

# SANAL GERÇEKLİK UYGULAMALARINDA EL TAKİP ETKİLEŞİMLERİNİN KULLANICI DENEYİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ: HAND PYSHICS LAB ÖRNEĞİ<sup>1</sup>

Fırat TORUN  
Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye  
firat.torun@std.yildiz.edu.tr  
<https://orcid.org/0009-0006-6239-9776>

Ertan TOY  
Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye  
ertantoy@yildiz.edu.tr  
<https://orcid.org/0000-0002-7959-7967>

<i>Atıf</i>	Torun, F. & Toy, E. (2026). Sanal Gerçeklik Uygulamalarında El Takip Etkileşimlerinin Kullanıcı Deneyimi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi: Hand Pyshics Lab Örneği, <i>Yeni Medya Elektronik Dergisi</i> , 10 (1), 68-98.
-------------	---

## ÖZ

Sanal Gerçeklik teknolojisi, kullanıcıların dijital ortamlarla etkileşim biçimlerini yeniden şekillendirirken, son yıllarda el takibi teknolojisinin entegrasyonu sanal gerçeklik deneyimlerini daha etkileşimli ve doğal hale getirmiştir. El takibi teknolojisi, kullanıcıların ellerini dijital ortamda doğrudan kullanabilmesini sağlayarak, sanal gerçeklik uygulamalarında etkileşimi daha sezgisel bir hale getirmektedir. Ancak, bu teknolojiyle birlikte kullanıcı deneyiminde karşılaşılan zorluklar ve tasarım gereksinimleri literatürde henüz yeterince araştırılmamıştır. Bu çalışma, Hand Physics Lab uygulaması üzerinden el takibi teknolojisinin sanal gerçeklik ortamındaki kullanıcı etkileşimine etkilerini ve etkileşim tasarımında karşılaşılan zorlukları incelemeyi amaçlamaktadır.

<sup>1</sup> Bu makale, Yıldız Teknik Üniversitesi İnteraktif Medya Tasarımı Yüksek Lisans Programında Doç. Dr. Ertan TOY danışmanlığında yürütülmekte olan “Sanal Gerçeklikte El Takibi Etkileşimlerinin Kullanılabilirlik Açısından Karşılaştırılması” başlıklı tezin bir bölümünü içermektedir.

Bu amaç doğrultusunda çalışma, nitel araştırma yöntemlerinden betimsel analiz ve içerik analizi deseninde kurgulanmıştır. Veriler, Oculus Quest 3S kullanılarak gerçekleştirilen 15 saatlik uzman değerlendirmesi sürecinde, amaçlı örneklem yöntemiyle seçilen ekran görüntüleri üzerinden toplanmıştır. Elde edilen bulgular, Nielsen'in 10 kullanılabilirlik ilkesi çerçevesinde sınıflandırılarak analiz edilmiştir. Çalışmada, Hand Physics Lab'in sunduğu etkileşim mekanizmaları, kullanıcıların fiziksel hareketlerinin dijital ortama yansıtılma başarısı ve teknik sınırlamalar derinlemesine ele alınmıştır. Sonuç olarak, el takibi teknolojisinin sanal gerçeklik deneyimlerini iyileştirme potansiyeline sahip olduğu, ancak bu potansiyelin kullanıcı dostu etkileşim tasarımı ve ergonomik faktörlerle desteklenmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** *Sanal Gerçeklik, Kullanılabilirlik, Ergonomi, El İzleme Teknolojisi, İBE (İnsan Bilgisayar Etkileşimi), Teknolojik Uyum.*

## **EXAMINING THE EFFECTS OF HAND TRACKING INTERACTIONS ON USER EXPERIENCE IN VIRTUAL REALITY APPLICATIONS: THE CASE OF HAND PHYSICS LAB**

### **ABSTRACT**

While Virtual Reality technology reshapes the way users interact with digital environments, the integration of hand tracking technology in recent years has rendered virtual reality experiences more interactive and natural. Hand tracking technology enables users to utilize their hands directly within the digital environment, thereby making interaction in virtual reality applications more intuitive. However, the challenges encountered in user experience and the design requirements associated with this technology have not yet been adequately explored in the literature. This study aims to investigate the effects of hand tracking technology on user interaction in virtual reality environments and the challenges faced in interaction design, using the Hand Physics Lab application as a case study.

To this end, the study is structured within the framework of descriptive analysis and content analysis, which are qualitative research methods. Data were collected via screenshots selected using the purposive sampling method during a 15-hour expert review process conducted with the Oculus Quest 3S. The obtained

findings were analyzed by classifying them within the framework of Nielsen's 10 Usability Heuristics. The study provides an in-depth examination of the interaction mechanisms offered by Hand Physics Lab, the accuracy of translating users' physical movements into the digital environment, and the observed technical limitations. In conclusion, it is emphasized that while hand tracking technology demonstrates the potential to enhance virtual reality experiences, this potential must be supported by user-friendly interaction design and ergonomic factors.

**Keywords:** *Virtual Reality, Usability, Ergonomics, Hand Tracking, HCI (Human-Computer Interaction), Technological Adaptation.*

## GİRİŞ

El hareketiyle bilgisayar kontrolü, ilk olarak eldiven tabanlı kontrol arayüzlerinin geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Araştırmacılar, işaret dilinden esinlenerek belirli el hareketlerinin bilgisayar arayüzleri için basit komutlar sağlayabileceğini fark etmişlerdir. Bu alandaki ilerlemeler, ivmeölçerler, kızılötesi kameralar ve fiber optik büküm sensörleri gibi teknolojilerin gelişmesiyle hız kazanmıştır. Zamanla, eldiven tabanlı sistemler daha da gelişerek, sensör kullanımına gerek kalmadan bilgisayar görüşü tabanlı el hareketi tanıma teknolojilerine evrilmiştir. Bu sürecin önemli aşamalarından biri de, parmak hareketlerini izlemek için özel renklerle tasarlanmış renkli eldivenlerin kullanılmasıdır. El takibi teknolojisi, 1980'li yılların sonunda geliştirilen Data Glove ile ilk kez karşımıza çıkmıştır. Data Glove, kullanıcının eline giydiği ve parmaklarına ya da eklemelerine yerleştirilmiş dokunsal veya diğer duyuşal birimlerle donatılmış, kablolu bir kontrol arayüzü olarak tasarlanmıştır (Premaratne, 2014). Eldiven tabanlı sistemlerden bilgisayar görüşü destekli izleme yöntemlerine geçiş, el hareketi takibi alanında önemli bir dönüşüm yaratmıştır. Bu gelişmelerin en ileri örneklerinden biri de, optik izleme teknolojisini kullanan Leap Motion'dır. Stereo görüşü kullanarak Leap Motion, optik bir izleme sistemi olarak çalışır ve elleri, parmakları ve parmak benzeri araçları olağanüstü doğruluk ve gerçek zamanlı izleme kare hızlarıyla izlemeyi ve takip etmeyi sağlar. Ayrıca, jest tanıma kontrolörleri, görsel menzilleri içindeki bireysel hareket parametrelerini yakalama yeteneğine sahiptir. Bu, cihazın merkezi tepe noktası olan bir piramit şeklindedir (Lei et al., 2023). Günümüze gelindiğinde, ticari sanal gerçeklik sistemleri genellikle elde taşınan kontrol cihazları (örneğin, Oculus tech) yoluyla sanal ortamlar ve nesnelere (baş hareketlerinin ötesinde) etkileşime olanak tanır. Bu tür kurulumlar, örneğin, madencilikte veya üretim senaryolarında güvenlik ve ekipman eğitimi için kullanılmıştır (Masurovsky et al., 2020). Hand Physics Lab,

kullanıcıların elleri ve parmakları üzerinde tam kontrol sağlayarak sanal ortamları fiziksel etkileşim kurmalarını mümkün kılan bir sanal gerçeklik uygulamasıdır. Uygulama, kullanıcıların yalnızca elleriyle değil, aynı zamanda parmaklarıyla da çeşitli nesnelere ve deneyimlerle etkileşime girmesine olanak tanımakta ve 80'i aşkın farklı bulmaca ve görevi içermektedir (Hand Physics Lab, 2025). Ancak, bu tür bir uygulamanın kullanıcı deneyimi açısından değerlendirilmesi, yalnızca teknolojik yenilikleri değil, aynı zamanda ergonomi, etkileşim akışları ve kullanıcı davranışlarıyla ilişkili çeşitli unsurları da içerir. Bu makalede, Hand Physics Lab uygulaması özelinde, el takibi teknolojisinin ergonomi ve kullanıcı deneyimi üzerindeki etkileri incelenmektedir. Özellikle, el ve kol hareketlerinin sanal dünyada nasıl algılandığı, kullanıcı etkileşimiyle nasıl bütünleştiği ve bu etkileşimlerin fiziksel ve zihinsel rahatlık açısından nasıl bir deneyim sunduğu üzerinde durulacaktır. Ayrıca, sanal gerçeklik ortamlarında kullanıcıların doğal el hareketlerini takip etme ve bu hareketlere karşılık gelen geri bildirimlerin nasıl optimize edilebileceği tartışılacaktır. Bu bağlamda, Hand Physics Lab'ın sağladığı etkileşimler, fiziksel gerçekliğe ne kadar yakın veya uzak olduğu, kullanıcıların oyun içindeki davranışlarıyla paralellik gösterip göstermediği gibi sorulara odaklanılacaktır. Kullanıcıların uygulama ile olan etkileşimlerinin derinlemesine analiz edilmesi, daha verimli, kullanıcı dostu ve ergonomik sanal gerçeklik deneyimlerinin tasarlanmasında önemli bir yol haritası sunacaktır. Araştırmanın birinci bölümünde, el takibi teknolojisi ve Nielsen'in kullanılabilirlik ilkeleri alanındaki mevcut literatür taraması yapılmıştır. İkinci bölümde, çalışma için kullanılan yöntem detaylandırılmıştır. Üçüncü bölümde ise, Hand Physics Lab uygulaması Nielsen'in on temel kullanılabilirlik ilkesine göre analiz edilerek, kullanıcı deneyimi ve ergonomik özellikleri değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde elde edilen bulgular sunulmuş; uygulamanın olumlu ve olumsuz yönleri tartışılmıştır. Son olarak, beşinci bölümde sonuçlar özetlenmiş ve geleceğe yönelik öneriler ortaya konulmuştur.

## LİTERATÜR TARAMASI

### Sanal Gerçeklik Uygulamalarında Etkileşim ve Kullanıcı Deneyimi

Sanal Gerçeklik uygulamaları, kullanıcıların dijital ortamlarla etkileşim biçimini tamamen dönüştürerek, sanal ve fiziksel dünyalar arasındaki sınırları bulanıklaştıran tam anlamıyla sürükleyici, üç boyutlu deneyimler sunar. Bu uygulamalar, kullanıcıların içeriği doğal ve sezgisel bir şekilde deneyimlemelerini sağlayarak duygusal ve bilişsel katılımı derinleştirir. Oyun, eğitim, sağlık hizmetleri ve eğitim simülasyonlarından birçok sektöre kadar sanal gerçeklik, yenilik için sayısız fırsat sunmuştur. Teknoloji geliştikçe, ergonomik

gereksinimlerin karşılanması, hareket hastalığının azaltılması ve etkileşim mekanizmalarının iyileştirilmesi gibi yeni zorluklar ve fırsatlar ortaya çıkmaktadır. Bu karmaşıklıkları anlamak, sanal gerçeklik sistemlerinin yalnızca kullanıcıları cezbetmekle kalmayıp aynı zamanda kullanılabilirlik, erişilebilirlik ve genel memnuniyeti artıran bir şekilde tasarlanması için kritik öneme sahiptir.

İnsan-Bilgisayar Etkileşimi (HCI) tasarımı, kullanıcı deneyimlerini geliştirmede önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, geleneksel grafiksel kullanıcı arayüzleri (GUI) temelinde yapılan etkileşim tasarımı araştırmaları, sanal gerçeklik etkileşimlerine yönelik ortaya çıkan ihtiyaçları karşılamak için yetersiz kalmaktadır. Günümüzde sanal gerçeklik etkileşim arayüzleri için belirlenmiş bir değerlendirme standardı veya sistematik bir tasarım kılavuzu bulunmamaktadır. Mevcut çalışmalar ise birçok sınırlama barındırmaktadır. Örneğin, bazı vaka incelemeleri, sanal gerçeklik etkileşim arayüzlerinin farklı tasarımlarını, belirli etkileşim görevleri bağlamında ampirik olarak değerlendirmekten yoksundur. Ayrıca, önceki araştırmalar, sanal gerçeklik etkileşim arayüzü tasarımının farklı kullanıcı özelliklerine sahip bireyler üzerindeki etkisini nadiren ele almış ve kullanıcı çalışmaları genellikle sayı, çeşitlilik ve süre açısından sınırlı kalmıştır. Dünya genelinde sanal gerçeklik donanımı ve platform geliştirmeye yönelik araştırmalar artış göstermiştir; ancak bu çalışmaların büyük bir kısmı bilgi bilimi ve mühendislik çerçevesinde sınırlı kalmakta, sanat, antropoloji ve psikoloji gibi beşerî ve sosyal bilimlerden gelen bilgi birikimini entegre eden disiplinler arası yaklaşımlar oldukça azdır. Bunun yanı sıra, yeni türde çok kanallı etkileşimli arayüzler hızla geliştirilmektedir; fakat görme, işitme, dokunma, tat ve koku gibi duyuşsal kanalları birleştiren araştırmalar sınırlıdır. Kullanıcıların farklı duyuşlar aracılığıyla nasıl bilgi edindiğini anlamak ve bu bilgiyi sanal gerçeklik etkileşim deneyimini geliştirmek için kullanmak, acil bir ihtiyaçtır. Özetle, sanal gerçeklik etkileşim arayüzü tasarımına ilişkin araştırmalar henüz başlangıç aşamasındadır ve kapsamlı bir literatür taramasının eksikliği dikkat çekmektedir (Chen et al., 2020).

Doğal kullanıcı arayüzü (NUI) terimi ilk olarak 1970'lerde Steve Mann tarafından önerilmiş ve gerçek dünyayı yansıtan bir arayüzü tanımlamak için icat edilmiştir. Doğal Kullanıcı Arayüzü (NUI), minimum görsel yönlendirme gerektiren ve öğrenmesi kolay bir arayüz olarak tanımlanır. Geleneksel grafiksel kullanıcı arayüzleri veya komut satırı arayüzlerinden farklı olarak, klavye veya fare gibi geleneksel giriş/çıkış cihazları olmadan doğal bir şekilde kullanılabilir. NUI, kullanıcının önceki deneyimlerine dayanarak doğal olmayı amaçlar ve bu sayede kullanıcılar, iyi tasarlanmış bir arayüzü eğitim almadan kullanabilirler. Ayrıca, McGloin ve Krmar, oyunlarda doğal kontrollerin kullanılmasının algılanan gerçeklik (grafikler ve ses) üzerinde etkili olduğunu ve bunun mekânsal

varlık hissini ve keyif almayı artırabileceğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, sanal gerçeklik uygulamalarında kullanılan NUI tasarımı, kullanıcıların etkileşimlerini daha sezgisel hale getirebilir ve mekânsal farkındalıklarını güçlendirerek kullanıcı deneyimini iyileştirebilir (Laine & Suk, 2024)

Sanal Gerçeklik teknolojisi önemli ölçüde ilerleyerek kullanıcı etkileşimini ve katılımını yeniden tanımlayan sürükleyici deneyimler sunmaktadır. Sanal gerçeklikteki etkileşim arayüzlerinin tasarımı, kullanıcı deneyimini geliştirmek için çok önemlidir ve bu da onu araştırma ve geliştirmenin odak noktası haline getirir. Sanal gerçeklik uygulamalarındaki tasarım öğeleri "kullanıcı", "çevre", "arayüz" ve "etkileşim" olarak dört kategoriye ayrılmıştır ve bunlardan "arayüz", sanal gerçeklik kullanıcı deneyiminin odak noktasıdır. "İnsan-bilgisayar arayüzü", sanal gerçeklik sistemlerinde en yaygın kullanılan sanal arayüzdür ve bir dizi işlevsel navigasyon çubuğu, diyalog pencereleri, mesaj kutuları ve diğer grafiksel sayfaların yanı sıra 3D modelleme yazılımı kullanılarak oluşturulan üç boyutlu bir mekânsal arayüzü içerir. Kullanıcının işlem süreci de bu etkileşimli arayüzler aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu nedenle, sanal gerçeklik arayüz tasarım modları, kullanıcı deneyimi sürecinin vazgeçilmez bir parçasıdır (Xie, 2023).

## Sanal Gerçeklik ve El İzleme

Ellerimiz, karşıt başparmaklarımız sayesinde sahip olduğumuz çeviklik ile, bizi insan olmayan primatlardan ayıran temel özelliklerimizden biridir. Ellerimizi jest yapmak, hissetmek ve çevremizle etkileşim kurmak için uyanık olduğumuz her an neredeyse kullanırız. Ellerimizi kullanmaktan alıkonulduğumuzda veya sınırlı kaldığımızda, derinden etkileniriz ve bir zamanlar sıradan olan birçok görev sinir bozucu derecede zorlaşır (Buckingham, 2021).

Sanal gerçeklik içinde el takibi, sanal ortamlarda doğal ve sezgisel kontrol sağlayarak önemli bir ilerleme olarak ortaya çıkmıştır. Bu teknoloji, el hareketlerini yakalamak için sensörler ve kameralardan yararlanarak, geleneksel kontrolörlere ihtiyaç duymadan dijital eylemlere dönüştürür. 3D renderleme ve görselleştirme için bir kullanıcının elini izlemek, sanal gerçeklik ortamlarında varlık hissi yaratır. Şu anda hem araştırma hem de tüketici kullanımı için üretilen izleme cihazlarına giderek daha kolay erişilebilir ve uzaysal-zamansal doğrulukları sürekli artmaktadır (Cameron et al., 2021).

İnsan eli, yüksek bant genişliğine sahip iletişim modaliteleri için benzersiz bir araç olup, yazma ve işaret dili gibi karmaşık görevleri başarıyla yerine getirebilir. Bu biyolojik arayüzün potansiyeli göz önüne alındığında, insan-bilgisayar etkileşiminde el hareketlerinin doğru ve gerçek zamanlı takibi, pek çok alanda

önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Ancak, elin karmaşık eklem yapısı ve dinamik hareketleri nedeniyle bu hedef, günümüzde tam anlamıyla gerçekleştirilememektedir.

Var olan el takip sistemleri, genellikle kullanıcıya ek cihazlar (eldiven, işaretleyici) takmayı gerektirmekte, bu da sistemin kullanılabilirliğini sınırlamaktadır. Kamera tabanlı sistemler, daha az müdahaleci olmalarına rağmen, parmakların birbirini örtmesi, farklı aydınlatma koşulları ve el hareketlerinin hızı gibi zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum, mevcut sistemlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini olumsuz etkileyerek, özellikle sanal gerçeklik gibi gerçek zamanlı etkileşim gerektiren uygulamalarda performans düşüklüğüne neden olmaktadır (Sharp et al., 2015).

Sanal gerçekliğin temel hedeflerinden biri, kullanıcının bilgisayar tarafından oluşturulan ortamla doğal bir şekilde etkileşimde bulunmasını sağlamaktır. Bu etkileşim, en basit haliyle, kullanıcının başını hareket ettirerek geniş görsel dünyayı deneyimlemesiyle elde edilebilir. Ancak daha modern sanal gerçeklik deneyimleri genellikle kapı açmaktan silah kullanmaya kadar uzanan bir tür manuel etkileşim içerir. Ellerin hassas bir şekilde takip edilmesi, yalnızca kullanıcıların daha fazla kendini kaptırmasını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda hareketlerinin doğruluğunu da artırabilir. Bu, özellikle eğitim bağlamında önemli bir unsur gibi görünmektedir (Buckingham, 2021).

Sanal gerçeklik içerisinde daldırmanın önemli bir faktörü, kullanıcının elinin sanal ortamda doğru ve zamanında izlenmesi ve temsil edilmesidir. Kullanıcı, elinin sanal bir render'ını ve hareketlerinin diğer nesnelere hareketlerine göre göreceli olarak görebiliyorsa, kullanıcının sanal elinin niyetlerini somutlaştırdığını hissetme şansı çok daha yüksektir. Şu anda, CyberGlove II, 5DT Data Glove Ultra ve Microsoft Kinect gibi el ve vücudu izlemek için piyasada çeşitli yöntemler bulunmaktadır, ancak her biri kullanım kapsamı bakımından bir şekilde sınırlıdır, bazıları oldukça maliyetlidir ve diğerleri grafik ve haptik renderlama motorlarına sahip sanal ortamlarla bütünleştirilmesi zordur. Düşük maliyetli, uyarlanabilir ve doğru bir izleme çözümü, daha sezgisel ve etkili bir sanal ortam sağlayacaktır (Cameron et al., 2021).

Oculus Quest HMD (başa takılan ekran) kullanılarak el hareketi izleme ve kontrol cihazı etkileşimlerinin incelendiği, 20 katılımcıyla gerçekleştirilen bir çalışmada, el hareketi izleme ve kontrol cihazı tabanlı etkileşimlerin kullanıcı deneyimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırma, kullanıcıların görev türüne ve etkileşim yöntemine bağlı olarak farklı deneyimler yaşadığını ortaya koymuştur. Nesne kavrama (grabbing) görevi, daha doğal bir etkileşim türü olduğu için katılımcılarda daha yüksek gerçeklik ve varlık hissi yarattırken,

yazma (typing) görevi daha fazla dikkat gerektirdiğinden uyarılma düzeylerini artırmıştır. Etkileşim türleri arasında, saf el hareketi izleme yöntemi kullanıcılar tarafından daha pozitif bir deneyim sunmuş, ancak daha düşük hakimiyet ve kontrol hissine neden olmuştur. Buna karşılık, kontrol cihazlarının hem cihaz hem de el olarak görselleştirildiği yöntem, kullanıcıların alışkanlıkları nedeniyle en çok tercih edilen yöntem olmuştur. Çalışma, farklı görevler ve teknolojiler için en uygun etkileşim yöntemlerinin seçimine rehberlik edebilecek önemli bulgular sunmuştur. Özellikle, doğal görevlerde el hareketi izleme daha etkili olurken, karmaşık görevlerde kontrol cihazlarının daha uygun olduğu tespit edilmiştir (Voigt-Antons et al., 2020).

### **Nielsen'in On Kullanılabilirlik İlkesi (Heuristics)**

Nielsen (2006) tarafından tanımlanan on kullanılabilirlik ilkesi, etkileşimli sistemlerin kullanıcı dostu bir yapıya kavuşması için temel bir çerçeve sunmaktadır. Bu ilkelerin ilki olan sistem durumunun görünürlüğü, sistemin kullanıcıya neler olup bittiği hakkında her zaman makul bir süre içinde ve uygun geri bildirimlerle bilgi vermesini gerektirir. Sistem ile gerçek dünya arasındaki eşleşme ilkesi ise tasarımın teknik terimlerden arınarak kullanıcının aşına olduğu dil ve kavramları doğal bir mantıkla sunmasını savunur. Kullanıcıların sıklıkla yanlış işlemler yapabileceği gerçeğinden yola çıkan kullanıcı kontrolü ve özgürlüğü ilkesi, karmaşık süreçlere girmeden hatadan dönmeyi sağlayan "acil çıkış" mekanizmalarının önemini vurgularken, tutarlılık ve standartlar ilkesi kullanıcıların farklı platformlarda aynı eylemlerin farklı sonuçlar doğurup doğurmadığı konusunda tereddüt yaşamamasını amaçlar.

Tasarım sürecinde hataların yönetimi de bu ilkelerin merkezinde yer almaktadır. Hata önleme ilkesi, iyi bir hata mesajı sunmaktansa hatanın oluşmasına en baştan izin vermeyen titiz bir tasarımın gerekliliğini ortaya koyar. Benzer şekilde, tanımak yerine hatırlamak ilkesi, kullanıcının bilgileri bir diyalogdan diğerine aklında tutma yükünü azaltarak nesne ve eylemleri görünür kılar. Sistemin hem yeni hem de uzman kullanıcılara hitap etmesini sağlayan kullanım esnekliği ve verimliliği, uzmanlar için etkileşimi hızlandıran kısayollar sunulmasını önerir. Estetik ve minimalist tasarım ilkesi ise arayüzün gereksiz bilgilerden arındırılarak temel mesajın görünürlüğünü artırması gerektiğini belirtir. Son olarak, karşılaşılan sorunlarda hataları tanıma, teşhis etme ve kurtarma ilkesi uyarınca teknik terimlerden uzak ve çözüm odaklı mesajlar sunulmalı; ihtiyaç duyulması halinde ise yardım ve belgelendirme ilkeleri doğrultusunda somut adımlar içeren rehberler sağlanmalıdır. (Nielsen, 2006)

## YÖNTEM

Araştırmamızda sanal gerçeklik dünyasında el hareketleriyle etkileşime geçmeyi mümkün kılan Hand Physics Lab uygulaması, kullanıcı deneyimi ve ergonomik açıdan mercek altına alınmıştır. Bu uygulama, el takibi teknolojisini kapsamlı bir şekilde kullanarak sanal ortamlarda daha doğal ve sezgisel bir etkileşim sağlanmasına olanak tanımaktadır. Hand Physics Lab, el hareketleriyle nesne manipülasyonu, fiziksel etkileşimler ve gerçek dünyadaki hareketlerin sanal ortama aktarılması gibi unsurları içermesi nedeniyle el takibi teknolojisinin değerlendirilmesi açısından elverişli bir araştırma ortamı sunmaktadır. Araştırmanın evreni olarak Hand Physics Lab uygulaması belirlenmiştir. Uygulama içerisinde yer alan aksiyonlar, geri bildirim mekanizmaları ve etkileşim tasarımı gibi unsurlar, araştırmanın örneklem grubunu oluşturmaktadır. Uygulamanın el takibi teknolojisi bağlamında sağladığı kullanıcı deneyimi, ergonomi, etkileşim doğruluğu ve kullanıcı geri bildirimleri açısından analiz edilerek değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında veriler, Oculus Quest 3S sanal gerçeklik gözlüğü kullanılarak toplanmıştır. Uygulama, toplam 15 saat süresince araştırmacı tarafından aktif olarak deneyimlenmiş ve deneyim sırasında tespit edilen kritik anlar eş zamanlı olarak ekran görüntüsü alınarak belgelenmiştir. Analiz sürecinde kullanılan ekran görüntüleri rastgele değil, amaçlı örneklem yöntemiyle seçilmiştir. Bu kapsamda seçim kriteri olarak; etkileşimin koştığı anlar, el takibinin (hand tracking) yetersiz kaldığı durumlar ve kullanıcının fiziksel zorlanma yaşadığı ergonomik kırılma noktaları belirlenmiştir. Araştırmanın analiz birimi ise uygulamanın sunduğu her bir mikro görev ve bu görev sırasındaki anlık geri bildirim mekanizmalarıdır.

Bu çalışma, araştırma süreci ve ele aldığı konu itibarıyla nitel araştırma yaklaşımlarından biri olan betimsel analiz ve içerik analizi yöntemi çerçevesinde yürütülmüştür. Betimsel analiz, farklı veri toplama yöntemleri ile elde edilen verilerin önceden belirlenmiş temalar doğrultusunda özetlenmesi ve yorumlanmasını içeren bir nitel veri analiz tekniğidir. Bu yöntemin temel amacı, ulaşılan bulguları okuyucuya sistematik bir biçimde özetleyerek ve yorumlayarak sunmaktır (Yıldırım & Şimşek, 2021). İçerik analizi tekniği, kitle iletişim araçlarındaki içeriklere yönelik geliştirilen ve hem nitel hem de nicel araştırmalara imkân tanıyan bir yöntemdir. Bu teknik, metin ya da söylem içeriğinde yer alan temel bileşenleri belirlemek, sınıflandırmak ve yorumlamak amacıyla sistematik, metodolojik ve nesnel bir yaklaşım sunar. İçerik analizi, bir metin ya da görselde önceden belirlenmiş kategoriler veya kodların varlığını

analiz etmek ve bu unsurları sistemli bir biçimde incelemek için uygulanmaktadır (Bouillaguet & Robert, 2007). Ayrıca bu çalışmada, Hand Physics Lab uygulamasını değerlendirmek için Nielsen'in kullanılabilirlik ilkeleri seçilmiştir (Nielsen, 2006). Bu ilkeler; "Durum farkındalığı", "Gerçek dünya ile uyum", "Kontrol ve özgürlük", "Tutarlılık ve standartlar", "Hata önleme", "Tanıma yerine hatırlama", "Esneklik ve verimlilik", "Estetik ve minimalist tasarım", "Hataları tanıma ve iyileştirme" ve "Yardım ve dokümantasyon" başlıkları altında, el takibi teknolojisinin kullanıcı deneyimine etkilerini sistematik olarak analiz etmek amacıyla kullanılmıştır.

Analiz süreci birbirini takip eden üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak serbest deneyimleme aşamasında, araştırmacı uygulamayı herhangi bir kısıtlama olmadan deneyimleyerek genel kullanılabilirlik sorunlarını not etmiştir. Takip eden sınıflandırma aşamasında, elde edilen ekran görüntüleri detaylıca incelenmiş ve tespit edilen sorunlar Nielsen'in 10 kullanılabilirlik ilkesi çerçevesinde kategorize edilmiştir. Son olarak yorumlama aşamasında ise sınıflandırılan veriler, VR tasarım literatürü ve ergonomi prensipleriyle karşılaştırılarak analiz tamamlanmıştır.

Nitel çalışmalarda araştırmacının konumu ve yetkinliği analiz kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu analiz, UI/UX tasarımı alanında 5 yıllık sektör deneyimine sahip bir araştırmacı tarafından gerçekleştirildiği için çalışma 'Uzman Değerlendirmesi (Expert Review)' niteliği taşımaktadır. Öznelliği kontrol altına almak ve geçerliliği artırmak adına, tespit edilen her bulgu somut ekran görüntüleri ile kanıtlanmış ve literatürdeki benzer tasarım problemleriyle çapraz doğrulamaya tabi tutulmuştur.

## **HAND PHYSICS LAB: EL İZLEME TEKNOLOJİSİ DENEYİMİNİN ANALİZİ**

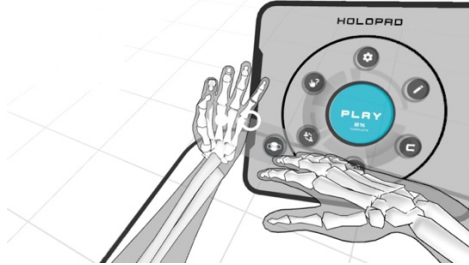
Sanal Gerçeklik ortamlarında Hand Physics Lab uygulaması, kullanıcılara ellerini gerçek zamanlı olarak kullanarak sanal dünyada etkileşimde bulunma fırsatı sunan bir uygulamadır. Bu tür uygulamalar, sanal ortamda ellerin takibini ve fiziksel etkileşimleri doğru ve sezgisel bir şekilde simüle etmek amacıyla gelişmiş teknolojilerden yararlanır. Kullanıcılar, ellerini kullanarak sanal nesnelere kavrayabilir, taşıyabilir, manipüle edebilir ve çeşitli fiziksel görevleri yerine getirebilirler. Bu etkileşimlerin yüksek doğrulukla sağlanabilmesi, uygulamanın temelini oluşturan el takibi teknolojisiyle mümkündür.

El takibi teknolojisi, sanal gerçeklik gözlükleri ve sensörler aracılığıyla kullanıcının el hareketlerini algılar ve bu hareketleri sanal ortamda yüksek doğrulukla yansıtarak, ellerin konumunu ve yönünü gerçek zamanlı olarak takip eder. Bu, kullanıcının ellerinin sanal dünyada, gerçekteki fiziksel özelliklerine yakın bir şekilde hareket etmesine olanak tanır. Uygulama, aynı zamanda sanal nesnelerin fiziksel özelliklerini simüle etmek için gelişmiş fizik motorlarını kullanarak, kullanıcıların sanal dünyada etkileşimde buldukları nesnelerin gerçek dünyadaki fiziksel kurallarına uygun şekilde davranmasını sağlar.

Hand Physics Lab, genellikle sanal gerçeklik oyunları, eğitim simülasyonları, rehabilitasyon uygulamaları ve etkileşimli deneyimler gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalar, kullanıcıların daha doğal, sezgisel ve etkili bir etkileşim deneyimi yaşamalarını sağlar. Özellikle el takibi ve fiziksel etkileşimlerin geliştirilmesi, sanal gerçeklik ortamlarında kullanıcı deneyimini önemli ölçüde iyileştirerek, daha immersif ve etkileşimli uygulamaların önünü açmaktadır.

### Şekil 1.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının Holopad Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*



(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025)

Şekil 1’de görüldüğü üzere kullanıcı, sol avucunu kendine doğru çevirdiğinde, sistem görsel bir geri bildirim sağlayarak 'Holopad' adı verilen ana menüyü açar. Jakob Nielsen’in sistem durumunun görünürlüğü ilkesine (Nielsen, 2006) uygun olarak, kullanıcının hareketine anında yanıt verilmesi, etkileşimin gerçekleştiğini gösterir. Menü, Gerçek Dünya ile Eşleşme ilkesine (Nielsen, 2006) paralel bir yaklaşımla tasarlanmıştır. Literatürde belirtildiği üzere, kontroller kullanıcının

vücuduna göre sabitlendiğinde; kullanıcılar, tıpkı ceplerindeki bir kalem veya kemerlerindeki bir aleti bulur gibi, özduyum (proprioception) yetilerini kullanarak kontrollere erişebilirler (Mine et al., 1997). Bu bağlamda, menünün elin kendine yönlendirilmesiyle açılması, kullanıcının fiziksel farkındalığını dijital etkileşime aktararak sezgisel ve kolay öğrenilebilir bir deneyim sunar. Ekrandaki butonun üç boyutlu modelleme ve gölgelendirme ile 'basılabilirlik' özelliği vurgulanarak, Hatırlamaktan Ziyade Tanıma ilkesine (Nielsen, 2006) katkı sağlanır. Görsel ipuçları ise kullanıcıyı arayüzle etkileşime geçmeye teşvik ederek öğrenme süresini kısaltır.

## Şekil 2.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Reset Yourself” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*

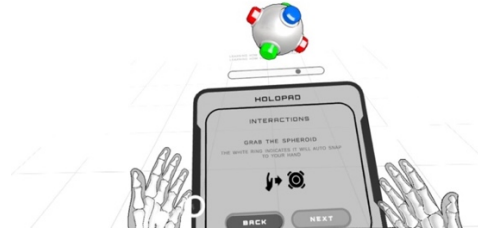


(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

Şekil 2’de görüldüğü üzere Hand Physics Lab uygulamasının başlangıç aşamasında sunulan yönlendirmeler, kullanıcıların etkileşimini kolaylaştırarak hata yapma olasılığını azaltır. “Reset Yourself” seçeneği, kullanıcıların istenmeyen bir durumu hızlıca geri almasına olanak tanıyarak kullanıcı kontrolü ve özgürlüğü ilkesine (Nielsen, 2006) uygundur. Hem Oculus Touch kontrol cihazlarına hem de doğal el hareketlerine yönelik açıklamaların bulunması, erişilebilirliği artırarak farklı kullanıcı gruplarını kapsar. Yönlendirmelerin görsel ve metinsel olarak bir arada sunulması, Mayer’in Çoklu Ortam İlkesi (Multimedia Principle) ile örtüşmektedir; bu ilkeye göre kullanıcılar, bilgiyi sadece metinle değil, görsel unsurlarla desteklendiğinde daha etkili bir şekilde işlerler (Mayer, 2009). Bu yaklaşım, hatırlamaktan ziyade tanıma ve yardım ve dokümantasyon ilkelerini de desteklemektedir (Nielsen, 2006).

### Şekil 3.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Interactions” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*



(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

Şekil 3'te sunulan arayüzde, 'Grab the Spheroid' ve 'The white ring indicates it will auto snap to your hand' yönergeleri, hem pedagojik hem de ergonomik açıdan kritik tasarım ilkelerini barındırmaktadır. Arayüzün kullanıcıyı fiziksel bir tutma hareketine (grasping) yönlendirmesi, Hwang et al. (2024) tarafından belirtildiği üzere, kullanıcının sanal eli kendi uzvu gibi hissetmesini sağlayan 'beden sahiplenme' (body ownership) algısını güçlendirir ve deneyimi sezgisel hale getirir; bu yaklaşım Nielsen'in (2006) 'gerçek dünya ile eşleşme' ilkesiyle de örtüşmektedir.

Ancak, yine Hwang et al. (2024)'nın vurguladığı gibi, fiziksel geri bildirimden yoksun el takibi teknolojisi, hassas manipülasyonlarda zorluklar (tracking accuracy) yaratabilir. Arayüzdeki 'Auto snap' (otomatik kenetlenme) özelliği, donanımdan kaynaklanabilecek bu ince motor beceri sınırlarını telafi ederek Nielsen'in (2006) 'Hata Önleme' ilkesini destekler. Beyaz halkanın sağladığı anlık görsel geri bildirim ise 'sistem durumunun görünürlüğü' ilkesini karşılayarak, kullanıcının sistemin 'kavrama' menziline girdiğini anlamasını sağlar (Recognition rather than recall). Sonuç olarak, el takibinin gerçekçilik avantajını kullanırken, teknik sınırlarını 'yardımcı özelliklerle' (auto snap) minimize etmektedir.

#### Şekil 4.

#### *Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Body Skin” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*



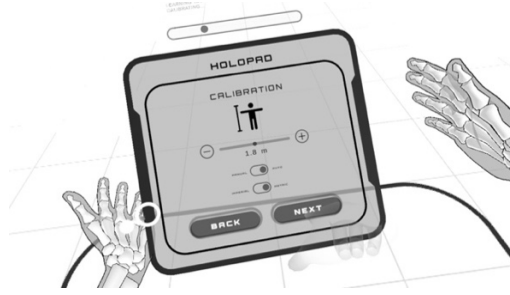
(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

Şekil 4’de gördüğümüz üzere Hand Physics Lab uygulamasının kullanıcılarına gri, siyah ve kemik yapısını gösteren el görünümüleri gibi farklı body skin seçenekleri sunması, kişiselleştirme, erişilebilirlik ve bağlamsal etkileşim ilkelerini destekleyen bir tasarım yaklaşımı sergilemektedir. Bu çeşitlilik, farklı kullanıcı gruplarının estetik tercihlerine hitap ederek özelleştirilmiş bir deneyim sunarken, aynı zamanda görsel algıyı güçlendiren önemli bir araç olarak işlev görür.

Kiltenei et al. (2012), "Vücutlanma Hissi" (Sense of Embodiment) kavramını; bir sanal bedenün özelliklerinin, kullanıcının kendi biyolojik bedeninin özellikleriymiş gibi işlenmesi durumu olarak tanımlar. Bu bağlamda, kullanıcılara kendi ellerine veya tercihlerine uygun bir sanal el seçme imkânı tanınması, sanal uzvun kullanıcı tarafından "kendi parçasıymış gibi" (Body Ownership) hissedilmesini kolaylaştırır. Bu tür seçenekler, kullanıcıların sistemi daha kolay öğrenmesini ve benimsemesini sağlarken, kullanım esnekliği ve verimliliği ilkesi (Nielsen, 2006) doğrultusunda kişisel tercihlerin etkileşim deneyimine entegre edilmesiyle daha tatmin edici bir kullanım deneyimi yaratır. El takibi teknolojisinin teknik sınırlarını estetik ve kullanıcı odaklı bir yaklaşımla birleştiren bu tasarım, etkileşimin hem işlevsel hem de duygusal yönlerini güçlendirerek sanal gerçeklik ortamında daha doğal bir deneyim sunmaktadır.

## Şekil 5.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Calibration” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*



(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

Şekil 5’de gördüğümüz boy ölçüsü isteme gerekliliği, gerçek dünya ile eşleşme ilkesiyle (Nielsen, 2006) doğrudan bağlantılıdır. Banakou et al. (2013) tarafından yapılan araştırmalar, sadece göz seviyesinin değil, kişinin sahip olduğu sanal vücut temsilinin (multisensory body representation); mesafe ve nesne boyutlarının algılanmasında temel bir referans noktası olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, kullanıcının fiziksel boyutlarının sisteme tanımlanması, sanal ortamın gerçek dünyadaki mekânsal algıya uygun şekilde ölçeklenmesini sağlar. Bu, kullanıcıların doğal hareketlerini sanal ortamda doğru şekilde yansıtabilmesi için kritik bir unsurdur.

Bu yaklaşım, kullanıcı kontrolü ve özgürlük ilkesine (Nielsen, 2006) uygun olarak, kullanıcının boy ölçüsünü gerektiğinde kolayca güncelleyebilmesini sağlayan bir düzenleme seçeneği sunmalıdır. Hata önleme ilkesi (Nielsen, 2006) doğrultusunda, yanlış bir ölçüm girilmesi durumunda işlem onayı veya açıklayıcı bir uyarı ile kullanıcı yönlendirilmelidir.

## Şekil 6.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “You Use Controllers” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*



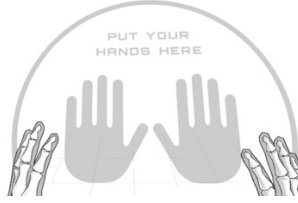
(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

Şekil 6’da görüldüğü üzere, uygulamanın başlangıçta kullanıcıya kontrol cihazları (controllers) veya doğal el hareketleri ile oynama seçeneği sunması, kullanıcı kontrolü ve özgürlüğü ilkesine (Nielsen, 2006) uygun olarak tercih esnekliği sağlar. Kontrol cihazları, fiziksel destek sunarak özellikle yeni kullanıcılar veya el takibinin hassas çalışmadığı durumlar için daha güvenilir bir alternatif oluştururken; el takibi seçeneği, doğal ve sezgisel bir etkileşim sunarak gerçek dünya ile eşleşme ilkesini (Nielsen, 2006) destekler.

Hwang et al. (2024) tarafından yapılan karşılaştırmalı analizler, kontrol cihazlarının teknik kısıtlamalara rağmen daha istikrarlı bir etkileşim sağladığını, buna karşın çıplak el etkileşiminin (bare hand interaction) sanal ortamdaki gerçekçilik algısını güçlendirdiğini doğrulamaktadır. Ayrıca, el takibi teknolojisinin ikinci adımda aktive edilmesi, teknolojinin doğru çalışması için gerekli koşulları sağlama sürecine kullanıcıları hazırlar, böylece olası hayal kırıklıklarını önler. Bu yaklaşım, hem erişilebilirliği hem de kullanıcı memnuniyetini artırarak ergonomi ve doğal etkileşim arasında denge kurar.

## Şekil 7.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Put Your Hands Here” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*



(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

Şekil 7’de gördüğümüz gibi, uygulamanın her girişte kullanıcılardan ellerini belirli bir alana yerleştirmelerini istemesi, gerçek dünya ile eşleşme ilkesi (Nielsen, 2006) ile örtüşmektedir. Jerald (2015) tarafından belirtildiği üzere, VR sistemlerinde doğru bir kalibrasyon süreci, takip hatasını (tracking error) minimize etmek ve kullanıcının sanal bedeniyle kurduğu aidiyet hissini (sense of embodiment) korumak için hayati önem taşır. Fiziksel dünyada hareket takip sistemleri belirli başlangıç noktalarına ihtiyaç duyduğundan, bu sürecin kullanıcıya açıkça sunulması sezgisel ve mantıklı bir deneyim sağlar.

Hata önleme açısından, sistemin kullanıcıdan başlangıçta ellerini belirlenen noktaya yerleştirmesini istemesi, el takibi teknolojisinin doğruluğunu artırarak yanlış algılamaların ve hatalı etkileşimlerin önüne geçer. Böylece, kullanıcı deneyimi daha akıcı ve güvenilir hale gelir.

## Şekil 8

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Hand Tracking” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*



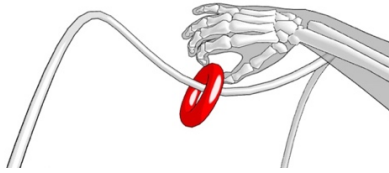
(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

Şekil 8’de görülen, uygulamanın başlangıcında kullanıcılara sunulan “Odanızda iyi bir aydınlatma sağlayın,” “Ellerinizi arka plan arasında yüksek bir kontrast oluşturun,” “Ellerinizi ayrı tutun ve görünür konumda tutun” ve “Kırmızı eller, kötü bir izleme olduğunu gösterir” gibi yönergeler, el takibi teknolojisinin doğru çalışmasını sağlamak ve kullanıcı deneyimini optimize etmek için tasarlanmıştır. Bu tür yönergeler, hata önleme ilkesine (Nielsen, 2006) uygun olarak, sistemin sınırlamalarını önceden belirterek kullanıcıların yanlış kullanım nedeniyle yaşayabilecekleri hayal kırıklıklarını engeller.

Voigt-Antons et al. (2020) tarafından belirtildiği üzere, optik el takip sistemlerinin performansı; ortam aydınlatması, el örtüşmesi (occlusion) ve arka plan karmaşıklığı gibi çevresel faktörlerden doğrudan etkilenmekte ve bu durum kullanıcının görev başarısını (task performance) düşürebilmektedir. Bu nedenle, aydınlatma ve arka plan kontrastı gibi teknik gereksinimlerin vurgulanması, sensörlerin işlevselliğini maksimize etmek için kritik bir adımdır. Eller arasında mesafe bırakılması ve ellerin sistem tarafından görülebilir konumda tutulması gibi öneriler, el takibinin doğruluğunu artırırken; “kırmızı eller” gibi görsel geri bildirim mekanizmaları, kullanıcıları anlık olarak bilgilendirerek düzeltici eylemler almalarını teşvik eder.

### Şekil 9.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Halka Oyunu” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*



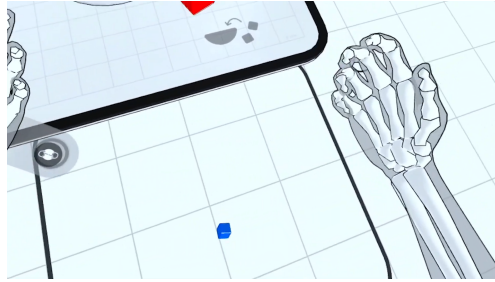
(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

Şekil 9’da, bir halkayı beyaz bir borunun içerisinden geçirirken, boruya temas edildiğinde kontrol cihazlarının titreşim yoluyla geri bildirim sağlaması, Nielsen’in (2006) Sistem Durumunun Görünürlüğü ve Hata Önleme ilkelerine uygun olarak kullanıcının hatasını anında fark etmesini sağlar. Ancak bu görev, sadece bilişsel bir dikkat değil, aynı zamanda yüksek düzeyde motor kontrol gerektirmektedir. Hansberger et al. (2017) tarafından belirtildiği üzere, bu tür

hassas manipülasyon gerektiren ve kolların desteksiz bir şekilde havada tutulduğu görevler, 'Goril Kolu Sendromu'nu en hızlı tetikleyen senaryolardır. Kullanıcı, halkayı boruya değdirmemek için kolunu statik bir gerginlikte tutmak zorundadır; bu durum kısa sürede kas yorgunluğuna ve buna bağlı istemsiz mikro titremlere yol açar. Dolayısıyla, sistemdeki titreşim geri bildirimini hatayı haber verse de, Hansberger et al. (2017) tarafından vurgulandığı gibi ergonomik kısıtlılıklar (yorgunluk) hatanın oluşma sıklığını artırmaktadır. Bu durum, VR tasarımlarında hassas görev sürelerinin kısa tutulması gerektiği tezini doğrulamaktadır.

### Şekil 10.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Oyun” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*



(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

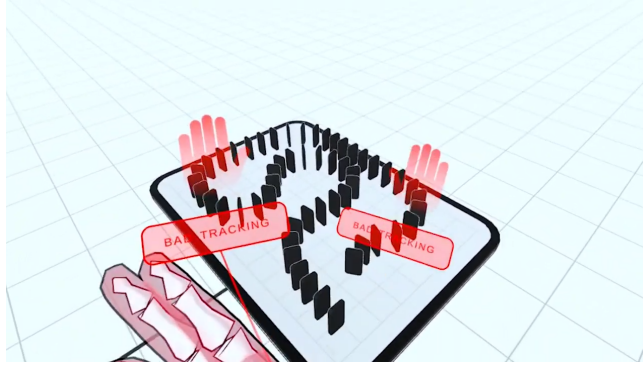
Şekil 10’da gözlemlenen, masadan düşen nesnenin kısa bir süre sonra otomatik olarak başlangıç konumuna dönmesi, sanal gerçeklik etkileşimlerinde sıkça karşılaşılan ve Mohan et al. (2018) tarafından 'Midas Dokunuşu Problemi' olarak tanımlanan istem dışı hataların telafisine yönelik stratejik bir çözümdür. El takibi teknolojisinde, fiziksel butonların sağladığı kesin eylem ayrımı bulunmadığından, kullanıcılar niyet etmedikleri halde nesnelere tutup düşürebilmektedir. Sistemin sunduğu bu 'otomatik kurtarma' mekanizması, Midas Dokunuşu kaynaklı bu kazaların etkisini minimize ederek, Nielsen’in (2006) 'Hata Önleme' ilkesini başarıyla karşılamaktadır.

Bu özellik aynı zamanda, 'Kullanıcı Kontrolü ve Özgürlüğü' (User Control and Freedom) ilkesi bağlamında kullanıcıyı zahmetli ve ergonomik açıdan zorlayıcı 'yerden nesne alma' işleminden kurtararak deneyimin akıcılığını korur. Ancak, 'Sistem Durumunun Görünürlüğü' (Visibility of System Status) ilkesi gereği, nesnenin geri dönüş sürecinin kullanıcıya şeffaf bir şekilde sunulması kritiktir.

Nesnenin aniden belirmesi yerine, bir animasyon veya görsel ipucu ile sürecin desteklenmesi, kullanıcının sistemin hata düzeltme davranışını daha doğru anlamlandırmasını sağlayacaktır.

### Şekil 11.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Bad Tracking” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*

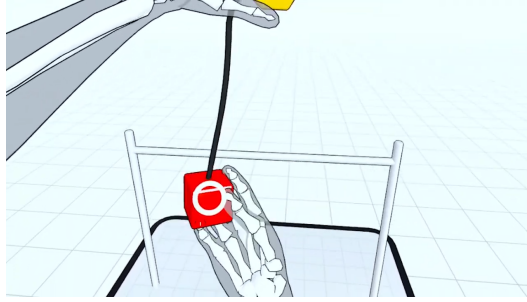


(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

Şekil 11’de görülen kullanıcının ellerini görüş alanı dışına çıkardığında uygulamanın kırmızı renkli 'bad tracking' uyarısı göstermesi, sistem durumunun görünürlüğü ilkesine (Nielsen, 2006) uygun olarak anlık ve net bir geri bildirim sağlar. Bu geri bildirim, Norman’ın (2013) tanımladığı 'değerlendirme körfezini' (Gulf of Evaluation) kapatarak, kullanıcının eyleminin sistem tarafından nasıl algılandığını anlamasını kolaylaştırır. Bu görsel ipucu, hata önleme açısından kullanıcının durumu hızla fark edip düzeltmesine yardımcı olur. Ayrıca, kırmızı rengin hata veya uyarı anlamına gelmesi gerçek dünya ile eşleşme ilkesini (Nielsen, 2006) desteklerken, sürekli bir gösterge sunulması hatırlamaktan ziyade tanıma ilkesine (Nielsen, 2006) katkıda bulunur.

## Şekil 12.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Oyun” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*



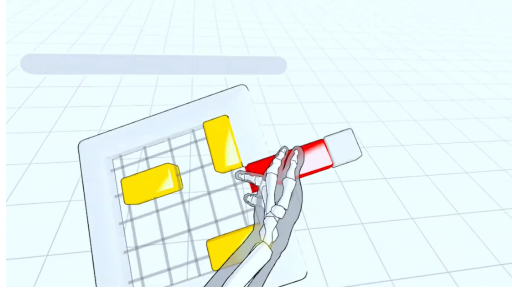
(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

Şekil 12’de örneklendiği üzere, kullanıcının sanal bir nesneye temasıyla tetiklenen yüksek şiddetli işitsel geri bildirim, Nielsen’in (2006) 'sistem ve gerçek dünya arasındaki eşleşme' ilkesiyle çalışmaktadır. Fiziksel dünyada dokunma eylemi genellikle düşük desibelli veya sessiz bir tepki üretirken, sanal ortamdaki bu abartılı ses, algısal bir tutarsızlık yaratarak sistem durumunun görünürlüğünü yanıltıcı hale getirebilmektedir. Ses seviyesinin minimize edilerek gerçekçi beklentilere yaklaştırılması, 'estetik ve minimalist tasarım' ilkesi doğrultusunda dikkat dağıtıcı unsurları (noise) azaltacak ve kullanıcının varlık hissini (presence) güçlendirecektir.

İşitsel tutarsızlıkların yanı sıra, etkileşimin ergonomik boyutu incelendiğinde de benzer sınırlar göze çarpmaktadır. Kullanıcı, sanal nesneyi kavramak için işaret ve baş parmağını birleştirerek 'çimdikleme' (pinch) jestini kullanmaktadır. Hwang et al. (2024) tarafından yapılan güncel çalışma, bu etkileşim biçiminin 'beden sahiplenme' (body ownership) hissini artırarak sürükleyiciliğe katkı sağladığını doğrulamaktadır. Ancak aynı çalışma, fiziksel bir geri bildirim (haptics) olmaksızın sürekli tekrar edilen bu hareketin, geleneksel kontrolcülere kıyasla 'daha az doğal' ve 'fiziksel olarak daha talepkar' (physically demanding) bulunduğunu ortaya koymuştur. Hand Physics Lab uygulamasında da gözlemlendiği gibi, bu jestin uzun süreli kullanımı, hassas takip (tracking accuracy) kayıplarına ve ergonomik yorgunluğa yol açarak, el takibi teknolojisinin vaat ettiği 'gerçekçilik' deneyimini donanım sınırları nedeniyle kesintiye uğratabilmektedir.

### Şekil 13.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Oyun” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*

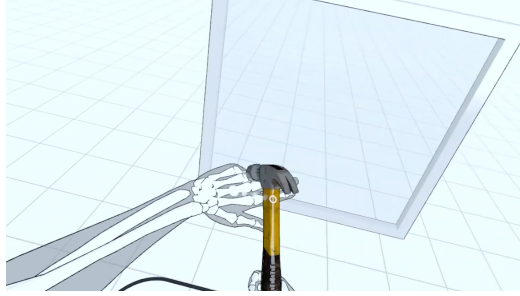


(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

Şekil 13’te görülen örnekte, kullanıcının bir nesneye parmağıyla sertçe vurduğunda fiziksel bir zarar görmemesi ancak bu hareketin görsel olarak temsil edilmesi, hata önleme ve kullanıcı kontrolü ve özgürlüğü ilkeleriyle (Nielsen, 2006) örtüşmektedir. Gerçek dünyadaki fizik kurallarının sanal ortamda birebir uygulanması, kullanıcıların hareketlerini kısıtlamalarına ve gereksiz stres yaşamalarına neden olabilir. Bu bağlamda Bowman et al. (2004), 3D arayüzlerde 'büyü' (magic) tekniklerinin kullanılmasının, gerçek dünyanın istenmeyen fiziksel kısıtlamalarını ortadan kaldırarak etkileşimi güçlendirdiğini ifade etmektedir. Bu doğrultuda, fiziksel bir tepki yerine yalnızca görsel bir geri bildirim sunulması, sistem durumunun görünürlüğünü (Nielsen, 2006) artırır ve kullanıcıların sanal ortamda daha özgürce keşif yapmalarını sağlar. Özellikle el takibi gibi doğal etkileşimlerde bu yaklaşım, motor becerilere aşırı yük bindirmeden deneyimin akıcı hale gelmesine, ergonomik konforun artmasına ve kullanıcıların sistemle daha sezgisel bir etkileşim kurmasına olanak tanır.

### Şekil 15.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Oyun” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*

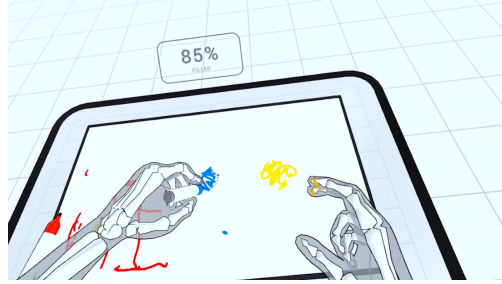


(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

Şekil 15’te görüldüğü üzere, çekiçle elinize vurduğunuzda yalnızca ses efekti verilmesi, görsel geri bildirim eksikliği nedeniyle kullanıcı deneyimini olumsuz etkiler. Sistem durumunun görünürlüğü (Nielsen, 2006) açısından, kullanıcılar yaptıkları eylemin sonucunu hem işitsel hem de görsel olarak görmeyi bekler. Gerçek dünya ile eşleşme ilkesi (Nielsen, 2006) doğrultusunda, fiziksel bir darbenin hem ses hem de görsel etkisi olmalıdır. Yalnızca sesle geri bildirim verilmesi, sanal ortamın gerçekçiliğini zayıflatır. Bu bağlamda Amini Gougeh (2023), çok duyulu (multisensory) VR deneyimlerinin, kullanıcının gerçekçilik algısını, ortama dair var olma hissini (presence) ve etkileşim kalitesini önemli ölçüde artırdığını belirtmektedir. Hata önleme açısından, darbe öncesinde görsel uyarılar veya titreşim eklenmesi, istenmeyen hareketlerin fark edilmesini sağlar. Tutarlılık ilkesi (Nielsen, 2006) gereği, diğer etkileşimlerde olduğu gibi hem işitsel hem de görsel geri bildirim sağlanmalıdır. Aksi takdirde, kullanıcılar farklı geri bildirimlerle karşılaştığında sistemin nasıl çalıştığını anlamakta zorlanabilir. Bu nedenle, hem ses hem de görsel ipuçları eklemek, daha doğal ve tutarlı bir kullanıcı deneyimi sunar.

### Şekil 16.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Boyama Oyunu” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*



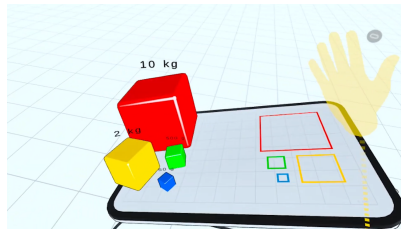
(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

Şekil 16’da gördüğümüz boyama oyununda boyanın ele değdiğinde leke bırakması, doğal etkileşim ve gerçeklik simülasyonu ilkelerine uygundur. Bu özellik, gerçek dünyadaki boyama deneyimini taklit ederek sanal ortamda daha anlamlı ve tatmin edici bir etkileşim sunar. Fiziksel dünyadan aşına olunan detayların simüle edilmesi, varlık hissini artırır ve uygulamanın gerçekçiliğine katkı sağlar.

Bu geri bildirim, sebep-sonuç ilişkisi kurmayı teşvik ederek kullanıcıların çevreyle daha dikkatli etkileşim kurmasını sağlar. Ergonomik olarak, dokunsal ve görsel geri bildirimler kullanıcının duygusal bağını güçlendirir ve deneyimin eğlence değerini artırır. Bu yaklaşım, uygulamanın hem eğitici hem de eğlenceli bir araç olarak algılanmasına katkıda bulunur.

### Şekil 17.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Oyun” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*



(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

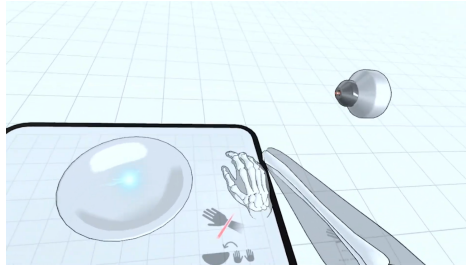
Şekil 17’de görülen kullanıcının elini masanın altından yukarı kaldırdığında sanal elin masanın altında kalması, ancak gerçek elin pozisyonunun sarı bir gölgeyle gösterilmesi; sistem durumunun görünürlüğü, gerçek dünya ile eşleşme ve hata önleme ilkelerine uygundur (Nielsen, 2006)

Bu görsel geri bildirim tekniği, Mine et al. (1997) tarafından sanal etkileşimler için kritik bir unsur olarak vurgulanan 'Proprioception' (Özduyum), yani kullanıcının kendi uzuvlarının konumunu hissetme duygusu ile doğrudan ilişkilidir. Yazarlara göre, kullanıcının fiziksel elinin nerede olduğunu bilmesi (proprioseptif bilgi) ile sanal dünyadaki görsel geri bildirim uyumlu olmalıdır.

Sanal elin masaya takılı kalması durumunda oluşan görsel ve fiziksel uyumsuzluk, sarı gölge (ghost hand) sayesinde giderilir. Bu gölge, kullanıcının proprioseptif olarak hissettiği gerçek el konumunu görselleştirerek sistemin 'elin varlığından haberdar olduğu' mesajını verir. Böylece, Mine ve arkadaşlarının savunduğu gibi fiziksel farkındalık sanal ortamda korunmuş olur ve kullanıcıda oluşabilecek kontrol kaybı hissi önlenir. Sonuç olarak, sarı gölge kullanımı deneyimi daha tutarlı, anlaşılır ve sezgisel hale getirir.

### Şekil 18.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Lazer Aksiyonundan” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*



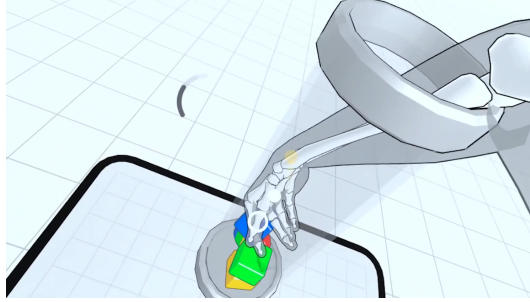
(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

Şekil 18’de görüldüğü gibi, kullanıcı lazerle elini kesmesine rağmen oyunu oynamaya devam edebilmektedir. Gerçek dünya ile eşleşme açısından (Nielsen, 2006), bu mekanik fiziksel dünyanın kurallarına aykırı olsa da fantastik veya bilim kurgu temalı oyunlarda gerçekçilikten çok eğlence ve sürükleyicilik ön planda olduğu için bu kural esnetilebilir. Ancak, kullanıcılar belirli fizik kurallarına aşına olduğundan, elin bağımsız hareket etmesi varlık hissini (sense

of presence) zayıflatabilir. Bu nedenle, oyunun evreninde bunun nasıl mümkün olduğuna dair açık veya sezgisel bir açıklama sunulması, oyuncunun deneyimi daha anlamlı algılamasına yardımcı olabilir.

### Şekil 19.

*Hand Pyshics Lab Uygulamasının “Oyun” Arayüzünden Alınan Ekran Görüntüsü*



(Kaynak: Hand Pyshics Lab, 2025).

Şekil 19'de gördüğümüz, kullanıcının elini cam bir borunun içerisine sokarken yalnızca elini değil, aynı zamanda kolunu da yönlendirmesi gerektiği durum, gerçek dünya ile eşleşme ilkesini destekler; (Nielsen, 2006) çünkü fiziksel dünyada da benzer etkileşimlerde kullanıcılar, nesnelere etkileşim için yalnızca el hareketlerini değil, tüm kol hareketlerini kullanırlar. Ancak, sistem durumunun görünürlüğü ilkesi (Nielsen, 2006) kapsamında, kullanıcıya bu durumun gerekliliği açıkça iletilmelidir; aksi takdirde, kullanıcı yanlış yönlendirilmiş hissedebilir. Kullanım esnekliği ve verimliliği açısından, uzun süreli etkileşimlerde sürekli kol hareketi, görsel ve fiziksel yorgunluk yaratabileceği için ergonomik zorlukları da beraberinde getirir. Bu nedenle, hata önleme ilkesine (Nielsen, 2006) uygun olarak, sistem kullanıcının ek kol hareketleri gerektiren durumları önceden belirleyip, alternatif etkileşim yolları veya ek geri bildirimlerle destek sağlamalıdır. Sonuç olarak, bu tasarım yaklaşımı, kullanıcıya doğal bir etkileşim sunarken, ergonomik ve bilişsel yükü minimize etmek için dikkatlice ele alınmalıdır.

## BULGULAR

Hand Physics Lab uygulaması üzerinde yapılan incelemelerde, el takibi teknolojisinin en kritik aşaması olan sisteme giriş ve kalibrasyon süreci öncelikli olarak değerlendirilmiştir. Uygulamanın açılışında sunulan "Ellerinizi buraya

koyun" yönlendirmeleri ve izleme alanı dışına çıkıldığında beliren görsel uyarılar, kamera tabanlı el takip sistemlerinin sınırlı görüş alanı (FOV) problemini yönetmek için stratejik bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu görsel rehberliklerin, kullanıcının ellerini sensörlerin en verimli çalıştığı alanda tutmasını sağladığı, ancak sürekli uyarı mekanizmasının deneyimin akıcılığını ve sezgiselliğini zaman zaman kesintiye uğrattığı gözlemlenmiştir.

El takibi teknolojisinin hassasiyet kapasitesi ve ince motor becerileri üzerindeki etkileri, uygulama içindeki fizik tabanlı etkileşimler üzerinden analiz edilmiştir. El takibi sensörlerinin milimetrik hassasiyetteki olası titremelerini veya veri kayıplarını tolere etmek amacıyla, "mıknatıs" gibi yardımcı etkileşim metaforlarının kullanıldığı görülmüştür. Kullanıcının sanal nesneye tam temas etmeden, uzaktan yakalama yapabilmesini sağlayan bu tasarımın, el takibi teknolojisindeki olası gecikme (latency) ve hassasiyet sorunlarını maskeleyerek etkileşimi hızlandırdığı tespit edilmiştir. Bu durum, mevcut el takibi donanımlarının, kullanıcı hatalarını ve donanım sınırlarını telafi edici yazılımsal desteklere ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.

Gözlem sürecinde el takibi ergonomisi ve fiziksel-sanal el senkronizasyonu üzerine önemli bulgulara rastlanmıştır. Özellikle parmakların hızlı hareket ettirildiği veya birbirini kapattığı (occlusion) durumlarda, sanal elin fiziksel el hareketlerini birebir yansıtamadığı ve senkronizasyon kopuklukları yaşandığı saptanmıştır. Ancak uygulamanın, görüş alanı dışında kalan (örneğin masanın altı) bölgelerde, elin konumunu sanal masa üzerinde bir "gölge izdüşümü" ile temsil etmesi, el takibinin koştığı anlarda dahi kullanıcının uzamsal farkındalığını koruyan başarılı bir çözüm olarak değerlendirilmiştir. Bu bulgu, el takibinin kesintiye uğradığı "kör nokta"larda görsel ipuçlarının kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Son olarak, kontrolcü gerektirmeyen (controller-less) el takibi deneyiminin en zayıf yönü olan dokunsal geri bildirim eksikliği, "gerçeklik algısı" bağlamında incelenmiştir. "Çekiçle ele vurma" veya "lazerle temas" gibi senaryolarda, kullanıcının fiziksel elinde bir uyarı hissetmemesi ve sanal elin görsel bütünlüğünün bozulmaması (örneğin lazerin eli kesmemesi), elin sanal ortamdaki varlık hissini (hand presence) zayıflatmaktadır. Buna karşın, ele bulaşan boya lekeleri gibi kalıcı görsel efektlerin, dokunsal hissini yokluğunda görsel bir kanıt sunarak el takibi deneyimini zenginleştirdiği, ancak ergonomik açıdan görüşü kapatan unsurlara dönüşebileceği analiz edilmiştir.

## SONUÇ

Bu çalışma, Hand Physics Lab uygulamasının el takibi deneyimini ergonomi ve kullanıcı deneyimi açısından inceleyerek, sanal gerçeklikte karşılaşılan tasarım sorunlarını Nielsen'in kullanılabilirlik ilkeleri doğrultusunda değerlendirmiştir. Örneğin, uygulamanın kullanıcıdan boy ölçüsü talep etmesi, gerçek dünya ile eşleşme ilkesine uygun olarak sanal ortamın kullanıcıya özel ölçeklendirilmesini sağlamaktadır; bu sayede, kullanıcının doğal el ve kol hareketlerinin doğru yansıtılması mümkün hale gelir.

Ayrıca, nesnelerin masadan düştükten sonra kısa sürede geri gelmesi, hata önleme ilkesini destekleyerek, kullanıcıların yanlışlıkla yaptıkları hataların etkilerini minimize ederken, arayüzde yer alan “acil çıkış” seçenekleriyle kullanıcı kontrolü ve özgürlük sağlanmaktadır. Uygulamada, ellerin masanın altında kaldığında sarı gölge aracılığıyla gerçek el pozisyonunun gösterilmesi, sistem durumunun görünürlüğü ve hatırlamaktan ziyade tanıma ilkeleriyle uyumlu olarak, kullanıcıya konum farkındalığı kazandırmakta ve algısal bütünlüğü korumaktadır.

Öte yandan, dokunsal etkileşimlerde aşırı abartılı ses efektlerinin kullanılması, gerçek dünya ile eşleşme ilkesine ters düşmekte; çünkü fiziksel dünyada dokunma deneyimi daha hafif ve bağlama uygun seslerle desteklenir. Bu durum, varlık hissini zayıflatarak deneyimin gerçekçiliğini olumsuz etkileyebilir. Benzer şekilde, kullanıcıların lazerle kesilen ellerini bağımsız olarak kontrol edebilmesi, fantastik evrenlerde eğlenceyi artırsa da, sistemin tutarlılık ve standartlar ilkesine uygun olarak sunulması gerekmektedir.

Ergonomi açısından, yoğun fiziksel hareket gerektiren etkileşimlerde uzun süreli kullanımda oluşabilecek yorgunluk ve rahatsızlık problemleri, kullanım esnekliği ve verimliliği ilkesi çerçevesinde ele alınmalıdır. Bu bağlamda, sistemin hem yeni başlayanlara hem de deneyimli kullanıcılara hitap edecek şekilde optimize edilmesi, kullanıcı memnuniyetini artıran temel unsurlardan biridir.

Sonuç olarak, Hand Physics Lab uygulaması, Nielsen'in kullanılabilirlik ilkeleriyle desteklenen tasarım stratejileri sayesinde kullanıcı deneyimini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Ancak, gerçeklik, tutarlılık ve ergonomik dengeyi sağlamak adına, görsel geri bildirim mekanizmaları ve fizik motorlarının geliştirilmesi gibi alanlarda ek iyileştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecekteki çalışmaların, daha duyarlı ve kullanıcı odaklı tasarım yaklaşımlarıyla sanal gerçeklik deneyimlerini optimize etmesi önerilmektedir.

## KAYNAKÇA

- Amini Gougeh, R. (2023). *Enhancing motor imagery-based brain-computer interface efficacy using multisensory virtual reality training* [Yüksek lisans tezi, Institut National de la Recherche Scientifique].
- Banakou, D., Groten, R., & Slater, M. (2013). Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31), 12846–12851.
- Boas, Y. A. G. V. (2013). Overview of virtual reality technologies. *Interactive Multimedia Conference, 2013*, 4.
- Bowman, D. A., Kruijff, E., LaViola Jr, J. J., & Poupyrev, I. (2004). *3D user interfaces: Theory and practice*. Addison-Wesley.
- Bowman, D. A., McMahan, R. P., & Ragan, E. D. (2007). Virtual reality: How much immersion is enough? *Computer*, 40(7), 36–43.
- Buckingham, G. (2021). Hand tracking for immersive virtual reality: Opportunities and challenges. *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 728461.
- Cameron, C. R., DiValentin, L. W., Manaktala, R., McElhaney, A. C., Nostrand, C. H., Quinlan, O. J., ... & Gerling, G. J. (2011). Hand tracking and visualization in a virtual reality simulation. *2011 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium* içinde (ss. 127–132). IEEE.
- Chen, M. X., Hu, H., Yao, R., Qiu, L., & Li, D. (2024). A survey on the design of virtual reality interaction interfaces. *Sensors*, 24(19), 6204.
- Hansberger, J. T., Peng, C., Mathis, S. L., Shanthakumar, V. A., Meacham, S. C., Cao, L., & Blakely, V. R. (2017). Dispelling the gorilla arm syndrome: The viability of prolonged gesture interactions. *International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality* içinde (ss. 505–520). Springer.
- Howard, M. C., Gutworth, M. B., & Jacobs, R. R. (2021). A meta-analysis of virtual reality training programs. *Computers in Human Behavior*, 121, 106808.
- Hwang, C., Feuchtner, T., & Grønbaek, K. (2024). Pseudo-haptics for weight perception in VR: Controller vs. bare hand interactions with tracking delay and vertical offset. *2024 10th International Conference on Virtual Reality (ICVR)* içinde (ss. 91–99). IEEE.
- Jerald, J. (2015). *The VR book: Human-centered design for virtual reality*. ACM Books.

- Kilteni, K., Groten, R., & Slater, M. (2012). The sense of embodiment in virtual reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 21(4), 373–387.
- Laine, T. H., & Suk, H. J. (2024). Investigating user experience of an immersive virtual reality simulation based on a gesture-based user interface. *Applied Sciences*, 14(11), 4935.
- Lei, Y., Deng, Y., Dong, L., Li, X., Li, X., & Su, Z. (2023). A novel sensor fusion approach for precise hand tracking in virtual reality-based human–computer interaction. *Biomimetics*, 8(3), 326.
- Masurovsky, A., Chojecki, P., Runde, D., Lafci, M., Przewozny, D., & Gaebler, M. (2020). Controller-free hand tracking for grab-and-place tasks in immersive virtual reality: Design elements and their empirical study. *Multimodal Technologies and Interaction*, 4(4), 91.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2. baskı). Cambridge University Press.
- Meta. (2022). *Hand Physics Lab on Meta Quest*. 12 Ekim 2025 tarihinde <https://www.meta.com/experiences/hand-physics-lab/3392175350802835/> adresinden alındı.
- Mine, M. R., Brooks, F. P., & Sequin, C. H. (1997). Moving objects in space: Exploiting proprioception in virtual-environment interaction. *Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques* içinde (ss. 19–26). ACM Press.
- Mohan, P., Goh, W. B., Fu, C. W., & Yeung, S. K. (2018). DualGaze: Addressing the Midas Touch problem in gaze mediated VR interaction. *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)* içinde (ss. 79–84). IEEE.
- Nielsen, J. (2005). *Ten usability heuristics*. NNGroup.
- Nielsen, J. (2025). *Jakob Nielsen*. 2 Şubat 2025 tarihinde NNGroup: <https://www.nngroup.com/people/jakob-nielsen/> adresinden alındı.
- Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things* (Genişletilmiş baskı). Basic Books.
- Robert, A. D., & Bouillaguet, A. (2007). Chapitre II. Méthodologie générale de l’analyse de contenu et application à un exemple. *Que sais-je?*, 24–46.
- Schöne, B., Kisker, J., Lange, L., Gruber, T., Sylvester, S., & Osinsky, R. (2023). The reality of virtual reality. *Frontiers in Psychology*, 14, 1093014.

Sharp, T., Keskin, C., Robertson, D., Taylor, J., Shotton, J., Kim, D., ... & Izadi, S. (2015). Accurate, robust, and flexible real-time hand tracking. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* içinde (ss. 3633–3642).

Voigt-Antons, J. N., Kojic, T., Ali, D., & Möller, S. (2020). Influence of hand tracking as a way of interaction in virtual reality on user experience. *2020 Twelfth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)* içinde (ss. 1–4). IEEE.

Wohlgenannt, I., Simons, A., & Stieglitz, S. (2020). Virtual reality. *Business & Information Systems Engineering*, 62(5), 455–461.

Xie, H. (2023). The applications of interface design and user experience in virtual reality. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 44, 189–198.

Yersüren, S. (2022). *Sanal gerçeklik deneyim kalitesinin destinasyon ziyaret niyetine ve sanal gerçeklik seyahat niyetine etkisi* [Yüksek lisans tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi].

Yıldırım, A., & Şimşek, H. (1999). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Seçkin Yayıncılık.

**Atıf İçin:** Torun, F. & Toy, E. (2026). Sanal Gerçeklik Uygulamalarında El Takip Etkileşimlerinin Kullanıcı Deneyimi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi: Hand Pysics Lab Örneği, *Yeni Medya Elektronik Dergisi*, 10 (1), 68-98.