

TAM KATILIMLI SANAL GERÇEKLiĞİN REHABİLİTASYONDAKİ KULLANIMININ İNCELENMESİ

Mehmet Kaan İLDİZ¹, Zeynep Bahadır AĞCE¹

INVESTIGATION OF THE USE OF FULLY IMMERSIVE VIRTUAL REALITY IN REHABILITATION

ÖZET

Sanal gerçekliğin tanımı günümüze gelene kadar birçok değişime uğramıştır. Bu değişimin temel sebebi sanal gerçekliğin kullanım önceliğinin devamlı değişmesidir. Sanal gerçeklik (SG) kaskı tipi teknolojileri (KT) (Virtual reality-head mount display/KT) geçtiğimiz yıllarda tekrardan karşımıza çıkan popüler bir market ürünüdür. Bu popülerlik bazı teknoloji firmalarının sanal gerçeklik teknolojisine yatırım yapması ve tüketicinin ilgisini ve isteklerini dikkate almasından kaynaklanmaktadır. Bu cihazlardan gelişmiş olan kask tipi sanal gerçeklik teknolojileri, en derin gerçekliğe sahip SG teknolojisini temsil etmektedir. Sağlık alanında kullanılan sanal gerçeklik teknolojileri rehabilitasyon için özelleştirilmiş sistemler olarak kategorilendirilebilir. SG, nörolojik rehabilitasyonda hastaların fonksiyonel yeteneklerini geliştirebilen, hedefe yönelik görevler ve tekrar gibi çeşitli özellikler sunan yeni ve etkili terapötik araçlarla alternatif rehabilitasyon programları sunar. Egzersiz için sanal gerçeklik ortamlarının kullanımının, yaşlı yetişkinlerde egzersiz davranışını artırma potansiyeline sahip olduğu son zamanlarda önerilen sanal gerçeklik etkilerindedir. Sanal gerçeklik teknolojisi gün geçtikçe gelişen ve kullanılabilirliği artan bir teknolojidir. Yapılan araştırmalar da göstermektedir ki kullanımı arttıkça sanal gerçekliğin kullanımına yönelik problemler ve avantajlar artmaktadır. Bu yüzden kullanılabilirliği arttıkça sınırlarının tanımlanması ve standardize bir uygulama şablonunun oluşturulması oldukça zaman alacaktır. Hem katılımcının hem de fiziksel çevrenin özel koşullarına uyum sağlayan bir sanal gerçeklik teknolojisinin sağlanması için teknolojik donanımların gelişmesi ve bu özel koşullara uyum sağlayabilir hale gelmesi gerekmektedir.

Rehabilitasyon alanında kullanılacak sanal gerçeklik sistemlerinin özellikle terapötik amaçla üretilen ciddi oyunların tasarımının artması ve artan bu yazılımların çeşitliliğinin artması gerekmektedir. Bu etkili çalışma için multidisipliner sanal gerçeklik uygulamaları tasarım imkanlarının artırılması gerekmektedir. Sanal gerçeklik teknolojilerinden olan kask tipi tam katılımlı sağlayan sanal gerçeklik sistemleri (KT-SG) eski sanal gerçeklik platformlarına göre daha çok kullanılmakta ve daha geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmaktadır. Bu erişilebilirlik kask tipi sanal gerçeklik sistemlerinin klinik araştırmalarda yıl geçtikçe daha büyük bir vizyona sahip olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: sanal gerçeklik, rehabilitasyon, sağlık teknolojileri

¹İstanbul Atlas Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Ergoterapi Bölümü,

ABSTRACT

The definition of virtual reality has undergone many changes until today. The main reason for this change is the constant change in the priority of use of virtual reality. Virtual reality (VR) head mount display type technologies (HMD)(Virtual reality – head mount display / HMD) is a popular market product that has appeared again in recent years. This popularity is due to the fact that some technology companies invest in virtual reality technology and take into account the interests and wishes of the consumer. Head Mount Display-type virtual reality technologies, which are developed from these devices, represent VR technology with the deepest reality. Virtual reality technologies used in the field of health can be categorized as customized systems for rehabilitation. SG offers alternative rehabilitation programs with new and effective therapeutic tools that can improve the functional abilities of patients in neurological rehabilitation, offering a variety of features such as goal-directed tasks and repetition. One of the recently suggested virtual reality effects is that the use of virtual reality environments for exercise has the potential to increase exercise behavior in older adults. Virtual reality technology is a technology that is developing day by day and its usability is increasing. Studies Show that as its use increases, the problems and advantages of using virtual reality increase. Therefore, as its usability increases, it will take a lot of time to define its limits and create a standardized application template. In order to provide a virtual reality technology that adapts to the special conditions of both the participant and the physical environment, technological equipment needs to be developed and become adaptable to these special conditions. It is necessary to increase the design of virtual reality systems to be used in the field of rehabilitation, especially for serious games produced for therapeutic purposes, and to increase the diversity of these increasing software. For this effective study, it is necessary to increase the design possibilities of multidisciplinary virtual reality applications. Virtual reality systems (HMD-VR), which is one of the virtual reality technologies with full participation of the helmet team, are used more than the old virtual reality platforms and reach a wider user base. These accessibility helmet type virtual reality systems seem to have a greater vision in clinical research year by year.

Keywords: virtual reality, rehabilitation, health technologies

GİRİŞ

Sanal gerçekliğin (SG) tanımı günümüze dek birçok değişime uğramıştır. Bu değişimin temel sebebi sanal gerçekliğin kullanım önceliklerinin devamlı değişmesidir. Mevcut durumda SG görüntüleme teknolojileri ile oluşturulan, kişilerin sanal olarak içinde bulunduğu/içine daldığı gerçek ve hayali ortamın bilgisayar tarafından üretildiği üç boyutlu grafik temsili olarak ifade edilmektedir [1]. İlk etkili SG teknolojisi AMES araştırma merkezinde NASA tarafından tele var oluş ve telerobotik kontrol alanında uzay üssü operasyonlarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir [2]. Sanal gerçekliğin gelişen teknolojilerin içindeki geleceğine yönelik raporun bulunduğu birçok araştırma bulunmaktadır. 2017 yılının haziran ayında Gartner araştırma ve danışmanlık şirketinin raporunda SG teknolojisinin aydınlanma çağına girdiğini ifade etmiştir. Bu aşamaya gelene kadar bir teknolojinin geçtiği temel aşamalar; inovasyon eşliği, beklentilerin arttığı sınır ve illüzyonun azalıp gerçekçi beklentilerin doğduğu dönem bulunmaktadır. Bulunduğu aşama ve ifade edildiği yıl göz önünde bulundurulduğunda SG teknolojisi mevcut durumda üretkenlik dönemine erişildiği ön görülmektedir [3]. Üretkenliğin arttığı ve kullanımın yaygınlaştığı dönemde SG daha etkili ve daha genelleşebilen değerlendirmeler ile ele alınarak kullanılabilir olacaktır.

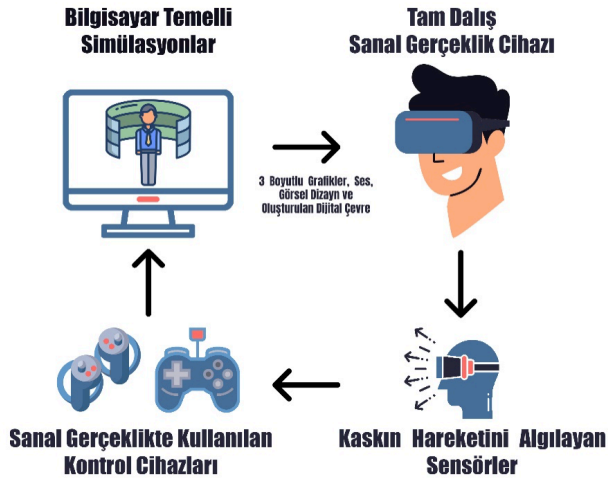
SG deneyim düzeyleri temel olarak üç grupta ele alınmaktadır. Bunlar katılımı olmayan, yarı katımlı ve tam katımlı (TK) SG olarak ifade edilmektedir. Katılımı olmayan SG masaüstü donanımlar aracılığıyla sanal grafikler bir pencerede gibi monitörden yansıtılarak kullanıcıya sanal bir deneyim yaşatılmasını hedeflemektedir. Yarı katımlı SG görüntünün bir alana projeksiyon ile yansıtılmasıyla yüksek performanslı donanımlarla iletilen yüksek kalite görüntülerin kullanıcılar tarafından kontrol edildiği uygulamaları içermektedir [4]. TK-SG kullanıcıya tam bulunma hali yansıtır. Bulunma halinin seviyesi ve gerçeklik hissi de sanal gerçekliği oluşturan donanı-

mın ve yazılımın kalitesine, renk kalitesine, programlanan uygulamaya, çözünürlüğe ve uygulamaların güncelliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Kullanıcılarda bulunan sensörler, kumandalar ve geri bildirimler TK-SG'ye katkı sağlamaktadır. TK-SG teknolojileri (Virtual reality-head mount display/HMD) yakın geçmişte karşımıza yeniden çıkan, gerçeklik düzeyi oldukça yüksek olan popüler bir market ürünüdür. Bu popülerlik teknoloji firmalarının SG teknolojisine yatırım yapması ve tüketicinin ilgisini ve isteklerini dikkate almasından kaynaklanmaktadır. Tüketici dostu bir ürün üretmek ürünün ulaşılabilirliğini olumlu yönde etkileyebilmektedir.

SG'nin kullanıldığı farklı alanlar zaman içinde bir uygulama sahası haline gelebilmektedir. SG teknolojileri genel olarak eğlence sektöründe ulaşılabilirliğe sahip olan ve ek bir uygulama aracı olarak görülebilmektedir. SG gibi teknolojiler rehabilitasyon uygulamalarında terapötik etkisi onaylandıktan ve kabul edildikten sonra ve pozitif katkı sağlayan bir yardımcı cihaza dönüşebilmektedir. Bu derleme TK-SG teknolojilerine güncel bir bakış açısı getirmeyi ve sanal gerçekliğin kullanımının yaygınlaştırılması hakkındaki araştırmalara dikkat çekmeyi amaçlamaktadır. Literatürün ele aldığı ana araştırma konularının metodlarında kullanılan farklı çeşitlerde SG sistemlerinin ve müdahale tiplerinin bulunması yapılan bu araştırmanın daha dar ve ek kriterlere bağlı gerçekleştirilmesine sebep olmuştur. Literatür taraması Google Scholar üzerinden yapılmıştır ve boolean operatörleri kullanılarak "head mount display" AND "rehabilitation" anahtar kelimeleri ile araştırma gerçekleştirilmiştir. Rehabilitasyon yaklaşımı ve TK-SG uygulaması içermeyen çalışmalar araştırmaya dahil edilmemiştir. Bu araştırma yukarıda belirtilen araştırma metodlarını içeren tüm makaleleri değil, yalnızca rehabilitasyonda TK-SG kullanıma yönelik olan genel algıyı ifade etmek üzere hazırlanmıştır. Klinik uygulamasında etki analizi yapmayan çalışmalar derlemeye dahil edilmemiştir.

Sanal gerçeklik birçok özelliği ile rehabilitasyonda yer alabilir ve kullanıcı için ilgi çekici bir araç olabilmektedir. SG içinde olan kullanıcılar yaratıcı çözümler üretebilir ve bir eylemi gerçekleştirmenin yeni yollarını keşfedebilir [5]. Masaüstü ya da akvaryum tipi (fish tank type) SG adı verilen bilgisayar ekranlarından oluşan 3 boyutlu grafikler ile oluşturulmuş SG teknolojileri de bulunmaktadır. Bu teknolojiler TK-SG teknolojisi olmadığı için çalışmada dahil edilmeyen SG teknolojileridir. Şekil 1'de temel TK-SG teknolojisinin yapısı görülmektedir.

TK-SG teknolojisinde kullanıcı SG sistemine hem veri sağlayan hem de bilgisayar sistemlerinden aldığı verilerle SG içinde bulunma halini sağlayabilmektedir.



Şekil 1 SG ve TK-SG Teknolojisi: SG üç temel karakteristik özelliği ile ön plana çıkmıştır [5]. Tam Dalış Sanal Gerçeklik Cihazı: Görselin oluşturduğu grafik gerçek zamanlı olarak kullanıcının komutuna yanıt verir. Bilgisayar Temelli Simülasyonlar: Kullanıcı duysal deneyimiyle birlikte simülasyonun içine çekilir. SG'de Kullanılan Kontrol Cihazları: Simüle edilmiş dünyanın hayal gücü ile özgürce deneyimlenmesidir. Görme, dokunma, hareket etme ve deneyimleme yeni perspektifler ile kullanıcı deneyimine açıktır [1]

Sanal gerçekliğin Rehabilitasyonda Kullanımı

Sağlık alanında kullanılan SG teknolojileri özelleştirilmiş sistemler olarak kategorilendirilebilir [6]. SG teknolojisinin daha ulaşılabilir olması bu teknolojinin bir eğitim ve araştırma aracı olarak kullanılmasını sağlamaktadır. SG teknolojileri üzerinden yapılan birçok araştırma bulunmaktadır. Özellikle rehabilitasyon alanında yapılan araştırmalarda SG teknolojileri etkisi, avantajları, limitasyonları ve fizibilite çalışması sınırlı sayıda yapılmış bir teknolojidir [1]. Bir teknolojinin amacı dışında kullanıldığı faydalı uygulamalar farklı şekillerde ortaya çıkabilmektedir.

SG teknolojisinin rehabilitasyonda kullanımı, motor öğrenme mekanizmalarını içeren hesaplamalı sinirbilim araştırmalarından yola çıkılarak ortaya çıkarılmıştır [7]. SG, hareketler için gerçek zamanlı görsel geri bildirim sağlar, böylece keyifli rehabilitasyon görevlerine katılımı artırmaktadır [8]. Sanal gerçekliğin rehabilitasyon alanında kullanımı özellikle bilişsel ve motor beceriler üzerine gerçekleştirilmektedir [9], [10]. Belirtilen temel başlık alanları ele alınarak sanal gerçekliğin tek bir alanla sınırlı kalmayarak rehabilitasyon alanlarının uzmanlık alanlarına göre farklı amaçlar için kullanılabilir (eğitim, tedavi, değerlendirme vb.). SG hedefe yönelik görevleri ve uygun beceriyi öğrenme aşamasında gerçekleştirilen tekrarları sınırsız kez sunabilme gibi çeşitli özelliklere sahiptir. SG yeni ve etkili terapötik bir araç olarak alternatif rehabilitasyon programları sağlayabilmektedir. Egzersiz için SG ortamlarının kullanımının, yaşlı yetişkinlerde egzersiz davranışını artırma potansiyeline sahip olduğu son zamanlarda önerilen SG etkilerindedir [9]. SG, nörolojik rehabilitasyonda hastaların fonksiyonel yeteneklerini geliştirebilmektedir.

Rehabilitasyon çalışmalarında sanal gerçekliğin kullanımı şekli genellikle bir kontrol grubu ve kontrol grubunun mevcut durumda aldığı rehabilitasyon hizmetleri ile karşılaştırılmaktadır. Örnek olarak geleneksel fizyoterapi müdahaleleri alan bir kontrol

grubu ile SG uygulamaları kıyaslanmıştır [11]-[16] ya da SG içindeki farklı egzersiz kontrol modalitelerinin birbiriyle kıyaslanması söz konusudur [17]. Sanal gerçekliğin rehabilitasyonda kullanım süresi değişkenlik göstermektedir. Standardize bir uygulama süresi olmamakla birlikte genel olarak her bir SG uygulaması 15 dakikadan 60 dakikaya kadar sürebilmektedir. Çalışma süreleri nadiren 2 haftayı geçebilmektedir ve ender olarak 12 haftaya ya da 6 aya kadar sürebilmektedir [18] SG teknolojisini kullanabilmek için cihaz için belirlenen standart temel yaşı tamamlamak yeterlidir (Cihaza göre değişiklik göstermektedir). Bu kullanılan cihazın boyutuna göre değişmek ile ortalama uygulama yaşı olarak 9 ve üstü olarak ifade edilmektedir [18]. Son yıllarda SG programlarının hızla gelişmesi ve artan SG literatürü nedeniyle nörolojik bir hastalıktan etkilenen hastalarda SG etkisini inceleyen çalışmalar ile ilgili kanıtların gözden geçirilmesi zorunludur.

Sanal gerçeklik cihazlarının kullanıldığı çalışmalarda her çalışmada olduğu gibi genel dahil edilme ve dışlanma kriterleri bulunmaktadır. SG sistemlerinin kullanıldığı çalışmalarda ilk olarak, SG cihazlarını üreten firmaların belirttiği bazı konuların başında fotosensitif (ışığa duyarlı) epilepsi, görsel hassasiyet gibi rahatsızlıklar gelmektedir. Genel kullanım yeterliliğinin gerektirdiği maddelere ek olarak aşağıda literatürde yaygın olarak karşılaşılan dışlanma kriterleri belirtilmiştir. Belirtilen kriterler SG uygulamalarındaki vaka çalışmalarında ifade edilen dışlanma kriterlerine örneklerdir [19]-[21]:

Fiziksel ve Nörolojik Dışlanma Kriterleri

- SG cihazını kullanabilecek yeterli kas kontrolüne sahip olması
- SG kaskı boyutlarının katılımcıların antropometrik ölçülerine uyması
- Özellikle üst ekstremitelerde ince motor hareketleri sınırlandıracak bir ampütasyona sahip olmaması
- SG sisteminin başta kullanımı için gerekli boyun kası gücüne sahip olma ve cihazı yönlendirebilmesi

Bilişsel Dışlanma Kriterleri

- SG uygulamalarında kaldığı süre boyunca gerekli dikkat becerisini sürdürebilmesi
- Katılımcının kullanacağı uygulamanın gerektirdiği bilişsel yeterliliklere uzmanların araştırma için koyduğu sınırlarda yeterlilik göstermesi
- Mevcut durumda mâni ve intihar eğiliminin olmaması

Diğer Dışlanma Kriterleri

- Işık kaynaklarına aşırı reaksiyon gösterilebilen fotofibi durumunun bulunmaması

Sanal Gerçekliğin Rehabilitasyondaki Etkisi ve Etkinliği

Tam katımlı sanal gerçeklik sistemlerinin rehabilitasyon uygulamalarında kullanılırken değerlendirildiği birçok çalışma bulunmaktadır. Daha derin bir gerçeklik deneyimi sunan TK-SG teknolojisinin sanal vücut ve sanal çevre ile daha etkili bir yaklaşım ve algı imkânı oluşturduğu ifade edilmiştir. SG'de var olmanın ve bedenine sahip olmanın hissi TK cihazlarda daha etkili bir şekilde verilmektedir [22], [23]. Elde edilen bu deneyimler kişilerin davranışına ve motor öğrenme ve rehabilitasyon uygulamalarına etki etmektedir. Yapılan literatür araştırmalarında ilk dikkat çeken sonuç SG teknolojilerinin daha fazla randomize kontrollü çalışmalarda kullanılması gerektiğidir. SG deneyimi sağlayan birçok SG cihazı bulunmaktadır. Bu cihaz çeşitliliği sanal gerçekliğin sağlık müdahalelerinde kullanımı için gerekli standartlığı ve kesinliği her cihazın farklı gerçeklik düzeylerinde deneyim oluşturduğu için sağlayamamaktadır. Sınırları belirlenemeyen bu çeşitlilik sanal gerçekliğin sağlık yönetimi sistemlerine dahil edilememesine yol açmaktadır [23]. Bu çalışmalardaki temel değerlendirme kriteri tercih edilen örneklem özelliklerine ve becerilere yönelik etkisini incelemektir. Sanal gerçekliğin kullanıldığı araştırmaların önemli bir kısmında sağladığı pozitif etki bilinmektedir. Özellikle predominant geriatrik sendromlar-

da SG uygulamalarının bir çok araştırmada pozitif etki oluşturduğu sonucuna varılmıştır [9]. TK-SG uygulamalarının öğrenme süreçlerinin görsel motor beceriler ile ortaya çıktığı geleneksel 2 boyutlu ekran teknolojisi ile sunulan SG uygulamalarından daha etkili bir öğrenme süreci olduğu yapılan araştırmalarda ifade edilmektedir [10], [24]-[26]. SG ve geleneksel SG ortamlarının kullanıldığı motor becerilerinin kazanımının incelendiği bir çalışmada iki tip SG de ele alındığında TK-SG tipi SG uygulamaları ile kazanılan motor becerilerinin katılımcıların daha geçerli bir motor performans becerisi ortaya koymasına destek sağlamaktadır [10].

Tam katımlı sanal gerçeklik ile gerçek dünya arasındaki uygunluk (yani gerçek ortamın taklidi) ve boyutsallık (yani, sanal ve gerçek ortamlar arasındaki boyutların eşleşmesi) gibi görev ile ilgili faktörlerin alt ekstremit motor performansını etkilediği gösterilmiştir [27] ve hem alt hem de üst ekstremit motor transferinde transfer becerisine olumlu etkisi olduğu öne sürülmüştür [27], [28].

Sanal Gerçeklik Teknolojilerinin Rehabilitasyon Araştırmalarındaki Kullanılabilirliği

Sanal gerçekliğin bir yardımcı araç olarak ele alındığında her çalışma sahası ve uygulama alanı için benzer süreçler farklı uzmanlıklar tarafından yorumlanmaktadır. Tüm kişisel görüşlerin uygulamanın veya araştırmanın yapıldığı ülkenin kendi özel koşullarına göre değişiklik göstermektedir. Bu başlık altında ülke ve özel koşulların getirdiği şartların dışında SG ile ilgili ele alınan etkililiğe dair yorumlar yer almaktadır. Piyasada bulunan SG teknolo-

jilerinin karşılanabilir ve ulaşılabilir olması TK-SG cihazları ile çalışmanın önemli bir avantajıdır. Bu avantajın yanında piyasada bulunan oyunların, SG teknolojilerinin, haptik ve el kontrol sistemlerinin kişiselleştirilebilir yanı zayıftır. SG sistemlerinin ulaşılabilirliği gelişmekte olan ülkelerde gelişmiş ülkelere göre daha düşüktür. Buna ek olarak coğrafi koşullar ve sosyoekonomik durum da SG ulaşılabilirliğini etkilemektedir. Bu yüzden mevcut durumda bulunan cihazların kontrol şemasının dışına çıkmak ve rehabilitasyona özel bir SG teknolojisi geliştirmek maliyetli ve karmaşık bir süreçtir. Yapılan çalışmalarda SG teknolojisinin araştırmacı tarafından az kullanılması ya da bu konuda deneyim sahibi olmaması, kısa dönemli etkilerinin incelenmesinin yeterli olmaması ve sonuçların genelleşememesi gibi limitasyonları olduğu görülebilmektedir [29]. TK-SG ortamlarından öğrenmeye ve aktarmaya aracılık eden göreve ilişkin veya kişisel faktörlerin anlaşılması, TK-SG müdahalelerini neyin etkili kıldığını anlamak için incelenmelidir [30]. SG teknolojilerinin etkili kullanımının incelendiği araştırmalardaki temel kriterlerin teknik olarak değerlendirildiği ve sistemin analiz edildiği çalışma sayısı oldukça azdır. Bu sonuç göz önünde bulundurulduğunda SG sistemlerinin teknolojilerinin de SG sistemlerinin kullanım çıktıları kadar değerlendirilmesi gereken sistemler olduğu düşünülmektedir.

SG teknolojilerinin rehabilitasyon alanında kullanımının birçok avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır. SG teknolojilerinin kullanımının sınırlılıkları dış ve iç etkenlerden oluşabilir. Bu sınırlılıkların dış etkenleri çalışma metodunu oluşturan araştırmacıların sağladığı imkanlar ile çeşitlilik sağlayabilir. SG cihazını kullanacak olan gönüllü katılımcıların özelliklerine göre de bu sınırlılıklar değişkenlik gösterebilir. İç etkenler de SG teknolojisini kullanan katılımcı ile ilişkili özellikleri ifade etmektedir. Soltani ve arkadaşlarının yaptığı bir sistematik araştırmada TK-SG kullanımının etkilerine yönelik bilgiler sunulmuştur [31]. Yapılan araştırmada dikkat çeken başlıkların

genelinde yaptığı araştırmada TK- SG kullanımının etkilerine yönelik çalışmalar denge problemi oluşturmadığı, vücutta sarsılma reaksiyonu oluşturduğu, Parkinson hastalarındaki stres seviyelerinde azalma olduğunu, gerçek dünyadaki motor beceri eğitimlerine göre daha az öğreticiliği olduğunu, değerlendirme ölçeklerinin daha hızlı ve dikkatli bir şekilde tamamlanabildiğini, görsel olarak tedirginlik doğurduğunu, dengede farklılıklar oluşturduğunu, denge stratejilerinin ve dikkatli davranışın ortaya çıkmasını sağlamasını, düşme riski oluşturabileceğini, postürü ve yürüme dengesini desteklediğini ve yürüme simetrisinde artış görüldüğünü ifade etmektedir.

Bu etkiler düşünüldüğünde SG'nin yapılan çalışmaların amaçlarına özel yorumlandığını ifade edebiliriz. Sanal gerçekliğin bilimsel kullanımının yanında avantajları ve dezavantajları rehabilitasyonda ve değerlendirmelerde kullanılması için avantajları ve oluşturulacak problemleri ile 2001 yılında ifade edilmiştir. İfade edilen avantajlarda dikkat çeken ve günümüzde hala etkin olan avantajları: gün geçtikçe gelişen sanal çevredeki gerçeklik kalitesi, uyarının ayarlanabilmesi ve yanıtların ölçülebilmesi, öğrenmenin genelleşebilmesi, rehabilitasyonun standardize edilebilmesi ve katılımcının uygulamaya daha motive dahil olması şeklindedir. Avantajlarının yanı sıra SG uygulamaları SG uygulamasında bulunduğu durumu unutmaması, uygun çevrenin oluşturulmaması, değerlendirmeyi ve uygulamayı sürdürülebilmek için gerekli performansın gösterilememesi, uygulamalar arası tutarlılığın tam olarak kontrol edilememesi (özellikle SG uygulamasının sağlık uzmanı tarafından görüntülenemediği durumlarda) ve oyun dışında değerlendirme kapsamının motivasyonla birlikte dışına çıkılması sanal gerçekliğin uygulama esnasında kısıtlayıcı durumlarını belirtmektedir [32].

Sanal gerçekliğin geçmişten günümüze topluma uyum sağlaması literatürde fiyat fayda kıyaslama-

ları ile ifade edilmiştir. Cihazın teknolojisi değiştiği fiyat fayda oranlarının değişmesi söz konusudur. Standardize bir SG cihazının bulunmaması bu kıyaslamaların doğal sürecini oluşturmaktadır [33], [34].Yapılan araştırmalarda 2001 yılında Schulteis ve Rizzo tarafından yapılan araştırmada fiyat faydaya yönelik bazı sorular belirlenmiştir. Mevcut araştırmalarda da görülmektedir ki farklı cihazlardan farklı etkiler alınabilmektedir ve farklı cihazların gerektirdiği farklı maliyetler ve çevresel koşullar bu soruların güncelliğini korumaktadır. Bu sorular başlıca uygunluk, bireysel faktörler ve etik faktörler olarak üçe ayrılarak ifade edilmiştir [35]. Uygunluk için sorulabilecek sorular "SG yaklaşımı hedeflenen klinik grubuna ne kadar uyumlu? Farklı klinik gruplarında kullanılacak olan SG uygulamaları farklı yan etkiler ortaya çıkarır mı? Klinik gruptaki katılımcılar sanal gerçekliğin kullanım yeterlilik ihtiyaçlarını (bilişsel veya fiziksel) karşılayabilir mi? Aynı hedef daha basitleştirilerek iletilebilir mi?" şeklindedir. Bireysel faktörler için sorulan sorular "Klinik uygulama için en uygun dalış teknolojisi nedir ve sanal gerçekliğe dalış ne kadar olmalıdır? Kullanıcı SG'le anlamlı ve efektif bir şekilde kullanacağı şekilde organize edildi mi? SG içinde yapılan uygulamalar genelleşebilir mi ya da gerçek dünyaya aktarılabilir uygulamalar mı?" Etik için sorulan sorular "SG içinde bulunmak bazı psikolojik problemler yaşanabilir mi? Yaşanan bu problemler hangi klinik grubu kapsar? SG uygulamaları klinik gruplara uygunsuz ve uyumsuz reaksiyonlar oluşturmalarına sebep olabilir mi?" şeklinde olabilmektedir.

Bu ve buna benzer sorular ile SG sistemlerinin kullanımı sorgulanmaya başlamıştır. Literatürdeki araştırmalar ile farklı yaklaşımlar ve farklı uzmanlar tarafından kurgulanan SG uygulamaları ile sorgulanmaya devam etmektedir.

Son Sözler

Sanal gerçeklik teknolojisi gün geçtikçe gelişen ve kullanılabilirliği artan bir teknolojidir. Yapılan araştırmalar da göstermektedir ki kullanımı arttıkça sanal gerçekliğin kullanımına yönelik problemler ve avantajlar artmaktadır. Bu yüzden TK-SG'nin kullanılabilirliği arttıkça sınırlarının tanımlanması ve standardize bir uygulama şablonunun oluşturulması mümkün olabilecektir. Hem katılımcının hem de fiziksel çevrenin özel koşullarına uyum sağlayan bir SG teknolojisinin sağlanması için teknolojik donanımların gelişmesi ve bu özel koşullara uyum sağlayabilir hale gelmesi gerekmektedir. Rehabilitasyon alanında kullanılacak SG sistemlerinin özellikle terapötik amaçla üretilen ciddi oyunların tasarımının artması ve artan bu yazılımların çeşitliliğinin artması gerekmektedir. Bu etkili çalışma için multidisipliner SG uygulamaları tasarım imkanlarının artırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. S. K. Renganayagalu, S. Mallam, and S. Nazir, "Effectiveness of VR Head Mounted Displays in Professional Training: A Systematic Review," *Technol. Knowl. Learn.*, 2021, doi: 10.1007/s10758-020-09489-9.
2. A. G. Fisher, "Occupation-centred, occupation-based, occupation-focused: Same, same or different?," *Scand. J. Occup. Ther.*, vol. 20, no. 3, pp. 162-173, May 2013, doi: 10.3109/11038128.2012.754492.
3. Gartner, "Gartners Top 10 Technology Trends 2017," 2017. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartners-top-10-technology-trends-2017> (accessed Feb. 17, 2022).
4. M. Ma and H. Zheng, "Virtual Reality and Serious Games in Healthcare," in *Advanced Computational Intelligence Paradigms in Healthcare 6. Virtual Reality in Psychotherapy, Rehabilitation, and Assessment*, S. Brahnam and L. C. Jain, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011, pp. 169-192. doi: 10.1007/978-3-642-17824-5_9.
5. A. I. Logan, "Training Beyond Reality," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 31, no. 33, pp. 183-189, Oct. 1998, doi: 10.1016/S1474-6670(17)38407-0.
6. J. H. Crosbie, S. Lennon, M. C. McGoldrick, M. D. J. McNeill, and S. M. McDonough, "Virtual reality in the rehabilitation of the arm after hemiplegic stroke: a randomized controlled pilot study," *Clin. Rehabil.*, vol. 26, no. 9, pp. 798-806, Sep. 2012, doi: 10.1177/0269215511434575.
7. D. Freeman et al., "Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders," *Psychol. Med.*, vol. 47, no. 14, pp. 2393-2400, Oct. 2017, doi: 10.1017/S003329171700040X.
8. S. Ahn, S. Hwang, S. Ahn, and S. Hwang, "Virtual rehabilitation of upper extremity function and independence for stroke: a meta-analysis," *J. Exerc. Rehabil.*, vol. 15, no. 3, pp. 358-369, Jun. 2019, doi: 10.12965/jer.1938174.087.
9. R. Bevilacqua et al., "Non-immersive virtual reality for rehabilitation of the older people: a systematic review into efficacy and effectiveness," *J. Clin. Med.*, vol. 8, no. 11, p. 1882, 2019.
10. J. M. Juliano and S.-L. Liew, "Transfer of motor skill between virtual reality viewed using a head-mounted display and conventional screen environments," *J. NeuroEngineering Rehabil.*, vol. 17, no. 1, p. 48, Dec. 2020, doi: 10.1186/s12984-020-00678-2.
11. P. Allain et al., "Detecting Everyday Action Deficits in Alzheimer's Disease Using a Nonimmersive Virtual Reality Kitchen," *J. Int. Neuropsychol. Soc.*, vol. 20, no. 5, pp. 468-477, May 2014, doi: 10.1017/S1355617714000344.
12. A. Mirelman et al., "Addition of a non-immersive virtual reality component to treadmill training to reduce fall risk in older adults (V-TIME): a randomised controlled trial," *The Lancet*, vol. 388, no. 10050, pp. 1170-1182, Sep. 2016, doi: 10.1016/S0140-6736(16)31325-3.
13. E. Pelosin et al., "A Multimodal Training Modulates Short Afferent Inhibition and Improves Complex Walking in a Cohort of Faller Older Adults With an Increased Prevalence of Parkinson's Disease," *J. Gerontol. Ser. A*, vol. 75, no. 4, pp. 722-728, Mar. 2020, doi: 10.1093/gerona/glz072.
14. G. Saposnik et al., "Efficacy and safety of non-immersive virtual reality exercising in stroke rehabilitation (EVREST): a randomised, multicentre, single-blind, controlled trial," *Lancet Neurol.*, vol. 15, no. 10, pp. 1019-1027, Sep. 2016, doi: 10.1016/S1474-4422(16)30121-1.
15. E. Segura-Ortí et al., "Virtual reality exercise

- intradialysis to improve physical function: A feasibility randomized trial," *Scand. J. Med. Sci. Sports*, vol. 29, no. 1, pp. 89-94, 2019, doi: <https://doi.org/10.1111/sms.13304>.
16. A. Turolla et al., "Virtual reality for the rehabilitation of the upper limb motor function after stroke: a prospective controlled trial," *J. NeuroEngineering Rehabil.*, vol. 10, no. 1, p. 85, Aug. 2013, doi: 10.1186/1743-0003-10-85.
 17. I. L. Trevizan et al., "Efficacy of different interaction devices using non-immersive virtual tasks in individuals with Amyotrophic Lateral Sclerosis: a cross-sectional randomized trial," *BMC Neurol.*, vol. 18, no. 1, p. 209, Dec. 2018, doi: 10.1186/s12883-018-1212-3.
 18. R. Bevilacqua et al., "Non-Immersive Virtual Reality for Rehabilitation of the Older People: A Systematic Review into Efficacy and Effectiveness," *J. Clin. Med.*, vol. 8, no. 11, Art. no. 11, Nov. 2019, doi: 10.3390/jcm8111882.
 19. M. Erhardsson, M. A. Murphy, and K. S. Sunnerhagen, "Commercial head-mounted display virtual reality for upper extremity rehabilitation in chronic stroke: a single-case design study," *J. Neuroengineering Rehabil.*, vol. 17, no. 1, Art. no. 1, 2020.
 20. N. P. O. S. Bessa, B. F. de L. Filho, C. S. P. de Medeiros, T. S. Ribeiro, T. F. Campos, and F. A. da C. Cavalcanti, "Effects of exergames training on postural balance in patients who had a chronic stroke: study protocol for a randomised controlled trial," *BMJ Open*, vol. 10, no. 11, Art. no. 11, Nov. 2020, doi: 10.1136/bmjopen-2020-038593.
 21. A. Asadzadeh, T. Samad-Soltani, Z. Salahzadeh, and P. Rezaei-Hachesu, "Effectiveness of virtual reality-based exercise therapy in rehabilitation: A scoping review," *Inform. Med. Unlocked*, vol. 24, p. 100562, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.imu.2021.100562.
 22. S. A. Osimo, R. Pizarro, B. Spanlang, and M. Slater, "Conversations between self and self as Sigmund Freud—A virtual body ownership paradigm for self counselling," *Sci. Rep.*, vol. 5, no. 1, Art. no. 1, Sep. 2015, doi: 10.1038/srep13899.
 23. M. Slater and M. V. Sanchez-Vives, "Enhancing Our Lives with Immersive Virtual Reality," *Front. Robot. AI*, vol. 3, 2016, doi: 10.3389/frobt.2016.00074.
 24. J. M. Anglin, T. Sugiyama, and S.-L. Liew, "Visuomotor adaptation in head-mounted virtual reality versus conventional training," *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, Art. no. 1, Apr. 2017, doi: 10.1038/srep45469.
 25. J. Iruthayarajah, A. McIntyre, A. Cotoi, S. Macaluso, and R. Teasell, "The use of virtual reality for balance among individuals with chronic stroke: a systematic review and meta-analysis," *Top. Stroke Rehabil.*, vol. 24, no. 1, pp. 68-79, Jan. 2017, doi: 10.1080/10749357.2016.1192361.
 26. G. Tieri, G. Morone, S. Paolucci, and M. Iosa, "Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies," *Expert Rev. Med. Devices*, vol. 15, no. 2, pp. 107-117, Feb. 2018, doi: 10.1080/17434440.2018.1425613.
 27. A. Kim, K. S. Kretch, Z. Zhou, and J. M. Finley, "The quality of visual information about the lower extremities influences visuomotor coordination during virtual obstacle negotiation," *J. Neurophysiol.*, vol. 120, no. 2, pp. 839-847, Aug. 2018, doi: 10.1152/jn.00931.2017.
 28. G. G. Fluet and J. E. Deutsch, "Virtual Reality for Sensorimotor Rehabilitation Post-Stroke: The Promise and Current State of the Field," *Curr. Phys. Med. Rehabil. Rep.*, vol. 1, no. 1, pp. 9-20, Mar. 2013, doi: 10.1007/s40141-013-0005-2.
 29. M. Erhardsson, M. A. Murphy, and K. S. Sunnerhagen, "Commercial head-mounted display virtual reality for upper extremity

- rehabilitation in chronic stroke: a single-case design study," *J. Neuroengineering Rehabil.*, vol. 17, no. 1, pp. 1-14, 2020.
30. N. Gerig, J. Mayo, K. Baur, F. Wittmann, R. Riener, and P. Wolf, "Missing depth cues in virtual reality limit performance and quality of three dimensional reaching movements," *PLOS ONE*, vol. 13, no. 1, p. e0189275, Jan. 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0189275.
 31. P. Soltani and R. Andrade, "The Influence of Virtual Reality Head-Mounted Displays on Balance Outcomes and Training Paradigms: A Systematic Review," *Front. Sports Act. Living*, vol. 2, p. 531535, Feb. 2021, doi: 10.3389/fspor.2020.531535.
 32. M. Schultheis and A. Rizzo, "The application of virtual reality technology in rehabilitation," *Rehabil. Psychol.*, vol. 46, pp. 296-311, Aug. 2001, doi: 10.1037/0090-5550.46.3.296.
 33. L. E. Jones, "Does virtual reality have a place in the rehabilitation world?," *Disabil. Rehabil.*, vol. 20, no. 3, pp. 102-103, Mar. 1998, doi: 10.3109/09638289809166064.
 34. R. Korpela, "Virtual reality: opening the way," *Disabil. Rehabil.*, vol. 20, no. 3, pp. 106-107, Mar. 1998, doi: 10.3109/09638289809166066.
 35. M. Schultheis and A. Rizzo, "The application of virtual reality technology in rehabilitation," *Rehabil. Psychol.*, vol. 46, pp. 296-311, Aug. 2001, doi: 10.1037/0090-5550.46.3.296.