enhance Electrical Safety and Design in the Built Environment
29. Sanal Gerçeklik ve Arttırılmış Gerçeklik Teknolojilerinin Turizm Uygulamaları ve Pazarlamadaki Yeri, Uluslararası Kırsal Turizm ve Kalkınma Dergisi
30. Facebook Wants To Lean Into The Metaverse. Here's What It Is And How It Will Work  
<https://www.npr.org/2021/10/28/1050280500/what-metaverse-is-and-how-it-will-work>
31. The Metaverse: What It Is, Where to Find it, and Who Will Build It  
<https://www.matthewball.vc/all/themetaverse>
32. STEFAN Hall, LI Cathy, The Technologies That Could Make Up the Metaverse, 2021  
<https://www.brinknews.com/what-is-the-metaverse/>
33. Augmented and Virtual Reality Device Connectivity, <https://www.abiresearch.com/market-research/product/1029629-augmented-and-virtual-reality-device-conne/>
34. Türkiye'de Bir İlk Sadem'de Sanal Gerçeklik İle Türkçe Öğretimi, <https://sadem.subu.edu.tr/tr/turkiyede-bir-ilk-sademde-sanal-gerceklik-ile-turkce-ogretimi>
35. Türkiye'nin İlk Sanal Gerçeklik Laboratuvarı Açıldı, <https://bau.edu.tr/haber/10293-bau-crytek-virtual-reality-lab-acildi>
36. Türkiye Sanal ve Arttırılmış Gerçeklikte İnsan Kaynağı Yetiştirmeye Başladı, <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/turkiye-sanal-ve-artirilmis-gerceklikte-insan-kaynagi-yetistirmeye-basladi/1627508>

