T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SANAT VE TASARIM ANA SANAT DALI
İNTERAKTİF MEDYA TASARIMI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİJİTAL ORTAMDA BEYİN BİLGİSAYAR ARAYÜZÜ KULLANIMI

MUHEMMET FATİH KILAVUZ
20720003

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. BAHADIR UÇAN

İSTANBUL
2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SANAT VE TASARIM ANA SANAT DALI
İNTERAKTİF MEDYA TASARIMI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİJİTAL ORTAMDA BEYİN BİLGİSAYAR ARAYÜZÜ KULLANIMI

MUHEMMET FATİH KILAVUZ
20720003
ORCID NO: 0000-0002-8305-4754

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. BAHADIR UÇAN

İSTANBUL
2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SANAT VE TASARIM ANA SANAT DALI
İNTERAKTİF MEDYA TASARIMI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİJİTAL ORTAMDA BEYİN BİLGİSAYAR ARAYÜZÜ KULLANIMI

MUHEMMET FATİH KILAVUZ
20720003

Tezin Savunulduğu Tarih: 30.06.2022
Tez Oy Birliği ile Başarılı Bulunmuştur

	Unvan Ad Soyad	İmza
Tez Danışmanı	**: Doç. Dr. Bahadır UÇAN**	
Jüri Üyeleri	**: Doç. Dr. Ertan TOY**	
	Dr. Öğr. Üyesi Dide AKDAĞ SATIR	

İSTANBUL
HAZİRAN 2022

ÖZ

DİJİTAL ORTAMDA BEYİN BİLGİSAYAR ARAYÜZÜ KULLANIMI

Muhemmet Fatih KILAVUZ
Haziran, 2022

Beyindeki elektriksel aktivitelerin keşfedilmesi ve EEG sinyallerinin gözlemlenebilmesi, insanlar için yeni bir dönemin başlamasına sebep olmuştur. Düşünce gücüyle makinelere komut verme fikri artık her zaman olduğundan daha uygulanabilir durumdadır. Önceleri motor becerileri kısıtlı kişilere daha rahat bir yaşam sunmak adına düşünülen beyin bilgisayar arayüzü sistemi, sağlıklı bireylerin de ilgisini çekmesiyle herkes tarafından merak konusu oldu. BBA, beyindeki sinyallerin EEG başlığı ile tanımlanması ve bunu bir yazılım vasıtasıyla komuta dönüştürerek herhangi bir bilgisayar sistemine aktarılıp, düşünce gücüyle çevredeki unsurlarla etkileşime girilmesine olanak sağlamaktadır. Eş zamanlı gelişen diğer dijital teknolojiler ile BBA'nın bağlantısı incelenmektedir. İnsan bilgisayar etkileşimi, arayüz, ergonomi gibi kavramlar BBA doğrultusunda ele alınmaktadır. Bu çalışmada gönüllü katılımcılar, bir EEG başlığı ve yazılımı ile BBA uygulamasını test etmektedirler. Bir küpü hareket ettirme deneyi, yapılan yüz mimiklerinin gerçek zamanlı olarak EEG verisiyle tanımlanması gibi testler yapılmaktadır. Testlerin ardından Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (SKÖ) anketi ile test esnasındaki uygulama arayüzlerinin kullanılabilirlik skoru belirlenmektedir. BBA uygulamalarını kullanmak için yıllardır devam eden temel eğitim yönteminin de değerlendirileceği test ve anket çalışmalarında; EEG başlığı ergonomisi, dijital ortamda BBA kullanımı, BBA kavramı gibi konularda topamda 3 çeşit anket yapılmaktadır. BBA sisteminin kullanılabilirliği değerlendirilmekte, sorunları ele alınmakta ve kullanılabilirliğini artırmaya yönelik çıkarımlar yapılmaktadır. Çeşitli alanlarda BBA'nın potansiyeline dair görüşler tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Beyin Bilgisayar Arayüzü, Elektroensefalografi, İnsan Bilgisayar Etkileşimi, Ergonomi, Kullanılabilirlik

ABSTRACT

THE USAGE OF BRAIN COMPUTER INTERFACE IN DIGITAL ENVIRONMENT

Muhemmet Fatih KILAVUZ

June, 2022

The discovery of electrical activities in the brain and the observation of EEG signals led to the beginning of a new era for humans. The idea of commanding machines with mind is now more viable than ever before. The brain computer interface system, which was previously thought to offer a more comfortable life to people with limited motor skills, became a subject of curiosity as it attracted the attention of healthy individuals. BCI allows the signals in the brain to be defined with the EEG headset and converted into a command via a software, transferred to any computer system, and interacted with the surrounding elements with the power of mind. The connection of BCI with other simultaneously developing digital technologies is examined. Concepts such as human computer interaction, interface, ergonomics are handled in line with BCI. In this study, volunteer participants test the BCI application with an EEG headset and software. Tests such as the experiment of moving a cube, the identification of facial mimics in real time with EEG data are performed. After the tests, the usability score of the application interfaces during the test is determined with the System Usability Scale (SUS) questionnaire. In the test and survey studies in which the basic education method, which has been going on for years, will also be evaluated in order to use BCI applications; There are 3 types of surveys in total on subjects such as ergonomics of the EEG headset, the use of BCI in the digital environment, and the concept of BCI. The usability of the BCI system is evaluated, its problems are addressed, and inferences are made to increase its usability. Views on the potential of BCI in various fields are discussed.

Key Words: Brain Computer Interface, Electroencephalography, Human Computer Interaction, Ergonomics, Usability

ÖN SÖZ

SYL-2021-4792 proje kodlu bu tez çalışması Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden ötürü bu kuruma teşekkür ederim.

Sürekli yanımda olup destek olan aileme, her konuda yardımcı olan danışman hocam Doç. Dr. Bahadır UÇAN'a, bana kıymetli katkılarından ötürü Doç. Dr. Ertan TOY'a ve deneylerde yer alan gönüllü katılımcılara teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul; Haziran, 2022 Muhemmet Fatih KILAVUZ

İÇİNDEKİLER

ÖZ ..... **iii**
ABSTRACT ..... **iv**
ÖN SÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **viii**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **x**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Tezin Gereçkesi 2
1.2. Tezin Amacı 3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **5**
2.1. İnsan Bilgisayar Etkileşimi 5
2.1.1. Arayüz ve Kullanılabilirlik 5
2.1.2. Fiziksel Arabirimler 6
2.1.3. Ergonomi 8
2.2. Dijitale Geçiş ve Multimedya 10
2.2.1. Shannon-Weaver Modeli ve Bilgelik Hiyerarşisi 11
2.2.2. Web 4.0 13
2.2.3. Nesnelerin İnterneti 14
2.2.4. Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesi 15
2.2.5. Genişletilmiş Gerçeklik Teknolojileri 16
2.2.5.1. Sanal Gerçeklik 17
2.2.5.2. Artırılmış Gerçeklik 17
2.2.5.3. Karma Gerçeklik 18
2.2.5.4. Metaverse 18
2.3. Beyin Bilgisayar Etkileşimi 19
2.3.1. Beyin 19
2.3.2. Serebral Korteks ve Elektroensefalografi 20
2.3.3. Beyin Bilgisayar Arayüzü 20
3. YÖNTEM **24**
3.1. Katılımcılar ve Kullanılabilirlik Test Prosedürü 25
3.2. Veri Toplama Araçları 25
3.3. Veri Değerlendirme Araçları 28
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME **31**
4.1. Deney Aşaması 31
4.2. Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (SKÖ) Anketi 34
4.2.1. Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği Anket Bulguları 34
4.2.2. Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği Anket Analizi 40
4.3. Çalışma Sonrası Kullanılabilirlik Anketi 42
4.3.1. Çalışma Sonrası Kullanılabilirlik Anket Bulguları ve Analizi 42
4.4. Dijital Ortamda Beyin Bilgisayar Arayüzü Kullanım Anketi 44
4.4.1. Dijital Ortamda Beyin Bilgisayar Arayüzü Kullanımı Anket Bulguları ve Analizi 44

4.4.2. Açık Uçlu Soruların Değerlendirilmesi 46
4.5. Test ve Anketler Sonrası Genel Değerlendirme..... 47
5. SONUÇ..... 49
KAYNAKÇA 53
EKLER..... 56

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1: Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (SKÖ) Standart Versiyon 28
Tablo 2: Çalışma Sonrası Kullanılabilirlik Anketi 29
Tablo 3: Dijital Ortamda BBA Kullanımı Anketi 30
Tablo 4: SKÖ Genel Yanıt Dağılımı 40
Tablo 5: Her Katılımcıdan Alınan SKÖ Skoru 41
Tablo 6: Çalışma Sonrası Kullanılabilirlik Anketi Genel Yanıt Dağılımı 42
Tablo 7: Dijital Ortamda BBA Kullanımı Anket 45

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Karar Anından Çıktı Aşamasına Etkileşim Süreci 2
Şekil 2: Ergonomik Joystick Tasarımı 8
Şekil 3: Genel Boyutlarıyla Ergonomi Disiplini (Karwowski, 2005) 9
Şekil 4: Shannon-Weaver Modeli (Shannon, 1948) 11
Şekil 5: Bilgelik Hiyerarşisi 12
Şekil 6: XR Şeması (Modawal, 2019) 16
Şekil 7: Beyin Lobları (Gray, 1918) 19
Şekil 8: Emotiv Epoch X EEG Başlığı 25
Şekil 9: Küp Deneyi Arayüzünden Bir Görsel 26
Şekil 10: Mimik Deneyi Arayüzünden Bir Görsel 26
Şekil 11: Bağlantı Kalitesini Gösteren Arayüz 27
Şekil 12: EEG Sinyal Kalitesini Gösteren Arayüz 27
Şekil 13: Farklı Saç Tiplerine Sahip Katılımcılar ile EEG Başlığı 32
Şekil 14: Deney Aşaması ve Katılımcılar 33
Şekil 15: SKÖ Anketi 1. Soru ve Cevapları 34
Şekil 16: SKÖ Anketi 2. Soru ve Cevapları 35
Şekil 17: SKÖ Anketi 3. Soru ve Cevapları 35
Şekil 18: SKÖ Anketi 4. Soru ve Cevapları 36
Şekil 19: SKÖ Anketi 5. Soru ve Cevapları 36
Şekil 20: SKÖ Anketi 6. Soru ve Cevapları 37
Şekil 21: SKÖ Anketi 7. Soru ve Cevapları 38
Şekil 22: SKÖ Anketi 8. Soru ve Cevapları 38
Şekil 23: SKÖ Anketi 9. Soru ve Cevapları 39
Şekil 24: SKÖ Anketi 10. Soru ve Cevapları 39

KISALTMALAR

AR : Augmented Reality (Artırılmış Gerçeklik)
BBA : Beyin Bilgisayar Arayüzü
BCI : Brain Computer Interface
EEG : Elektroensefalografi
IoT : Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
İBE : İnsan Bilgisayar Etkileşimi
MR : Mixed Reality (Karma Gerçeklik)
SKÖ : Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği
SUS : System Usability Scale (Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği)
VR : Virtual Reality (Sanal Gerçeklik)
XR : Extended Reality (Genişletilmiş Gerçeklik)
YTÜ : Yıldız Teknik Üniversitesi

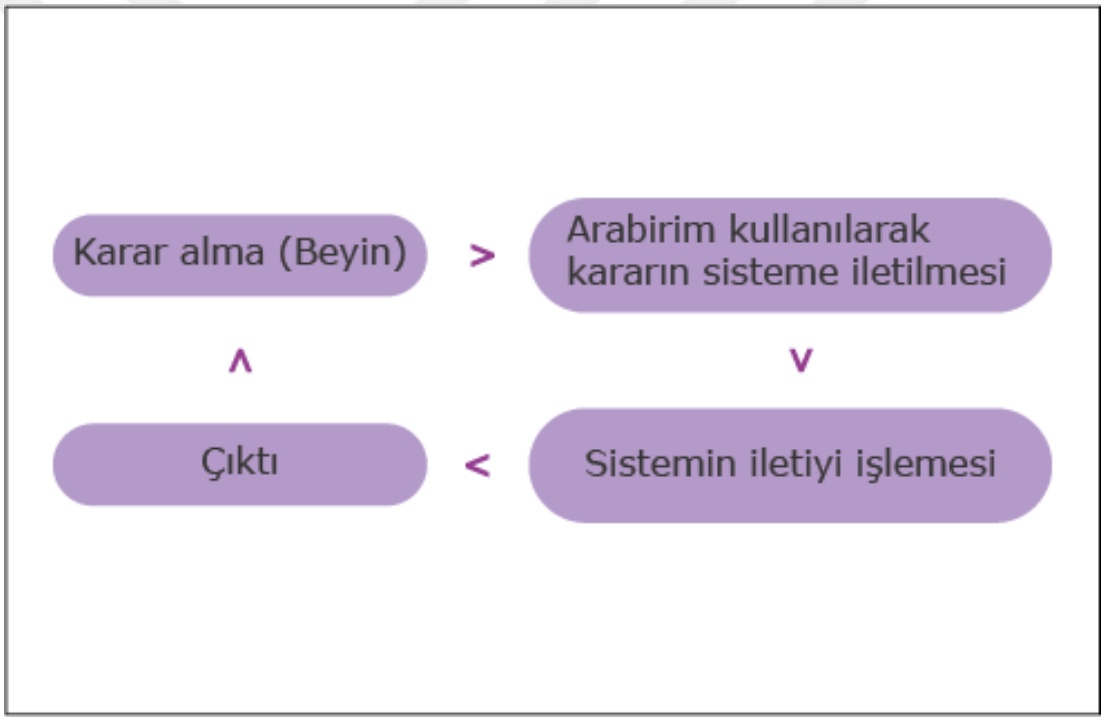
1. GİRİŞ

Dijital teknolojilerin ve bilgisayarların giderek yaygınlaştığı ve bu bilgisayar sistemlerinin işlem hızlarının eskiye göre büyük bir hızla arttığı bilinmektedir. Bilgisayar temelli teknolojilerin insan hayatında kapladığı yerin artmasıyla onlarsız yeni etkileşim ve eylem biçimleri düşünmek oldukça güçleşmektedir. Bilgisayar teknolojileri çok hızlı bir biçimde gelişmekte, çağa ve insan ihtiyaçlarına ayak uydurmaktadır. İnsanın ilk çağlardan bu yana insan-insan ve insan-doğa etkileşiminin yanına günümüzde insan-bilgisayar etkileşimi kavramı da eklenmiştir. İnsan hayatında bu denli bir yer kaplayan bilgisayar sistemleriyle insan arasındaki etkileşmenin bir araştırma ve geliştirme konusu olması kaçınılmazdır. İnsanların hayatlarının büyük bir parçası olan bu dijital teknolojilerin tasarımı da önemli bir konu olmaktadır. Kablosuz ve her an her yerde olarak içinde bulunduğumuz mekânlar, bir diğer yandan mobil ve giyilebilir gibi teknolojilerle doğrudan insan bedenine nüfuz eden ve her yere beraberimizde götürdüğümüz bir parçamız haline gelen interaktif medya araçları, her ne kadar teknik sistemlere dayansalar da içinde yaşadığımız çevreyi oluşturarak insan yapıntısı yeni bir ‘doğa’ oluşturmaktadır. Bu dijital araçların tasarlanmasında katkısı olan herkesin büyük bir sorumluluğu vardır; çünkü bu araçları tasarlamak, insanların yaşamlarını tasarlamaktır (Löwgren, Stolterman, 2007, 1. aktaran: Tasa, 2014, 10). Bu doğrultuda bu tasarım unsurlarında iki konu göze çarpmaktadır. Arayüz ve ergonomi. İnteraktif medya araçlarının en önemli unsurlarından, materyal ile kullanıcının etkileşime geçmek için kullandığı arayüzler, kullanıcının ihtiyaç duyduğu bilgilere ulaştığı bilgisayar ekranı gibi dijital bir halde olabileceği gibi, bilgisayara komut aktarmak için kullanılacak fiziksel arabirim formunda da olabilmektedir. Park ve Hannafin (1993)’e göre, interaktif medya tasarımında deneysel kanıtlardan çok sezgisel inançlara dayanarak çalışmalar yapılmaktadır. İnsanın kendi sezgileriyle oluşturduğu tasarım çabası, bilgisayar sistemlerini kendilerine göre uyarlaması daha sonradan bu sistemlerin hayatın hemen hemen her alanıyla iç içe olmasından kaynaklı olarak, insanın bu sistemlere kendini uyarlama çabasıyla karşılıklı döngü haline gelmiştir. Ergonomik olarak insan ihtiyacına göre uyarlanan her türlü interaktif medya araçları teknolojik olarak hızla

geliştirilmekte ve oluşan yeni etkileşim modelleriyle de insanlar bu sistemlere uyum sağlama çabası içine girmektedirler. Bu araçların hem yazılımsal hem donanımsal olarak hızla gelişmesi; hafiflemesi, boyut olarak küçülmesi, kullanılabilirliğinin geliştirilmesi, sistemin hızlanması, ucuzlaması, taşınabilir hale getirilmesi ve ulaşılabilir duruma gelmeleri de bu araçlarla insanlar arasındaki bağlantıyı kuvvetlendirmektedir. Alışkanlıklar da bu doğrultuda şekillenmektedir.

1.1. Tezin Gereçkesi

Bir bilgisayar sistemiyle etkileşime geçecek kullanıcının, sistemde oluşturacağı aksiyon için karar alma anından çıktı aşamasına kadar Şekil 1'deki gibi süreç işlemektedir.



Şekil 1: Karar Anından Çıktı Aşamasına Etkileşim Süreci

Klavye, dokunmatik ekran vb. arabirimler, kullanıcının sistemle etkileşime geçmesi için aracı konumunu üstlenmektedir. Bu arabirimler kullanıcıyla daha uyumlu ve verimli çalışabilmesi için sürekli geliştirilmektedir. Bu arabirimleri ergonomik olarak en üst seviyeye çıkarma çabası her daim devam etse de bazı durumlarda yeterli olmamaktadır. Motor becerisi kısıtlı bir kullanıcı için bazı arabirimler tam anlamıyla kullanılamaz durumdadur. Bu noktada karar alma aşaması ile kararın sisteme

iletilmesi aşamasını birleştirebilecek bir deneyim engelli kullanıcıların sorununu çözecek ve ekstra arabirimleri ortadan kaldırıp etkileşimi düşünce gücü hızına çıkaracaktır. El ile kontrol edilen fiziksel bir arabirim söz konusu olduğunda bu arabirimin işlevselliği ergonomiden bağımsız düşünülemez. Ergonomik kullanım koşulları da kullanıcı deneyimini doğrudan etkilemektedir. Nesnelerin interneti ile her alanda karşılaştığımız, birbirlerine ve internete erişimi olan cihazlara olan bağlılığımız her geçen gün artmaktadır. İnteraktif dijital araçların hayatımızdaki yeri ve onlarla olan etkileşimimizdeki hız ihtiyacının yanında daha az aksiyon daha fazla iş düşüncesiyle beyin bilgisayar arayüzü uygulamalarının hayatın içerisine nasıl yerleştirileceği, hangi alanlarda nasıl etkileşimler tasarlanarak kullanılabileceği tartışma konusu olmaktadır.

1.2. Tezin Amacı

Beyindeki elektriksel aktivitelerin keşfedilmesi ve Berger (1929)'in Elektroensefalografi (EEG) yöntemini ilk kez uygulayarak insan vücudunda gerçekleşen çeşitli olayların (kas hareketleri, göz kırpma, uyku vb.) beyindeki elektriksel aktiviteler üzerinde oluşturduğu etkileri gözlemlemiştir. Vidal (1977)'ın araştırmasında beyindeki elektriksel aktiviteleri kullanarak düşünce gücüyle fare imlecini hareket ettirme deneyi kurgulamıştır. Bu deneyle birlikte beyin bilgisayar arayüzü (BBA) uygulamalarının sadece teorik değil pratikte de kullanılabileceği anlaşılmaktadır. BBA uygulamaları sayesinde gerçek ve dijital ortamlarda çeşitli sistemlerle kurulabilecek yeni etkileşimler ve deneyimlerle bu teknoloji yüksek potansiyel vadetmektedir.

Bu çalışmada amaçlanan; mobil EEG cihazıyla bir bilgisayar üzerinde çalışacak BBA uygulamasını gönüllü deneklerle incelenmek; kullanımı, potansiyeli ve sorunlarını gözlemlemektir. Anket çalışmaları ve sistem kullanılabilirlik ölçeği yöntemleriyle elde edilen veriler değerlendirilmektedir. BBA'nın potansiyeli ve kullanılabilirliğinin artmasına yönelik çıkarımlar yapılmaktadır. Cihazın fiziksel olarak insan üstünde kullanılması, yazılımsal durumu, eğitim aşaması, uygulamanın kullanılması gibi yaşanan deneyim başından sonuna bütüncül bir şekilde ele alınarak genel ve özel değerlendirmeler yapılmaktadır.

Beyin bilgisayar arayüzü ile günlük hayattaki etkileşimlere hız kazandıracak, yeni deneyimler oluşturacak, çeşitli nedenlerle kullanılamayan veya kullanılması zor

arayüzlere alternatif olacak bir gelecek için temel bir çalışma yapmak amaçlanmaktadır.

Bilgisayar üzerinden kullanılan BBA yazılımı, EEG başlığının insan ve bilgisayar ile etkileşmesi ve ergonomk tespitler hem yazılımsal hem donanımsal olarak bu teknolojiden beklentileri ortaya koymaktadır. Bu beklentiler yapılan deney ve anket çalışmalarından derlenen verilerden oluşmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. İnsan Bilgisayar Etkileşimi

İnsan bilgisayar etkileşimi (İBE); insanın, bilgisayar ile arasında kurdukları birbirlerini etkileme durumunun genel adıdır. Bu etkileşim insan ile herhangi bir bilgisayar sistemi arasında kurulabilmektedir. Etkileşim tek taraflı olmamaktadır. Oluşturulan etki karşı taraftan da bir etkiyle yanıtlanıyorsa buna karşılıklı olarak birbirini etkilemek, etkileşim denilmektedir. Bu alandaki teorik ve pratik çalışmalarla iletişim ve bilgi teknolojilerinin insan ihtiyaçlarına yönelik tasarlanmasını, üretilmesini ve geliştirilmesini hedeflemektedir. Bilgisayar teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla İBE insan hayatında daha fazla yere sahip olmuştur. Adından anlaşılacağı üzere insan ve teknolojiyi içeren İBE; donanım, yazılım, fiziksel tasarım gibi alanları kapsadığı gibi psikoloji, sosyoloji, bilişim, ergonomi, eğitim bilimleri gibi çok farklı disiplinleri de kapsamasıyla disiplinlerarası yeni bir çalışma alanı olarak konumlandırılmaktadır (Çağıltay, 2016). İBE çalışmalarındaki temel hedef tasarlanacak olan bilişim sistemlerinin daha kolay kullanılabilmesidir. Bu doğrultuda 'kullanılabilirlik' kavramı ile karşılaşılmaktadır. Bu terim, sistemin verimli ve etkili bir şekilde kullanılmasına yönelik yapılan çalışmalar olduğu gibi sistemin kullanıcı hatalarına göre düşünülerek tasarlanmasını ve bütüncül bir yaklaşımla daha kolay öğrenilip kullanılabilecek duruma getirmeyi hedeflemektedir. Sistemi tasarlayanların, kullanıcıları gerek empati gerekse kullanıcı testleriyle olabildiğince tasarım sürecine katmaları gerekmektedir. Sistemin tasarlanmasında kullanılabilirlik testlerinin önemi büyüktür ve bağlamına göre yapılacak yöntemler çeşitlenebilmektedir.

2.1.1. Arayüz ve Kullanılabilirlik

Arayüz; interaktif medya araçları ve bilgisayar sistemlerinde kullanılan çeşitli dijital ekranlar olabileceği gibi fiziksel olarak bir donanım şeklinde de olabilmektedir. Temel fonksiyonu sistem ile insan arasındaki aracı görevini görmektedir. Bu aracılık

durumu ekran üzerindeki bilgiler görsel ögeler ve bunların yerleşimi olabileceği gibi, bu sistemle etkileşime geçecek kullanıcının ihtiyacına yönelik fiziksel bir donanım da olabilmektedir. Kullanıcılar bir uygulama üzerinde etkileşimlerini arayüzler vasıtasıyla gerçekleştirmektedirler. Kullanıcının ihtiyaçları ve sistemin kullanılabilirliği doğrultusunda arayüz tasarımının, İBE çatısı altındaki önemi büyüktür. Dijital arayüzlerde Shneiderman (2004)'in sekiz altın kuralı doğrultusunda; sistemin tutarlı olması, açıklayıcı geribildirim vermesi, hataların önlenmesi, alınan karardan geri dönülebilmesi, hafıza üzerindeki etkiler düşünülerek kısa süreli bellek yükünün azaltılması ve genel tasarımın ihtiyaçlar ve hedefler doğrultusunda öncelik sırasına göre planlanması gibi ilkeler sunulmaktadır. Nielsen (1994) ise kullanıcıyla sistem arasında kurulan sezgisel ilişki kapsamında, kullanıcının geçmiş deneyimlerinden öğrenerek pratik yollarla problemi çözmesine yönelik bazı yöntemler öne sürmektedir. Sistem, kullanıcıların anlamayacağı terimler yerine kullanıcılara yakın gelen kelime ve ifadeleri kullanarak kullanıcıların dilinden konuşması ve gerçek dünyada karşılaşılabilecek deneyimlerle sistem içerisindeki deneyimi eşleştirme çabasına girilmesini önermektedir. İhtiyaç duyulmayan bilgiye içerikte yer verilmemesi, kullanıcılara sık kullandığı eylemler için kısayollar tanımlanması gibi sezgisel değerlendirme yöntemleri önermektedir.

Doğası gereği karşılaştığı her durumda kendi yaşantısından referansla düşünüp eyleme geçen kullanıcı için, tasarımın bu noktada onunla uyumlu olması gerektiği; kullanıcı ihtiyaçlarının deney ve sezgisel analizlerle harmanlanarak tespit edilip kullanılabilirliği en üst seviyeye çıkaracak arayüzlerin oluşturulması mümkün olacaktır.

2.1.2. Fiziksel Arabirimler

İnsan ve bilgisayar arasındaki etkileşimin unsurlarından olan, belki de bu ögeler arasındaki en büyük paya sahip unsur kuşkusuz ki fiziksel arabirimlerdir. İnsan, bilgisayar ile her türlü bilgi alışverişi, komutu, iletişimi gibi etkileşimlerinde fiziksel arabirimlere muhtaçtır. Bu arabirimler bilgisayar, makine, dijital interaktif sistem vb. yapılarda karşımıza çıkmakta insanın etkileşimlerinde kilit rol oynamaktadır. Bir bilgisayar, telefon ya da kiosk arayüzündeki görsel tasarım ile fiziksel arabirimleri bütüncül bir şekilde insanın o cihazla olan deneyimini ve cihazın kullanılabilirliğini doğrudan etkilemektedir. Kullanıcının aldığı kararı uygulamasındaki tek yol bu

arabirimlerdir. Bu fiziksel arabirimler büyük ölçekte; bir bilgisayar faresi, joystick, touchpad, klavye, kumanda, oyun konsolu kumandası, sistemi kontrol etmek için kullanılan sisteme bağlı herhangi bir elekriksel fiziksel öge olabilir. Bu arabirimler küçük ölçekte ise; basılabilir tuşlar, kaydırma çubukları, dönen düğmeler, dokunsal yüzeyler, tetikler gibi sisteme çeşitli komutlar iletebilecek ögeler olabilmektedir. Aras (2021) bu çok disiplinli İBE çalışma alanında, insanların bilgisayarlarla ve diğer teknoloji türleri ile nasıl etkileşim kuracağını araştırmanın ve tasarlamanın öneminden bahsetmektedir. Bu arabirimler vasıtasıyla bilgisayarla kurulan etkileşimde insanın, bu etkileşimi yöneten bir operatör görevi gördüğünü belirtmektedir.

Fiziksel arabirimlerin tasarımında insan unsuru, kullanılabilirlik, ergonomi gibi konuların düşünülmesi gerekmektedir. Geleneksel arabirimler geçmişten gelen alışkanlıklarla birlikte temel özelliklerini muhafaza etmektedir. Bunun yanında gelişen teknoloji ve insan ihtiyaçlarına göre de bu tasarımlar evrim geçirmekte ve çözüm imkanları gelişmektedir. Tasarımın her zaman işlevsel olması ve ergonomik olarak daha iyi bir deneyim sunması amaçlanmaktadır. Bu çaba her ne kadar iyiden iyiye gelişip çoğu sorunu çözse ve daha iyi bir deneyim sunsa da bazı durumlarda çözüm sunamamaktadır. Fiziksel olarak kullanılması gereken bu cihazları kullanma potansiyeli olmayan insanlar; fiziksel olarak yetersiz, kısıtlı motor becerisi, öğrenme güçlüğü gibi durumlar insanın bilgisayarla olan etkileşimini kısıtlayabilmektedir. Karar anında komutu doğrudan sisteme göndermek, en yüksek hızda ve en az fiziksel eylem ile etkileşime geçme arzusu da fiziksel arabirimlerin beyin bilgisayar arayüzü ile yarışamayacağı konulardan bazılarını oluşturmaktadır. Fiziksel arabirimlerin yetersizliğine dair alternatif çözümler arasında en yüksek potansiyel taşıyan kavram beyin bilgisayar arayüzüdür. Fiziksel becerilerini kullanamama durumu bu eylemi düşünmeye engel olmamaktadır. Fiziksel engelli insanlar da bu sayede düşünce gücüyle bilgisayarla etkileşime geçebilmektedir. Uzun vadede beyin bilgisayar arayüzünün fiziksel arabirimlere alternatif olacağı veya tamamen yerini alabileceği konusu artık daha şiddetli bir şekilde tartışılmaktadır.

2.1.3. Ergonomi

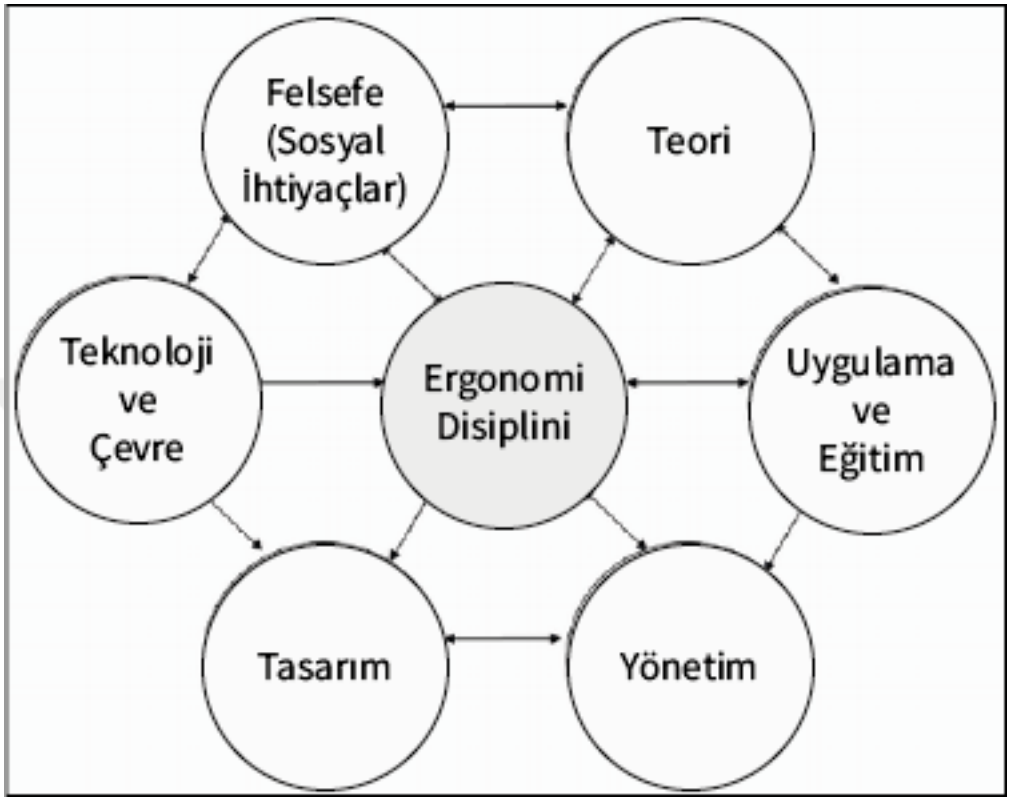
Ergonomi; fiziksel ve psikolojik olarak insanın çevre ve makine ile olan uyumunu incelemektedir. Bu uyumun doğal ve teknik yollarla araştırılması ve geliştirilmesi çabasını kapsamaktadır. Ergonomi, kullanıcının her türlü özelliği hesaba katılarak bir eylemi gerçekleştirmesi arasındaki bağlantıyı incelemektedir. Kullanıcının özelliklerinden yola çıkarak eylemi daha verimli veya kolayca yapabilmesine yönelik uygulanan çalışmalar bütünü de denebilmektedir. Bu bağlamda ergonomi "İnsanların fiziksel, ruhsal, sosyal özellikleri ve sınırlılıkları ile insan-sistem etkileşimi ve uyumluluğu tasarımının incelenmesi sonucu belirlenmekte olan uygulamalar serisidir" (Karwowski, 2005. aktaran: Aytaç, Kaya, 2019, 5).

Kullanıcının bir interaktif medya aracı veya bir bilgisayar sistemiyle etkileşime geçtiğinde, kullanıcının fiziksel olarak cihazı kullanabilme becerisi ve yeterliliği yaşadığı deneyimi doğrudan etkilemektedir. Tasarımın ihtiyaca yönelik iyi hesaplanması ve bu doğrultuda hayata geçirilmesi gerekmektedir. Şekil 2'de ergonomik olarak tasarlanmış ve ergonomi koşulları dikkate alınmadan tasarlanmış joystick örneği görülmektedir.



Şekil 2: Ergonomik Joystick Tasarımı

Kullanıcının fiziksel arabirimi kullanabilmesine olumlu ya da olumsuz etkileyecek olan ergonomik kararların uygulanmasında, kullanıcı profili doğrultusunda materyalin ağırlığı, rengi, dokusu, etkileşim unsurlarının konumlandırılması gibi fazlaca verinin en doğru şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 3: Genel Boyutlarıyla Ergonomi Disiplini (Karwowski, 2005)

Ergonomi disiplini Şekil 3'te gösterildiği gibi birçok disiplinle bağlantılı durumdadır. Bu kavramı besleyen pek çok disiplin bulunmakta, insan faktörü düşünülmeden ergonomik bir yaklaşım düşünülememektedir. Tasarlanacak sistem ile kullanıcı ihtiyaçları arasındaki bağ dikkate alınıp deneyimin bu doğrultuda iyi kurgulanması önem taşımaktadır. Norman (1999)'ın da belirttiği gibi, başarılı bir şekilde herhangi bir sistemin/tasarımın işlevsel ve anlaşılabilir ürünler geliştirilmesi açısından yeterli olması için, bu sistemin/tasarımın kullanıcıların ilgi alanlarına ve ihtiyaçlarına dayanması ve onların sınırlamaları ve yetenekleri hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirmektedir.

2.2. Dijitale Geçiş ve Multimedya

Dijital teknolojilerin gelişmesiyle bu teknolojilerin insan hayatında kapladığı yer büyük bir hızla artmıştır. Teknolojik aletlerin doğası gereği ilk ortaya çıktığında araştırma geliştirme ve üretim için yapılan masraflarla birlikte son kullanıcıya pahalı bir şekilde ulaşan teknoloji ürünleri, zaman ilerledikçe ucuzlamaktadır. Bu durum teknolojik cihazların yaygınlaşmasına ve ucuzlamasına yol açmaktadır. Zaman içinde ulaşılması zor gözüken teknoloji veya o teknoloji ürününe ulaşmak kolaylaşmaktadır. Dijital teknolojilerin insan hayatında büyük çaplı yer bulmasıyla hayatın akışı ve insan alışkanlıkları değişime uğramaktadır. Bu değişim teknolojinin gelişmesi, yeni cihazların piyasaya sunulması ve insanların bu ürünlere uyum sağlamasıyla devamlılık göstermektedir. Bilgi edinme, eğlence, sağlık gibi çok çeşitli alanlarda insan hayatını kolaylaştıran, yeni deneyimler sunan dijital teknolojiler ve multimedya araçları kullanıcı ihtiyaçlarına göre şekillenmektedir. Kullanılabilirliği insan faktörü ve kullanıcı ihtiyaçlarına göre tasarlanırken, bir yandan da insanların bu teknolojilere ve bu teknolojilerin var ettiği yeni alışkanlıklara uyum sağlama çabaları gözlemlenmektedir. İnsan hayatını kolaylaştıran teknolojilerle, insanın bu teknolojilere karşılıklı uyum sağlama çabası bir döngü halinde gelişerek devam etmektedir.

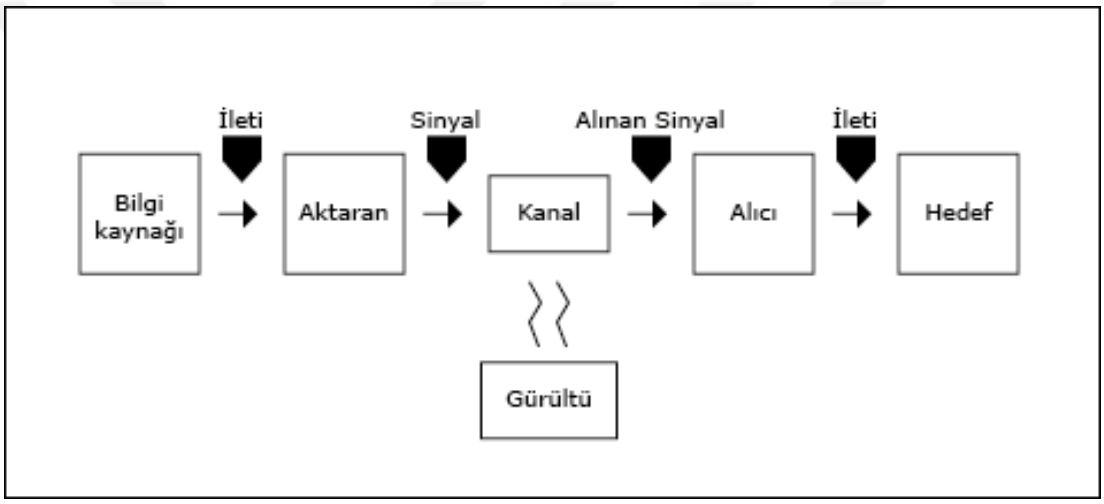
Dijital medyanın her an ulaşılabilme ve hızla yayılabilme özelliği aynı zamanda etkili bir propoganda aracı ve reklam yöntemine dönüşebilmektedir. “Araç mesajdır” kavramını ortaya koyan Marshall Mcluhan’a göre üretim ve dağıtım için gerekli bütün kritik bilgiler herkes için aynı zamanda ulaşılabilirdir. (Mcluhan, 2001. aktaran: Zedeli, Özkeçeci, 2020, 214). Ses, görüntü, yazı her türlü aktarıma imkân veren multimedya cihazlarıyla bir fikri aktarmak daha önce hiç olmadığı kadar kolaylaşmaktadır. Aktarılan ileti ise multimedya aracının kendisinden bağımsız olamayacaktır.

Bilgisayar donanım ve yazılımının sanat çalışmalarına da dahil edilmesiyle multimedya araçları üzerinden sanatçı, izleyici ve sanat yapıtı arasındaki ilişki farklı bir boyut kazanmaktadır. Yeni teknolojiler ve yeni etkileşim tipleriyle multimedya araçlarında kullanıcıya yeni deneyimler yaşatmak, etkileşimli deneyimler kurgulamak mümkün olmaktadır. Yeni gelişecek dijital teknolojiler ve interaktif

tasarım araçlarıyla; sanat ve tasarım alanında, üretim ve deneyimleme konusunun büyük potansiyeller taşıdığı görülmektedir.

2.2.1. Shannon-Weaver Modeli ve Bilgelik Hiyerarşisi

Dijitalleşme, internet ve insanlar arası artan etkileşimle, bilgiye ulaşım kolaylaşmıştır. Dijital kanallar vasıtasıyla kolayca ulaşılan her türden bilgiye insanların erişim hızı da tarihte hiç olmadığı kadar artmıştır. Son yüz yıldır iletişim imkanlarının geliştiği dijitalleşme döneminde insan-insan ve insan-bilgisayar arasındaki etkileşimin zamanla artmakta olduğu görülmektedir. Shannon (1948) iletişimin matematiksel kuramını oluşturmaya çalışmış, Şekil 4'teki gibi tek yönlü ve doğrusal bir model tanımlamıştır.

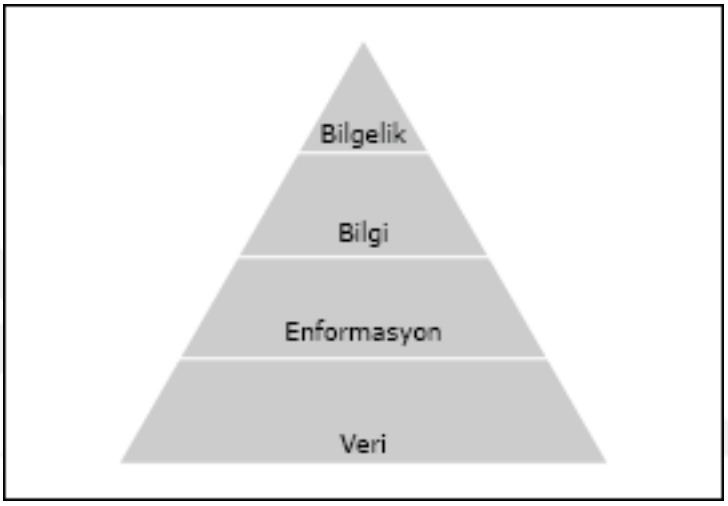


Şekil 4: Shannon-Weaver Modeli (Shannon, 1948)

Şekil 4'te görselleştirilen modelde, bilgi kaynağı, iletinin (mesajın) içeriğine karar veren, iletiyi üreten ve iletişimi başlatan bölümdür. Aktaran yoluyla iletilen mesaj, sinyal formunda taşınmakta ve bir kanaldan alıcı ile hedefe ulaştırılmaktadır. Elektronik iletişim amaçlı ortaya çıkmış olan bu modelin, bireyler için de uygulanabileceği savunulmuştur. Ancak, iletişimin sadece bu kurama dayandırılması, iletişimin öncesi ve sonrası düşünüldüğünde, bütün sürecin doğru bir şekilde değerlendirilmesini engellemektedir. İletişimi sadece sinyal iletimi olarak kabul etmek, sinyal aktarımının gerçekleşemeyeceği durumlarda iletişimin de gerçekleşemeyeceğini kabul etmek anlamına gelmektedir. Fakat kuramsal çerçevede düşünüldüğünde, iletişmemek mümkün olmayabilir. Buna göre, bütün insanlar hatta tüm canlılar davranışlarıyla, yaptıklarıyla ve düşündükleriyle iletişmektedir (Uçan,

2017). Bu modelin geliştirilmiş halinde ise geribildirim (feedback) özelliği de eklenmiştir. Bilgi kaynağından hedefe iletilen mesajın geribildirim ile kaynağına dönmesiyle model etkileşim kazanmaktadır. Enformasyon kuramı ve interaktif elektronik sistemlerin geliştirilmesinde önemli bir model, referans noktası olmaktadır. Günümüzde, bireyler arası tutum ve davranış değişikliği üzerine yoğunlaşan araştırmalarda var olan etki tabanlı çalışmalara da ilham kaynağı olmaktadır.

Bilgi hiç şüphesiz ki çağımızın en önemli değerlerindendir. Bilginin asıl değerini ortaya çıkarmak için de onu nasıl kullanacağını bilmek önem kazanmaktadır.



Şekil 5: Bilgelik Hiyerarşisi

Bilgi olmadan bilgelikten, enformasyon olmadan bilgiden ve veri olmadan enformasyondan söz etmek mümkün olmamaktadır. Bugünün toplumsal, ekonomik ve sosyal yaşamını değiştiren ve yukarı doğru bir sıra düzen içinde veriden bilgeliğe doğru uzanan bir zincirdir. Şekil 5'teki bilgelik hiyerarşisi, anlamsız bir verinin bilgiye gitme yolunu göstermek için oluşturulmuştur. Veri, bilgelik hiyerarşisinin en alt katında yer almaktadır. İşlem ve gözlemlerin yapılandırılmamış biçimleridir. Verilerin sistematik olarak toplanması, bir araya getirilmesi ya da düzenlenmesiyle enformasyon ortaya çıkmaktadır. Enformasyonun yorum, analiz ve bağlam ile zenginleştirilerek belirli bir amaca yönelik kullanılması ise bilgiyi doğurmaktadır. Herhangi bir olguya dair bilinenler enformasyonu, bilinenlerin bir değişime ya da eyleme nasıl dönüştürüleceğini bilmek ise bilgiyi ifade etmektedir. Bu sürecin sonunda öğrenme, araştırma ve gözlem yoluyla elde edilen her türlü gerçek ve

kavrayışın tümü ise bilgelik olarak tanımlanabilmektedir. Bilgeliğe giden bu süreçte her veri çok değerli olmakta, bunları derlemek ve amaca yönelik kullanabilme becerisi insan-insan etkileşiminde olduğu gibi insan-bilgisayar arasında da benzer şekilde işlemektedir. İnsan-bilgisayar etkileşiminde teknolojinin de gelişmesiyle bu süreç, insanların hayatını kolaylaştıracak şekilde kullanımımıza sunulmaktadır. Bu dijital sistemlerin, multimedya araçlarının tasarımında harcanan zaman boyunca elde edilen verilerin derlenip bilgelik hiyerarşisinde zenginleştirilmesiyle insan için sorun çözen, isteklerini ve ihtiyaçlarını gideren sistemler üretilebilmektedir. Bu sistemler; bir yazılım, ergonomik donanım, arayüz gibi unsurlar olabilmektedir. Sürekli olarak insana katkısı düşünülerek yeni veri, enformasyon ve bilgiler de eklenerek iyi tasarımın peşinde bilgeliğe doğru koşulmaktadır.

2.2.2. Web 4.0

Dijitalleşmeyle beraber yaşanan değişimler arasında internetin hayatımıza girişi önemli bir yer edinmektedir. İnsan yaşamının büyük bir parçası olan, hatta tam merkezinde yer alan internet ile neredeyse her işimizi görmekteyiz. İş, alışveriş, eğlence, eğitim ve sınırsıza yakın alanda internet ağlarından faydalanmaktayız. Giderek yaygınlaşan ve herkes tarafından ulaşılabilirliği artan internetin kullanımı arttıkça kendini geliştirmekte ve bir nevi evrim geçirmektedir. 1980'lerin sonunda ortaya çıkan Web 1.0 kavramı nispeten az kullanıcıya sahipti. Web 1.0 ağlarındaki internet sayfaları Shannon-Weaver (1948) modelinin ilk hali gibi tek taraflı bir iletişim barındırmaktaydı. Statik sayfalardan ibaretti. 2000'li yıllarda karşılaşmaya başladığımız Web 2.0 ile etkileşimli internet olarak adlandırılan döneme girilmiştir. Bu dönemde statik web sayfalarından dinamik web sayfalarına geçiş başlamaktadır. İnsanlar interneti sadece bilgi almak için değil aynı zamanda bilgi paylaşmak için de kullanmaya başlamışlardır. Web sayfaları kullanıcının katkılarıyla şekillenmiştir. Sosyal medya kavramı ortaya çıkmış, mobil uyumlu web sitelerle kullanım yaygınlaşmıştır. Web in bu ilk döneminin ortak noktası ise web sunucularının bir merkezi olmalarıdır. Daima bir otorite tarafından kontrol edilebilir ve içeriğe müdahale edilebilir durumda olmuştur. Blok zinciri teknolojisinin de gelişmesiyle insanlar merkeziyetli internet kavramını sorgulamıştır. Web 1.0'da olduğu gibi aracı sunucular ve Web 2.0'daki aracı platformlar olmadan merkeziyetsiz bir bağlantı protokolü amaçlanarak oluşturulan internet siteleri ve organizasyonlarla Web 3.0'ın temeli atılmıştır. Blok zinciri, kripto paralar, yapay zeka, metaverse (öte evren),

merkeziyetsiz uygulamalar gibi kavramlarla Web 3.0 günümüzde hâlâ şekillenmektedir. Yakın bir zamanda ise Web 3.0'ın hayatımıza tam anlamıyla girmesi beklenmektedir.

Yapay zekanın da gelişimi ve internet ortamında yaygınlaşan kullanımıyla gelecekte Web 4.0 konseptinin temelini oluşturması beklenmektedir. Henüz gelişmekte olan Web 4.0'ın tam olarak nasıl tanımlanması gerektiği konusunda fikir birliğine varılamamıştır. Kavramsal olarak da hala gelişme aşamasında olan Web 4.0 kavramı, makineler ve insanların simbiyotik olarak etkileşimde olacağı bir internet formunu ifade etmektedir. İnsan beynine paralel olarak hareket edebilecek makineler daha güçlü arayüzler oluşturarak, en iyi sonucu vermek için çalışacaktır. Kısacası, internetteki içeriği okuyup anlayabilecek konuma gelen makineler, en yüksek performansla en kaliteli sonuçlara ulaşmamızı sağlayacaktır (Aghaei, Nematbakhsh, Farsani, 2012). Henüz Web 3.0'a dahi tam anlamıyla geçilememişken Web 4.0 ile ilgili deneyim fikirlerimiz şimdilik tahminlerden öteye geçememektedir. İnsanlar ve makineler arasında simbiyotik bir yapının oluşacağını öngörerek simbiyotik web olarak da adlandırılmaktadır. Hayatın her alanında kullandığımız, internete bağlı dijital cihazlarımız ile olan daha akıllı etkileşimlerin bizi beklediği söylenebilmektedir. Daha sade, basit, hızlandırılmış arayüzler ve yapay zekanın desteğiyle Web 4.0 kavramı ve yeni deneyimler çok uzakta değil.

2.2.3. Nesnelerin İnterneti

Internet of Things (Nesnelerin İnterneti) kısaca IoT kavramı, ilk olarak 1999 yılında Massachusetts Institute of Technology'de Kevin Ashton tarafından gerçekleşirilen bir sunumda kullanılarak literatüre kazandırılmıştır (Ashton, 2009). Modern kablosuz iletişim teknolojilerinin gelişmesi ve bağlantı hızlarının yükselmesiyle birlikte bu kavramla pek çok alanda karşılaşılmaktadır. IoT; bilgi işlem ve iletişim teknolojilerini, hayatın her alanında evde, işyerinde, kamusal alanlarda kullanılan birçok "nesne"ye entegre etme fikriyle başlamıştır. Sağlık hizmetleri, akıllı ev uygulamaları, akıllı şehir uygulamaları gibi insan hayatıyla ilgili pek çok alanda kullanılması hedeflenmektedir. İnternet tabanlı dijital aygıtların yaygınlaşan kullanımıyla insan-makine arasındaki etkileşim farklı bir boyut kazanmaktadır. Bu cihazlar çevreyle, insanla ve kendi aralarında etkileşime girerek yapay zeka ve makine öğrenimini kavramlarının gelişmesine de katkıda bulunmaktadır. İnsan

hayatına entegre olan bu cihazlar kullanım esnasında insan ihtiyaçlarının verileriyle beslenerek enformasyon oluşturmakta; genişleyen bilgi hazineleri, veri setleri ile insanın makine ile olan etkileşimine yeni bir boyut kazandırmakta, akıllı etkileşim kurmaktadır. Toplanan insani verilerin ise güvenlik ve kişisel verilerin gizliliği konusunda yarattığı tartışmalar devam etmektedir.

2.2.4. Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesi

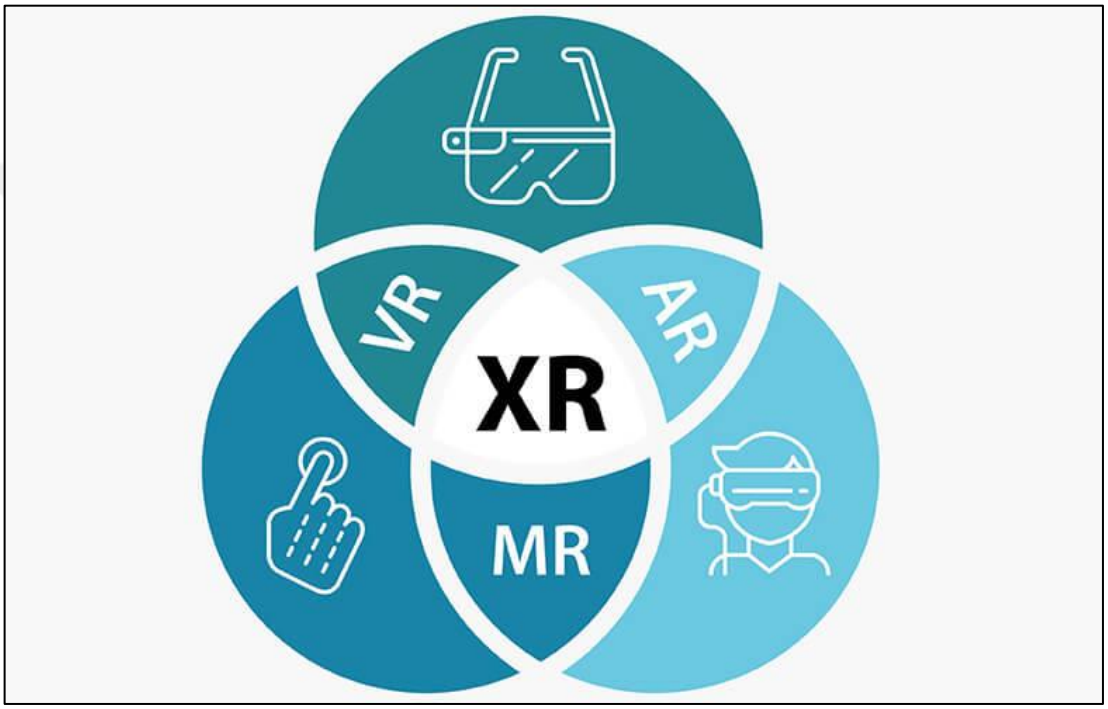
Yapay zeka, doğadaki varlıkların akıllı davranışlarını yapay olarak üretmeyi amaçlamaktadır. Canlı sistemlerini ve insan beynini model alıp; günlük hayatın farklı alanlarında ürünler vermesinin yanında, tahmin, sınıflandırma, kümeleme gibi amaçlar için de kullanılmaktadır (Charniak, McDermott, 1985). Makine öğrenmesi, yapay sinir ağları, algoritmalar, büyük veri gibi kavramlarla şekillenen yapay zeka, "insan gibi düşünen, insan gibi davranan, akılcı (rasyonel) düşünen ve akılcı davranan" (Balaban, Kartal, 2015: 16), canlıların zekice olarak kabul edilen davranışlarına sahip bilgisayar sistemleridir. Bu sistemleri kurgulamak ve eğitmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Makine öğrenmesi kavramı bu konuda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Çeşitli algoritmalarla, sisteme aktarılacak ve işlenmesi sağlanacak verilerle yapay zeka tabanlı uygulamalar yapmak mümkün hale gelmiştir. Çok sayıda ham veri ve bu verinin derlenip anlamlı hale getirilmesi, sınıflandırılması gibi teknik işlemler gerektirmektedir. Yapay zekanın kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda eğitilmesiyle insan yaşamına kolaylaştırıcı bir etki bırakabilmektedir. İnsan gibi düşünen sanal asistan, IoT tabanlı cihazlar ve bilgisayar sistemlerine entegre edilerek hayatın her alanında kullanılabilmektedir. Öyle ki sanat üretimi alanında da yapay zeka ve makine öğrenimi kavramını görmekteyiz.

Dijital cihazların/multimedya araçların yaygınlaşması ve ulaşılabilir olması, internet, yapay zeka gibi gelişen teknolojilerle kullanıcı deneyimi her geçen gün farklı bir boyut kazanmaktadır. Çeşitli arayüzler aracılığıyla makine ile etkileşime geçen insanın, yapay zekanın da yardımıyla ilerici bir bakış açısıyla yeni arayüzler tasarlama çabası gözlemlenmektedir. Öyle ki sadece düşünerek makineye komut verme fikri her ne kadar gerçek dışı ve ilerici bir kavram gibi görünse de mevcut teknolojilerle bu durum sadece teorik değil, pratik olarak da kullanılabilirliği tartışılmaktadır. Yapay zeka destekli fiziksel arabirimlerle yapay bir beyin modeli

eğitilerek kullanıcın sisteme beyni ile komut vermesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

2.2.5. Genişletilmiş Gerçeklik Teknolojileri

Genişletilmiş gerçeklik teknolojileri (Extended Reality Technologies) kısaca XR günümüzde popülerleşip, alt başlıklarının da oturmasıyla hayatımızda belli bir yere sahip kavram haline gelmiştir. Bu kavram dijitalliği gerçeklik ile birleştirerek yeni gerçeklik algısı sunmaktadır. Şekil 6'daki gibi üç başlıkta incelenmektedir.



Şekil 6: XR Şeması (Modawal, 2019)

Artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ve karma gerçeklik ile kullanıcı için yeni etkileşim senaryoları ve deneyimler sunmaktadır. XR "oradalık" (immersion) deneyimiyle kullanıcıyı bulunduğu fiziksel ortamın gerçekliğinden belirli seviyelerde koparır. Kısmen ya da tamamen sanal bir gerçeklik algısı oluşturarak sürükleyici bir deneyim sunmaktadır. Bu deneyim eğitim, eğlence, sanat gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir. Pahalı ve zor şartlar altında uygulanabilecek çalışmalar için alternatif gerçekliği sunarak, daha pratik bir çözüm vadetmektedir.

2.2.5.1. Sanal Gerçeklik

Sanal gerçeklik (Virtual Reality) kısaca VR; görüntü, ses, konum ve benzeri duyusal unsurların gerçek dünyanın bir taklidi olarak oluşturulmasıdır. Kullanıcı kafasına taktığı başlık ile fiziksel dünyadan büyük ölçüde soyutlanmaktadır. 360 derece sanal bir ortam içerisinde çeşitli etkileşimlere girebilmekte ve deneyimler yaşayabilmektedir. Kullanıcılar, kendilerini bulundukları ortamdan farklı bir yerde hissedip, farklı bir ortamı üç boyutlu olarak deneyimleyebilmektedirler. Zamanla fiyatı ulaşılabilir seviyelere gelen VR teknolojisi bir adet VR başlık ve iki elde de bulunacak kumandalarla deneyimlenebilmektedir. Bu doğrultuda kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Kamera ve anlatıyla ilişkili sanatların gözlemciyi resme dahil etme ve gerçekliğin temsilleriyle büyülemeye çalıştığı görülmektedir. Geçmişten günümüze aralıksız devam eden görsel sanatlarda kusursuz bir illüzyon oluşturma isteği, sanal gerçekliğin gelişimine yol açmıştır. Görsel teknolojiler söz konusu olduğunda öne çıkan konulardan birisi de oradalık deneyimidir. İllüzyon oluşturma denemelerinin teoriye dökülmesi neticesinde oradalık deneyimi kavramsallaşmıştır. Tarihsel olarak bakıldığında gösterim teknolojilerinin oradalık hedefiyle geliştiği ancak terimin gerçek anlamda video oyunları ve sanal gerçeklikle gerçekleştirilebildiği görülmektedir (Halaçoğlu, 2019). Yaygınlaşan kullanımı ve farklı multimedya araçlarıyla bağlantı potansiyeli de düşünüldüğünde VR deneyimin gelecekte çok daha önemli bir konuma ulaşacağı açıktır. Öyle ki kullanıcı deneyimini zenginleştirmek adına ses, görüntü, fiziksel uyaran (titreşim), kamera, konum bazlı sensör gibi teknolojilerle donatılan bu cihazlar yapay zeka destekli beyin komutlarının kullanımı ve gerçeklik algısıyla ilgili yapılacak çalışmalarla taşıdığı ilerici potansiyel dikkat çekmektedir.

2.2.5.2. Artırılmış Gerçeklik

Artırılmış gerçeklik (Augmented Reality) kısaca AR; oluşturulan duyusal unsurların gerçek zamanlı olarak zenginleştirerek fiziksel dünya ile etkileşiminin bir sonucudur. Çevremizde algıladığımız fiziksel unsurların, bilgisayar kaynaklı grafik, video, ses gibi veriler ile birleştirilmesiyle oluşan ve mevcut gerçekliği zenginleştiren bir deneyim türüdür. Yani gerçek ve sanalın birbirinden tamamen ayrılmadığı, tersine daha da iç içe girdiği bir gerçekliktir. (Pehlivan, 2020) Fiziksel dünyanın üzerine

atılan sanal bir katmandır. Mobil telefonlar AR'ın en çok kullanıldığı mecra olarak söylenebilir. Eğitim, eğlence, pazarlama gibi çok çeşitli alanlarda kullanıcı ihtiyaçlarına yönelik deneyimler sunmaktadır.

2.2.5.3. Karma Gerçeklik

Karma gerçeklik (Mixed Reality) kısaca MR; fiziksel dünya ve sanal katmanın harmanlanmasıdır. Ne VR'da olduğu gibi gerçeklikten tamamen koparız ne de AR'daki gibi fiziksel dünyanın üzerinde sanal katman görürüz. MR teknolojisi oluşturulan sanal katmanla etkileşime geçebilmemize olanak tanımaktadır. MR gözlükleri ve kumandaları ile kullanılabileceği gibi, el tarama teknolojisiyle insan el ve parmak hareketleri ile de kumandasız kullanılabilmektedir. Fiziksel dünyadan kopmadan sanal ile gerçeği bir arada sunarak gerçek zamanlı etkileşim sunmaktadır. Bir cihaz arayüzü üzerinden dokunup veya tuşlamanın haricinde doğruca fiziksel dünyanın üzerinde sanal olarak gördüğümüz o katmanla etkileşime girilebilmemize fırsat vermektedir.

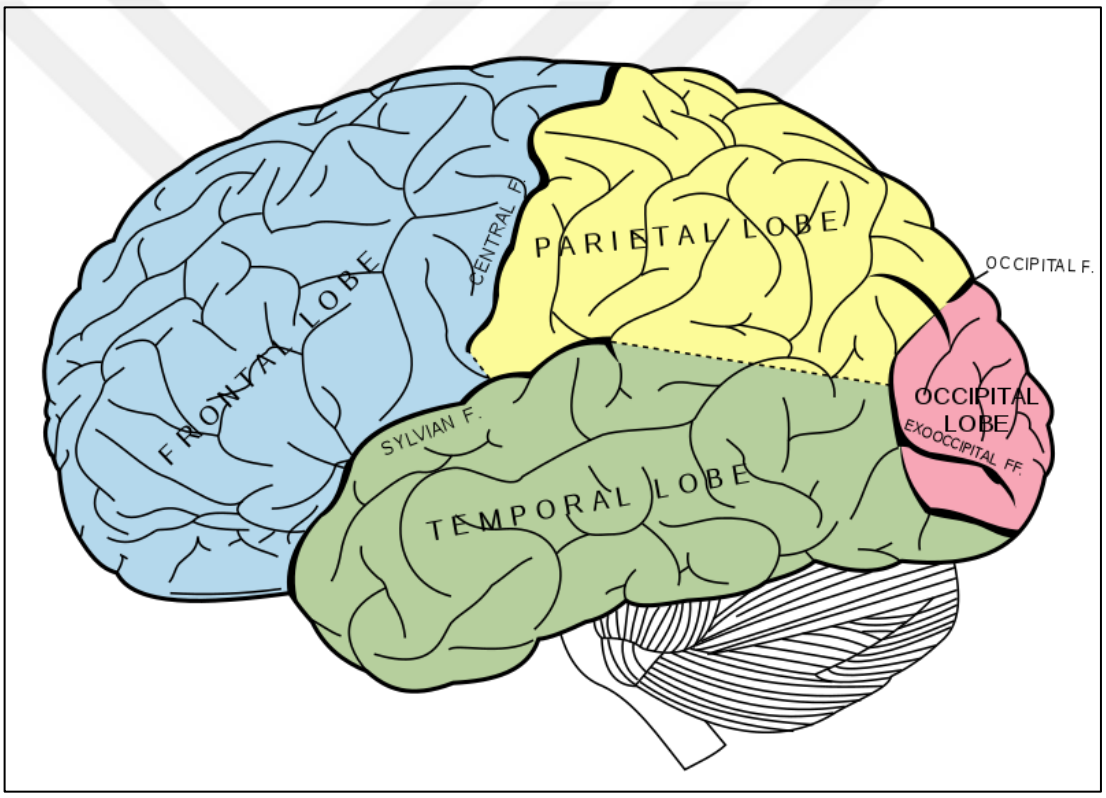
2.2.5.4. Metaverse

Metaverse, Türkçe tabiriyle sanal evren veya öte evren olarak adlandırılmaktadır. Metaverse geleneksel bilgisayar ortamlarının yanı sıra, XR teknolojileri ile üç boyutlu sanal ortamları da destekleyen internetin varsayımsal bir yinelemesi olarak nitelendirilebilir. Metaverse terimini ilk kez Neal Stevenson (1992) 'Snow Crash' bilim kurgu romanında kullanmıştır. Dünyanın dört bir yanından kullanıcıların gözlük ve kulaklık aracılığıyla erişip bağlanabileceği bilgisayar grafiklerinden oluşturulan, paralel bir sanal gerçeklik evrenini temsil etmektedir. Burada bahsedilen sanal gerçeklik durumunun fiziksel benlik üzerinde de etkisi olabilmektedir (Mystakidis, 2022). Kullanıcılar kendilerini temsil eden avatarlar oluşturup sanal evrende gezebilmekte, fiziksel dünyada yaptığı her şeyi ve daha fazlasını deneyimleme imkânına erişmektedir. Günümüzde metaverse konseptine yönelik çalışmalar ve içerik üretimi sürmekte, tam anlamıyla verimli bir şekilde kullanıcı deneyimi sunması için çok sayıda özel şirket, platform çalışmaktadır. İnternetin geleceği olarak görülen bu teknoloji yeterince geliştiği takdirde, insanların alışveriş yapma, film izleme, oyun oynama, meditasyon, eğitim ve benzeri alanlardaki alışkanlıkları büyük değişim gösterecektir.

2.3. Beyin Bilgisayar Etkileşimi

2.3.1. Beyin

Vücuttan gelen sinyaller ile hareketi, düşünmeyi, görmeyi ve tüm eylemleri gerçekleştirmeyi sağlayan beyin, karmaşık bir yapıya sahiptir. Beyin bu sinyaller sayesinde kişinin hareket etmesini, hissetmesini, görmesini sağlar. İç ve dış etkenlerin neden olduğu uyarıcılar beyinde düşünce oluşturmaya neden olur. İnsan vücudunun kontrol altında tutulmasında, bilgilerin işlenip saklanmasında ve kullanılmasında öncelikli görev beyine düşmektedir (Bulut, 2018). İnsan beyni ortalama 1500 gram ağırlığındadır. 5 lobdan oluşmaktadır. Bunlar Şekil 7'deki gibidir.



Şekil 7: Beyin Lobları (Gray, 1918)

Ön (frontal) lob; beynin bilinçli düşünme kısmıdır. Yan (parietal) lob; çeşitli duyu organlarından gelen sinyalleri birleştirmede önemli rol oynamaktadır. Duyguları işlemektedir. Ayrıca nesnelerin kullanılması komutları da bu bölgede oluşmaktadır. Arka baş (oksipital) lob; görme duyusuyla ilgili bilgiler burada işlenmektedir. Şakak (temporal) lob; ses ve koku duyularının algılanması ve yüzler, mekanlar gibi

karmaşık uyaranların işlenmesi bu lobda gerçekleşmektedir. Beyincik (serebellum) lobu; duyu organlarından gelen bilgiler ile hareketi ilişkilendirmektedir. Dengenin sağlanması adına bu lob önemli rol oynamaktadır. Buradaki her bir lob, beynin her iki yarım küresinde de bulunmaktadır. Beyincik (serebellum) lobu dışındaki bu lobların hepsi telensefalonun (beynin en büyük ve en üst kısmındaki merkezi sinir sistemi bölümü) parçasıdır.

Beynin bazı işlevleri; duyu organlarından gelen uyarıların değerlendirilmesi, olaylar üzerine düşünme, problem çözme, öğrenme faaliyetleri, hafıza olgusu, fiziksel faaliyetlerin gerçekleştirilmesi ve düşünsel faaliyetlerin gerçekleştirilmesidir.

2.3.2. Serebral Korteks ve Elektroensefalografi

Serebral korteks, gri madde olarak da adlandırılan, beyinde bulunan bir örtüdür. Beyin zarı olarak da adlandırılmaktadır. Serebral korteks sağ ve sol yarım küre olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Ağırlık bakımından beynin üçte ikisini oluşturmakta ve beyinin neredeyse tüm yapılarının üzerini örtmektedir. İnsan beyninin en gelişmiş kısımıdır (Bailey, 2019). Serebral kortekste yer alan sinir hücrelerinin ürettiği elektrik sinyallerinin genel adı Elektroensefalografi'dir (EEG). Çok sayıda sinir hücresinin bir araya gelerek ürettiği bu sinyaller yapı olarak iç içe bulunmaktadır. Sinir hücrelerine ise aynı zamanda nöron adı verilmektedir. Nöronlardan geçen bilgiler tıkpı elektrik kabloları gibi daima akış içerisindedir. Beyinde üretilen elektriksel aktivitelerin fark edilmesiyle bu alanda yapılan çalışmalar artmıştır. Berger (1929)'in EEG yöntemini ilk kez uygulamasıyla insan vücudunda gerçekleşen eylemlerin beyinde oluşturduğu elektriksel aktiviteleri gözlemlemek mümkün hale gelmiştir. Beyin günümüzde hâlâ çok karmaşık bir yapı olmayı sürdürmektedir. EEG çalışmalarında sinyalleri temiz bir şekilde gözlemlemek her zaman mümkün olamamaktadır. Dış etkenler ve beynin karmaşıklığı insanları beyin aktivitesi verilerini görme konusunda sınırlandırmaktadır.

2.3.3. Beyin Bilgisayar Arayüzü

Beyin bilgisayar arayüzü (BBA); insan ve makine arasındaki etkileşime devrimsel bir boyut kazandırmaktadır. İnsanların bilgisayar sistemlerini kontrol etmek için motor hareketlerini kullanmaları yerine beyin sinyalleri kullanarak, bunları komutlara dönüştürmeyi amaçlayan bir kavramdır. Fiziksel olarak bir eylemde bulunmayıp herhangi bir kas yapısını kullanmadan beyinde oluşan sinirsel

aktivitelerden toplanan sinyallerin, bilgisayar aracılığı ile işlenmesiyle sadece düşünerek insanı çevresiyle etkileşime sokan bir sistem olarak tanımlanabilmektedir. İlk başta motor becerileri kısıtlı, engelli bireylerin hayatını kolaylaştırmak ve onlara değerli bir iletişim seçeneği sunmak, yaşam kalitelerini artırmaları adına bu alternatif sistem düşünülmüştür. Konu üzerinde yapılan araştırmalar sonucu yapılabilecekler keşfedilince sağlıklı bireyler de dahil herkes için ilgi çekici bir kavram haline gelmiştir (Wolpaw ve diğ., 2002). Vidal (1973) EEG ve BBA'nın bir arada kullanılmasına yönelik çalışmalarını hızlandırmış çeşitli deneyler kurgulamıştır. Bunu takip eden yıllarda Vidal (1977)'ın yeni araştırmasında beyindeki elektriksel aktiviteleri kullanarak düşünce gücüyle fare imlecini hareket ettirme deneyi kurgulamıştır. 1970'lerde BBA çalışmalarının ivme kazanmasıyla ilerleyen yıllarda nöronlardan alınan sinyalleri bir komuta çevirmek ve bunu etkileşim unsuru olarak kullanma fikri insanları cezbetmeye başlamıştır. Hayvan deneylerinin de işin içine girmesiyle bir farenin beyin fonksiyonlarını analiz ederek robotik bir kolu hareket ettirme deneyi başarı ile yapılmıştır (Chapin ve diğ., 1999).

Beyin aktivitelerini ölçmek için elektroensefalografi (EEG), elektromiyografik (EMG), elektrokortikogram (ECoG), manyetoensefalogram (MEG), fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) ve kızılötesi spektroskopi (NIRS) gibi birden fazla teknik bulunmaktadır. Her tekniğin diğer tekniklere göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu teknikler içinde en ulaşılabilir, taşınabilir ve maliyeti az ve kullanımı pratik olan EEG'dir (Argunşah, 2010). Bu nedenle hem tıp alanında hem de araştırma uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

İnsanların dijital teknolojilerle girdikleri etkileşim sürecinde karar anından, komut, işlem, çıktı ve geribildirim aşamaları arasında geçen süreyi kısaltma çabası gözlemlenmektedir. Sistemle etkileşime geçerken kullanılan arabirimlerin insan-makine arasındaki aracılık fonksiyonunu olabildiğince basit ve zaman harcamayan hâle uydurmak, daha ergonomik yapmak adına insanlar sürekli bir uğraş içindedir. İnsan daima oluşturduğu bilgisayar sistemlerini kendisine herhangi bir konuda yardımcı olması amacıyla tasarlamaktadır. Teknolojiyle hayatı kolaylaştırma, sanal yardımcı gibi hayatın her aşamasında destekleyici ve insanlar yerine düşünen makineler, bilgisayar sistemleri oluşturma çabası hız kesmeden devam etmektedir. Buna paralel gelişmekte olan BBA ile insanlar artık fiziksel çaba harcayacakları ekstra arayüzler kullanmak yerine sadece düşünerek çevresindeki sistemlere komut

verebilecek, etkileşime geçebileceklerdir. Kullanılan arayüzlerdeki kavramsal ve ergonomik değişimler, gelişen teknolojiyle yapay zeka ve makine öğreniminin de etkisiyle BBA ile yalnızca komut aktarmayacaklardır. Aynı zamanda izlenilen beyin verisi ile bilinçli bir komut vermeden beyin fonksiyonlarının analizi ve verilerin anlamlandırılmasıyla makine, insan yerine düşünüp karar alabilecek bir konuma getirilebilmektedir. Günümüzde yaygın kullanım alanları; beyin performansı izleme ve sağlık alanında, insanların gerçek ve sanal nesnelerle düşünce gücüyle etkileşime geçip yeni deneyimler kurgulanmasında, beyin araştırmaları ve eğitim alanında, tüketici davranışlarını izleme, kullanılabilirlik testleri ve pazar araştırmalarında kullanılmaktadır. Çok çeşitli alanlarda potansiyel barındırmaktadır.

Temel çıkış noktası olan kısıtlı motor becerilerine sahip insanlara rahat bir deneyim sunma amacı taşıyan BBA günümüzde bu doğrultuda kullanılabilmektedir. Örneğin uzuv kaybı yaşayan insanlar için geliştirilen protez eller artık sinirlere bağlanmakta beyine sinyal gönderme imkanına sahip olmaktadır. BBA ile protez el kullanımıyla kişi sadece düşünerek elini hareket ettirebilmektedir. Yapılacak çalışmalarla kişinin elin hissiyatını da alması protez elden beyne ulaşan sinyal ile mümkün olabilmektedir.

Stephen Hawking'in yakalandığı hastalık sonucu motor becerilerinin %80'ini kaybetmesinin ardından Hawking'in çevresiyle iletişim kurabilmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapıldı. Tekerlekli sandalyeye bağımlı fiziksel olarak çok kısıtlı hareket imkanı olan Hawking'in düşünme sisteminde ise bir sorun bulunmamaktaydı. Medeiros (2015)'un aktardığına göre 1980'li yıllarda Intel firmasının yaptığı çalışmayla, yazıları sese dönüştüren bilgisayar sistemiyle Hawking iletişim kurmaya başladı. Bu sistem önceden tanımlı çeşitli kelimelerin olduğu bir yazılımla bir imlecin sırayla kelimelerin üzerinden geçmesi ve imlecin Hawking'in seçmek istediği kelimeye geldiğinde elindeki elektronik aleti sıkarak sisteme komut göndermesi şeklinde çalışmaktaydı. Sonraları elini sıkma becerisini de kaybeden Hawking 2005 yılında aynı komutu yanak kasını sıkarak kullanabilmiştir. Bu durum fiziksel motor becerisi sorunu yaşayan bir insanın, daha az sorunlu başka bir motor becerisini kullandırarak etkileşime geçirme çabasını göstermektedir. Çok verimli olmadığı ve kısa cümleler için bile çok uzun süreler harcandığı görülmektedir. Günümüzde BBA çalışmalarıyla bu sistem sadece düşünce gücüyle veya istenilen

kelimeye bakılarak (BBA – görsel korteks) daha pratik bir şekilde gerçekleştirilebilme imkanı sunmaktadır.

2016 yılında kurulan Neuralink şirketi ise beyin makine arayüzü konusunda çalışmalar yapmaktadır. Kafaya dışarıdan takılan bir başlık gibi değil daha küçük ve implante edilebilir şekilde kafatasının içerisine yerleştirilecek bir cihaz olarak geliştirme çalışmaları sürmektedir. Yapılan çeşitli hayvan deneylerinde başarılı sonuçlar alındığı gözlemlenmekte, yapay zeka yardımıyla hem BBA uygulamalarında hem de beyin hastalıkları tedavisinde kullanılması amaçlanmaktadır. Şirketin yaptığı bir maymun deneyinde; Neuralink implantı yerleştirilmiş bir maymun joystik kullanarak oyun oynamakta ve her başarılı aksiyon için maymuna ödül suyu verilmektedir. Bu esnada maymunun beynindeki elektriksel aktiviteler çip implantı ile izlenmekte, sisteme aktardığı komutların verileri toplanmaktadır. Yeterince veri toplandıktan sonra maymunun kullandığı joystick bağlantısı kesilir ve çip aktif hale getirilir. Joystick ne kadar hareket ettirilse de işlevsizdir fakat maymunun sadece düşünmesi oyunu oynaması için artık yeterli olmaktadır. En sık kullanılan BBA eğitim yöntemi olan bu sistemde kullanıcı komutları sisteme gönderirken beyninde oluşan elektriksel aktivitelerin, EEG sinyallerinin toplanması ve bu sinyallerin anlamlandırılıp bir komuta tanımlanmasıyla eğitim kısmından sonra kullanıcı artık sadece düşünerek sisteme komut gönderebilmektedir. Bu başarılı deney, sistemin geleceğine yönelik umut vadetse de ortaya çıkan yeni haberlerle birlikte çip implantı tartışmaları hararetlenmektedir. Ryan (2022)'ın aktardığına göre Neuralink şirketinin deneylerde kullandığı 23 maymundan birçoğunun çok acı çektiği ve öldüğüne dair raporlar ortaya çıkmıştır. Bu durum hem hayvan deneyi hem de BBA'yı çip implantlı veya implant olmadan kullanma konusundaki tartışmaların artarak devam etmesine yol açmıştır.

Tüm bu tartışmaların dışında BBA kavramının insan hayatına sağlayacağı katkı göz ardı edilemez durumdadır. Gelişen teknolojiyle birlikte bu alandaki çalışmalar hızlanmakta, yeni deneyimler tasarlanmaktadır. Geleneksel arayüzlere kıyasla mobillik, hız, herkese uygun olması, kullanılabilirlik, çok daha zengin yeni deneyimler gibi farklarıyla BBA, yeni bir arayüz konsepti olarak çok çeşitli avantajlar barındırmaktadır.

3. YÖNTEM

Bu çalışmada, kablosuz EEG başlığı ile deneyimlenecek BBA uygulamaları gönüllü katılımcılar tarafından kullanılacaktır. Buradaki yazılımda bir küpün düşünce gücüyle hareket ettirilmesi oyunlaştırılmıştır. İlk aşamada kullanıcı, önceden tanımlanmış yönlere hareket eden küpü izleyip, küpün hareket komutunu verdiğini düşünmesi istenecektir. Küp, katılımcının komutundan bağımsız önceden tanımlı olduğu şekilde hareket ederken EEG başlığı hareket esnasında beyindeki elektriksel sinyalleri toplamaktadır. Bu kısım eğitim kısmıdır ve küpün gideceği her yön için aynı şekilde sistem eğitilmektedir. Örneğin; küp sola giderken kullanıcının küpü sola hareket ettirme komutu verdiğini düşünmesiyle sistem 'sola git' komutunu işlemektedir. Bu faz birden fazla kez tekrarlanarak sinyal kalitesi ve komut parazitten arındırlıp kesin değerlere yaklaştırılmaktadır. Sonraki aşamada eğitilen sistem canlı moda geçecek ve kullanıcıdan komut beklenecektir. Kullanıcı düşünce gücüyle vereceği komutuyla küpü hareket ettirmeyi deneyecektir. İlk aşamada harekete bağlı oluşan beyin sinyalleri ikinci aşamadaki komut verme anında birbiriyle uyuşuyorsa, sistem eğitilmiş demektir ve arayüzde bu komut çalışmakta düşünce gücüyle nesne hareket ettirilmiş olmaktadır. Aynı eğitim ve canlı mod aşaması küp deneyi haricinde yüz mimikleri için de kurgulanmıştır. EEG cihazı kafada takılıyken gülümseme ve kaş çatma gibi mimiklerin kullanımıyla düşünce gücüne ek olarak fiziksel kas hareketi desteğiyle oluşacak sonucun gözlemlenmesi amaçlanmaktadır. Testlerden sonra toplamda üç çeşit kullanılabilirlik anketi yapılarak katılımcının deneyimi ve sistemin kullanılabilirliği ölçülmektedir.

Testteki temel amaç; kablosuz mobil EEG cihazı ve bilgisayar yazılımı ile düşünce gücüyle bilgisayar arayüzüne komut göndermek ve bu deneyimin sorunları, zorluklarını tespit edip kullanıcı deneyimi ve sistem kullanılabilirliğini ölçmeye yönelik anket çalışmaları yapmaktır.

3.1. Katılımcılar ve Kullanılabilirlik Test Prosedürü

Test aşamasında 10 katılımcı bulunmaktadır. Katılımcıların hepsi 18 yaşından büyük, sağlıklı ve teste katılmaya engel herhangi bir problemi bulunmamaktadır. Teste katılacak kişilerin seçimi için sağlıklı ve yetişkin olmanın haricinde özel bir demografik tercih ve kısıtlama getirilmemiştir. Yapılacak test, Ek 1'deki onay raporu görüleceği üzere etik kurul tarafından incelenip onaylanmıştır. Gönüllü katılımcıların onayı için, Deneklerin Gönüllülüğü ve Aydınlatılmış Onam Formu (Ek 2) okutulmakta, Bilgilendirilmiş Olur Formu (Ek 3) imzalatılmaktadır. Test ile ilgili ön bilgi verildikten sonra, EEG başlığı kullanıcının kafasına takılmakta ve bilgisayara yüklü yazılımı açılmaktadır. Katılımcı uygulamanın arayüzünü bizzat kullanmaktadır. Testin ardından katılımcılarla birlikte yapılacak olan kullanılabilirlik anketleri ile EEG başlığının, yazılımın ve genel olarak yaşanan BBA deneyiminin değerlendirilmesi yapılmaktadır.

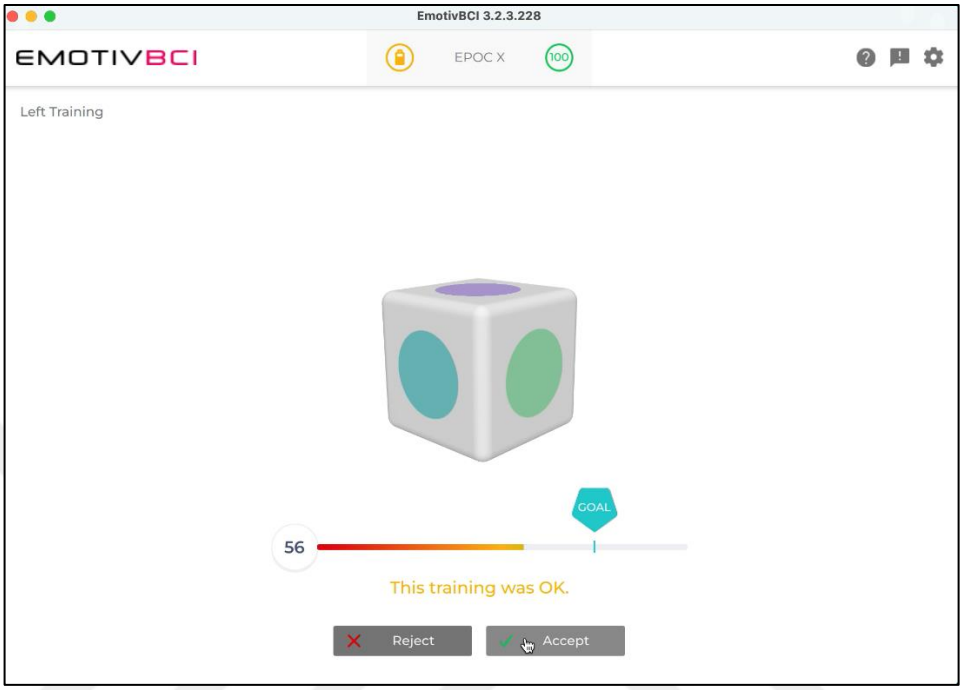
3.2. Veri Toplama Araçları

Bu çalışmada, Emotiv Epoch X model 14 kanallı kablosuz EEG başlığı (Şekil 8) kullanılmaktadır. Bu cihazdaki elektrot tipi nemli elektrottur. EEG cihazlarındaki kuru ve nemli elektrot arasındaki fark; nemli olanlar kısa süre için daha kaliteli EEG verisi sağlamaktadır. Islaklık, bir solüsyon veya jel ile sağlanmkatadır. Kurudukça sinyal kalitesi düşmektedir. Bu nedenle kalite yerine stabilite tercih edilirse kuru elektrot kullanılması gerekmektedir (Subramaniyam, 2021).

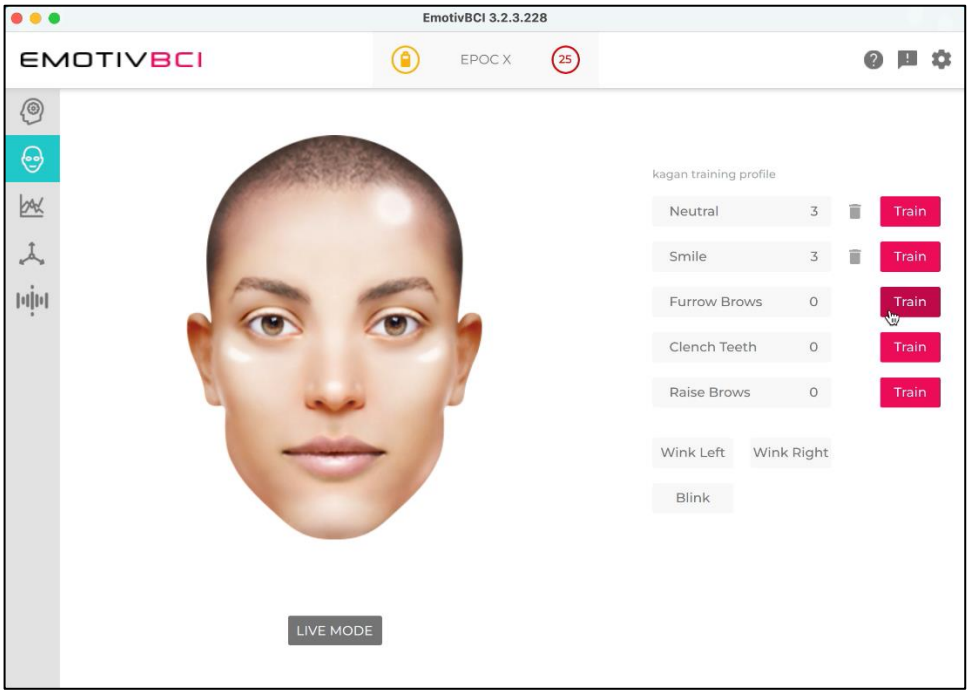


Şekil 8: Emotiv Epoch X EEG Başlığı

Kullanıcının kafasına takılacak kablosuz EEG başlığı ile dizüstü bilgisayardaki EmotivBCI yazılımı kullanılarak BBA uygulamaları gönüllü katılımcılar tarafından kullanılacaktır. Küp ve mimik deneyi (Şekil 9 ve Şekil 10) bu yazılım aracılığıyla gerçekleştirilecektir.

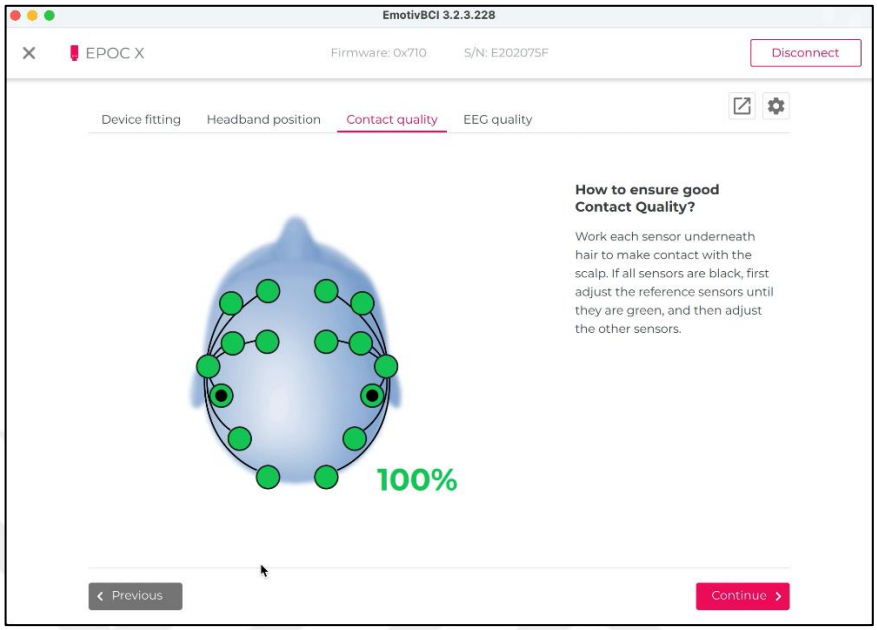


Şekil 9: Küp Deneyi Arayüzünden Bir Görsel



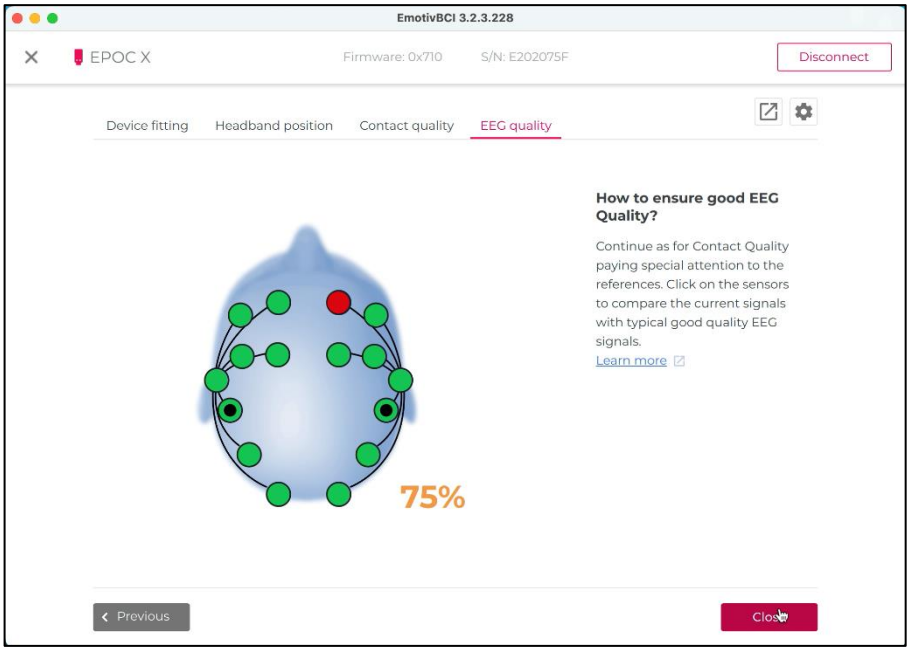
Şekil 10: Mimik Deneyi Arayüzünden Bir Görsel

Yazılımın arayüzündeki Şekil 11'de gösterilen Bağlantı kalitesi (Contact quality) elektrotların kafa derisiyle olan temasına bağlı bağlantının kalitesini yüzdelik ölçekte göstermektedir.



Şekil 11: Bağlantı Kalitesini Gösteren Arayüz

Yazılımın arayüzündeki diğer bilgi akışı ise EEG sinyal kalitesinin (Şekil 12) gözlemlenebilmesidir. Başlığın beyin nöronlarından aldığı EEG verisi seviyesini yüzdelik ölçekte göstermektedir.



Şekil 12: EEG Sinyal Kalitesini Gösteren Arayüz

Test boyunca EEG başlığı katılımcının kafasında takılı kalmakta ve bilgisayar yazılımı kullanılmaktadır. Ortalama sinyal seviyeleri toplanmaktadır. Test sonlandığında deneyimi değerlendirme bölümüne geçilmektedir.

3.3. Veri Değerlendirme Araçları

Testin sonlandığında her katılımcıyla üçer adet anket yapılmaktadır. Toplanan verilerin ve yaşanılan deneyimin değerlendirileceği bu kısımda; EEG başlığının ergonomisi, genel olarak BBA konseptinin değerlendirilmesi, yazılım arayüzünün kullanılabilirliği, BBA sinyal eğitim yönteminin değerlendirilmesi, BBA konseptinin gelecekte katılımcılarının günlük yaşamı, ilgi alanı ve iş hayatına yönelik etkileri gibi konular incelenmektedir. Katılımcıların BBA arayüzünü değerlendirmeleri için Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (SKÖ) kullanılmıştır. SKÖ web sayfaları, yazılım, donanım gibi teknolojik sistemlerin kullanılabilirliğini ölçen bir ankettir (Brooke, 1996). Tablo 1'deki Standart SKÖ ilk yapılacak ankettir. Bu anket için bir skor hesaplama yöntemi bulunmaktadır.

Tablo 1: Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (SKÖ) Standart Versiyon

Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği
Standart Versiyon

		Kesinlikle Katılmıyorum 0	Katılmıyorum 1	Kararsızım 2	Katılıyorum 3	Kesinlikle Katılıyorum 4
1-	Bu sistemi kullanmak isteyeceğimi düşünüyorum.					
2-	Sistemi gereğinden fazla karmaşık buldum.					
3-	Sistemi kullanmanın kolay olduğunu düşündüm.					
4-	Sistemi kullanabilmek için bir teknik destek almam gerektiğini düşünüyorum.					
5-	Sistemdeki birçok işlevin iyi entegre edildiğini fark ettim.					
6-	Bu sistemde çok fazla tutarsızlık olduğunu düşündüm.					
7-	Çoğu insanın bu sistemi kullanmayı çok çabuk öğreneceğini düşünüyorum.					
8-	Sistemi kullanmayı elverişsiz buldum.					
9-	Sistemi kullanırken kendime çok güveniyordum.					
10-	Bu sisteme geçmeden önce çok şey öğrenmem gerekti.					

İfadeler 0'dan 4'e kadar ölçeklendirilmektedir. 0=kesinlikle katılmıyorum, 4=kesinlikle katılıyorum, 2= kararsızım. Tek numaralı ifadelere verilen puandan 1 çıkartılır. Çift numaralı ifadelere verilen puan 5'ten çıkartılır. Sonuçlar toplanır ve 2,5 ile çarpılır (Brooke, 1996, 194; Sauro, Lewis, 2011).

SKÖ skorunun ortalama değeri 68 olarak hesaplanmaktadır. SKÖ skorunun 68'in üzerinde olması ortalamanın üzerinde, 68'in altında olması ise sistemin ortalamanın altında olduğunu göstermektedir (Sauro, Lewis, 2016).

İkinci anket olarak Çalışma Sonrası Sistem Kullanılabilirlik Anketi (Tablo 2) yapılmaktadır. Bu anket uygulamanın genel kullanılabilirliğini ölçmektedir. 1-6 arası ifadeler sistem kalitesini, 7-12 arası ifadeler bilgi kalitesini, 13-15 arası ifadeler de arayüz kalitesini ölçmektedir.

Tablo 2: Çalışma Sonrası Kullanılabilirlik Anketi

Çalışma Sonrası Kullanılabilirlik Anketi

-IntQual — —— InfoQual —— —— SysQual ——

		Kesinlikle Katılmıyorum 1	2	3	4	5	6	Kesinlikle Katılıyorum 7
1-	Genel olarak bu sistemi kullanmanın kolay olmasından memnunum.							
2-	Bu sistemi kullanmak basitti.							
3-	Bu sistemi kullanarak görev ve senaryoları hızlı bir şekilde tamamlayabildim.							
4-	Bu sistemi kullanırken kendimi rahat hissettim.							
5-	Bu sistemi kullanamayı öğrenmek kolaydı.							
6-	Bu sistemi kullanarak hızlı bir şekilde üretken olabileceğime inanıyorum.							
7-	Sistem, sorunların nasıl çözüleceğini açıkça anlatan hata mesajları verdi.							
8-	Sistemi kullanırken her hata yaptığımda, kolay ve hızlı bir şekilde iyileştirebildim.							
9-	Bu sistemle sağlanan bilgilendirmeler açıktı.							
10-	İhtiyaç duyduğum bilgiyi bulmak kolaydı.							
11-	Bilgiler, görevleri ve senaryoları tamamlamama yardımcı olmada etkiliydi.							
12-	Sistem ekranlarındaki bilgilerin organizasyonu çok değerliydi.							
13-	Bu sistemin arayüzü hoştu.							
14-	Bu sistemin arayüzünü kullanmayı sevdim.							
15-	Bu sistem, sahip olmasını beklediğim tüm işlevlere ve yeteneklere sahiptir.							
16-	Genel olarak bu sistemden memnunum.							

Üçüncü ve son ankette (Tablo 3) katılımcının benzer teknolojilerle daha önceden yaşadığı deneyim, testte yaşadığı deneyim, BBA konsepti ve BBA'nın hayatla, kişinin yaşamıyla ilgili potansiyeline dair genel değerlendirmeler yapılmaktadır.

Tablo 3: Dijital Ortamda BBA Kullanımı Anketi

DİJİTAL ORTAMDA BEYİN BİLGİSAYAR ARAYÜZÜ KULLANIMI ANKET	Kesinlikle Katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum
1. BCI (Beyin-Bilgisayar Arayüzü) kavramını daha önce duydum ve bu alanla ilgili çalışmaları gördüm.					
2. Günde ortalama oyun oynama sürem. (dakika)	0-30	31-60	61-120	120-180	181+
3. VR (Sanal Gerçeklik) deneyimim oldu.					
4. BCI, VR ile birleştirilerek çeşitli deneyimler kurgulanabilir.					
5. Sağlık, eğitim, oyun, sanat, eğlence, meditasyon gibi alanlarda BCI ile çeşitli deneyimler kurgulanabilir.					
6. Sanat üretme ve deneyimlede BCI temelli/destekli uygulamalar görmek isterim.					
7. BCI'ın ekstra arabirimlere (mouse, klavye, dokunmatik ekran…) alternatif olacağını düşünüyorum.					
8. Uzun vadede BCI'ın ekstra arabirimlerin (mouse, klavye, dokunmatik ekran…) yerini alacağını düşünüyorum.					
9. Kendi ilgi alanım ya da işim ile ilgili gelecekte bu sistem kullanılarak çeşitli deneyimler oluşturulabileceğine inanıyorum.					
10. Kendi ilgi alanımla veya işimle ilgili sorunlara çeşitli çözümler sağlama potansiyeli var.					
11. Kendi ilgi alanım ya da işim ile ilgili gelecekte bu sistem kullanılarak çeşitli deneyimler oluşturulursa kullanmak isterim.					
12. Bu teknolojinin ilerleyip, bu alandaki çalışmaların hayata daha fazla dahil olmasını gerektiğini düşünüyorum.					
13. BCI (sinyal) eğitim metodundan memnunum.					
14. Sinyal eğitimi için farklı yöntemler kullanılmasını isterim.					
15. Kafaya yerleştirilen EEG cihazı ergonomik olarak geliştirilmeli.					
16. Fiziksel ve sanal ortamlarda çeşitli nesne ve arayüzlerle etkileşime geçmek için EEG cihazını implant olarak tercih ederdim.					
17. Yaşadığınız BCI deneyimiyle ilgili aktaracaklarınız.					

Tablo 3'teki sonuncu açık uçlu soruda katılımcıların genel olarak BBA deneyimi ve bu kavram hakkındaki görüşleri alınmaktadır. Katılımcının aktaracaklarından sonra anket çalışması sonlanmaktadır.

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Tez çalışması kapsamında yapılan deney aşamaları, deneyin ardından yapılan sistem kullanılabilirlik ölçeği anketi, çalışma sonrası kullanılabilirlik ikinci anketi, açık uçlu soruların ve genel deneyimin aktarıldığı üçüncü anket başlıklar halinde raporlanmaktadır. Test sonrası yapılan tüm anketlerin ortak değerlendirilmesi de kendi başlığında aktarılacaktır.

Katılımcıların genel memnuniyet durumu, BBA'ya yönelik öncesi ve sonrası düşünceleri, uygulamadan aldıkları verim ve kendi hayatlarında BBA'nın potansiyeline dair bulgular değerlendirilmiştir.

4.1. Deney Aşaması

Toplamda 10 gönüllü katılımcıyla deney yapılmıştır. Her katılımcıyla tek tek yapılan deneyde kısa bir bilgilendirmenin ardından EEG başlığı katılımcının kafasına takılmıştır. EEG başlığı nemli elektrot tipinde olduğu için katılımcının kafasına takmadan önce steril solüsyonla nemlendirilmiştir. 14 kanallı Emotiv Epoc X model EEG başlığının her kanalındaki elektrotların nemlendirilmesi ve kafaya düzgünce yerleştirilmesi gerekmektedir. Her kanalın kafa üzerinde denk gelmesi gereken ortalama bir bölge bulunmaktadır. Uygulama arayüzünde doğru takılma şekli gösterilerek bilgilendirme yapılmaktadır. Katılımcıların saç uzunluğu ve saç yoğunluğuna göre EEG başlığının kafaya takılma ve deneye başlama süresi uzamaktadır. Elektrotların kafa derisine de dokunması gerektiğinden saç faktörü bu durumu zorlaştırmaktadır. Cihazın ilk hazırlık ve kafaya takma süresini etkilemekte olan bu durum, yazılım üzerindeki bağlantı kalitesi bölümünden gözlemlenebilmektedir. Arayüzde her kanalın bağlantı seviyesini gösteren renk ve yüzdelik sayı değeri verilmektedir. Arayüzdeki görselleştirmeye göre hangi elektrot iyi seviye bağlantıya sahip hangisi kötü seviyede gözlemlenip bağlantı kalitesini arttırmaya yönelik eyleme geçilebilmektedir. Bu eylem elektrotların altına gelen saçtan kurtarıp doğrudan kafa derisine oturtmaktır. Fazlaca uğraşıldığı ve kafaya sürtündüğü durumda nemli elektrotun ıslaklık durumu değişmektedir. Kuruyan

elektrot bağlantı kalitesini önemli ölçüde düşürmektedir. Bu testte kullanılan cihazın yapısı gereği kullanıcının kafasından çıkarmadan da elektrotları nemlendirebilmek mümkündür. Başlığın üzerinde her kanal için ayrı ıslatma delikleri bulunmaktadır. Kafa derisine düzgünce yerleşmiş ve nemli elektrotla birlikte bağlantı kalitesinin %100 seviyesinde olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 13'te farklı saç uzunluklarında EEG başlığının kullanımı gösterilmektedir.



Şekil 13: Farklı Saç Tiplerine Sahip Katılımcılar ile EEG Başlığı

Bağlantı kalitesi ayarlandıktan sonra EEG sinyal kalitesi bölümüne bakılmaktadır. Bağlantı kalitesinin netliğine karşı EEG sinyal seviyeleri değişken olmaktadır. Sürekli artıp azalmakta olduğu gözlemlenmektedir. EmotivBCI yazılımı %98 seviyesinin üzerinde EEG sinyal kalitesini aldıktan sonra uygulamaya geçmeyi tavsiye etmektedir. Bu durum kısa süreliğine %98 seviyesini bulup geçse de süreklilik sağlanamamıştır. %0'dan %100'e sürekli değişmekte olan dinamik EEG sinyal aralığı 10 katılımcının hepsinde gözlemlenmiştir. EEG sinyal seviyesi birkaç saniyeden fazla aynı seviyede kalamamaktadır. Test boyunca sürekli değişen seviyelerde olmuştur.

Bağlantı kalitesi ve EEG kalitesi bölümünden sonra bilgisayardaki yazılımdan deneyin uygulama aşamasına geçilmektedir. Katılımcı, buradaki uygulamanın kullanılabilirliğini de değerlendirebilmesi adına bu aşamadan sonra bilgisayarı kendilerinin kullanması istenmektedir. Katılımcılar 2 farklı BBA uygulaması testi yapmaktadırlar. İlk test arayüzdeki küpü hareket ettirme testidir. Öncelikle uygulama

arayüzünden eğitim fazı gerçekleştirilmekte ardından ‘canlı mod’a geçip eğitilen BBA sisteminin kullanımı test edilmektedir. Eğitim fazında sabit duran küp görülmektedir. 8 saniye boyunca nötr düşünce ile sistemin beyindeki referans sinyalini alması sağlanmaktadır. Aynı şekilde küpün sola hareketi için de küp sola giderken katılımcıdan bu komutu düşünmeleri istenmektedir. Küpün sağ hareketi için de zaten sağa giden küpe bakarak bu sağa hareket komutunu düşünmeleri istenmektedir. Önce nötr düşünce ardından küpün sola hareketi ve sağa hareketi için üçer kez eğitim yapılmaktadır. 8 saniyelik her eğitimin ilk iki aşaması referans amaçlıdır. Üçüncü eğitim aşamasında sistem, yakaladığı sinyali referans sinyalle karşılaştırmakta ve yüzdelik skor vermektedir. Bu skorun yüksek olması referans sinyalle mevcut alınan sinyalin eşleşmesi anlamına gelmektedir. Nötr, sola hareket ve sağa hareket üçüncü seviyeye geldiğinde uygulama içerisindeki canlı moda geçilmektedir. Burada küp sabit bir durumda beklemektedir. Katılımcıdan daha önce eğittiği komutları düşünmesi istenmektedir. Katılımcı sol ve sağ hareket komutlarını düşünce gücüyle EEG başlığı sayesinde bilgisayara aktararak küpü hareket ettirmeye çalışmaktadır.

İkinci test arayüzü mimik kullanma testidir. Önceki küp deneyinde olduğu gibi burada da önce nötr yüz ifadesi, ardından gülümseme ve kaş çatma mimikleri yapılmaktadır. Burada katılımcı, yalnızca bu ifadeleri düşünmememktedir. Suratıyla bu mimikleri yapmaktadır. Üçer seviye eğitildikten sonra canlı moda geçilmektedir. Burada bir surat görseli nötr ifadeyle durmaktadır. Katılımcı eğittiği mimikleri yaparak bilgisayara bu komutları göndermeye çalışmaktadır. Gerçek zamanlı olarak katılımcının eğiterek yaptığı mimikler uygulama arayüzündeki surata komut olarak aktarılmakta ve aynı mimik arayüzdeki surat tarafından da yapılmaktadır. Şekil 14’te deney sırasında katılımcılardan bazıları gösterilmektedir.



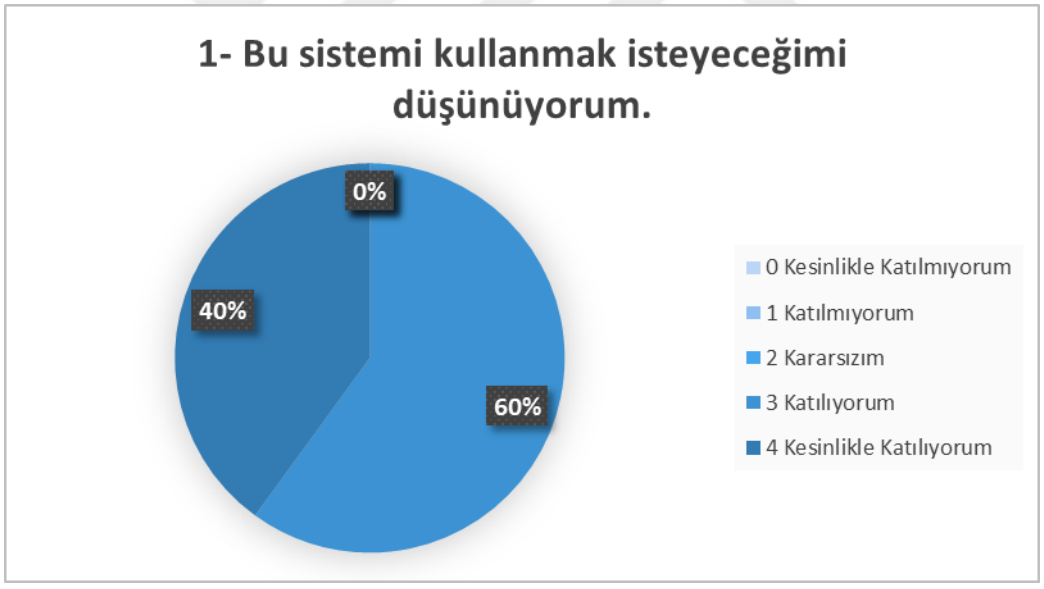
Şekil 14: Deney Aşaması ve Katılımcılar

4.2. Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (SKÖ) Anketi

Testin ardından katılımcılardan Standart Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği anketini doldurmaları istenmiştir. 10 Sorudan oluşan bu ankette olumlu ve olumsuz önermeler bulunmaktadır. Sistem kullanılabilirliği, işlevlerin kullanımı, karmaşıklığı, entegrasyonu, öğrenme zorluğu gibi alanlarda katılımcılar görüşlerini belirtmektedir. Anket doldurulduktan sonra her katılımcının yanıtlarından oluşturulacak SKÖ skoru hesaplanacaktır. Her katılımcının SKÖ skoru ve ortalama SKÖ skoru alınarak sistemin kullanılabilirlik skoru değerlendirilecektir.

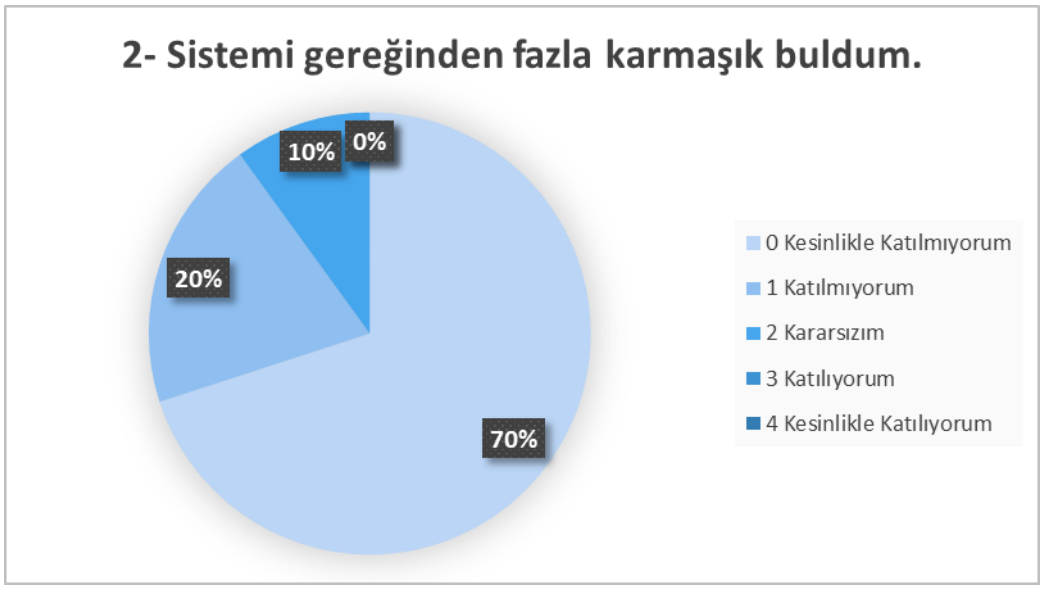
4.2.1. Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği Anket Bulguları

10 katılımcıyla yapılan SKÖ anketi sonrasında katılımcıların verdiği yanıtlar aşağıda yüzdelik dilimler halinde gösterilmektedir. Burada BBA yazılımı, arayüzün kullanımı, BBA uygulumaası deneyimi ve kullanılabilirliği değerlendirilmektedir.



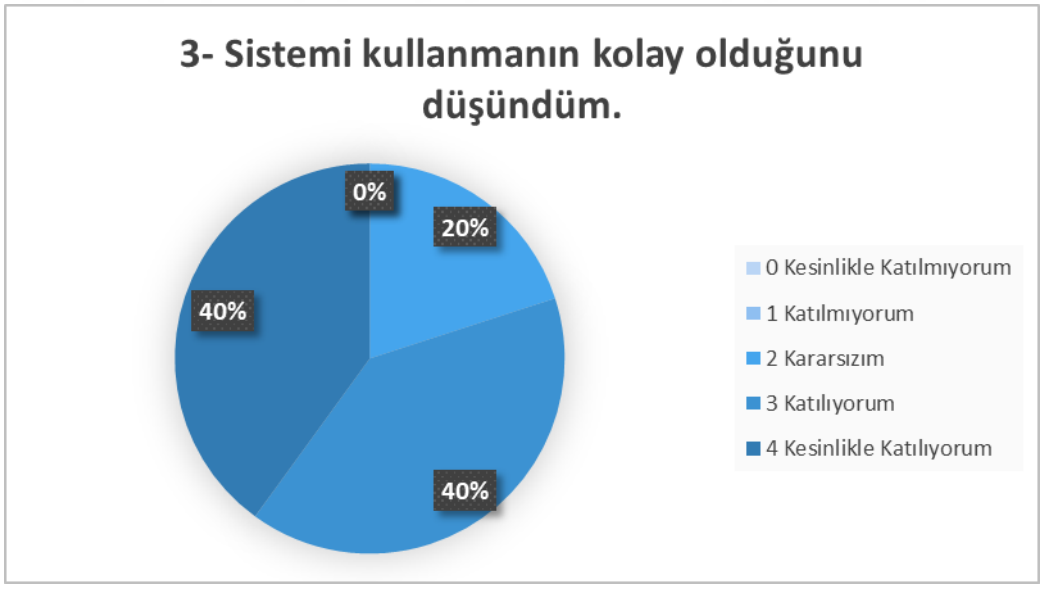
Şekil 15: SKÖ Anketi 1. Soru ve Cevapları

Bu sistemi kullanmak isteyeceğimi düşünüyorum önermesine (Şekil 15) katılımcıların %60'ı "kesinlikle katılıyorum", %40'ı "katılıyorum" demiştir.



Şekil 16: SKÖ Anketi 2. Soru ve Cevapları

Sistemi gereğinden fazla karmaşık buldum önermesi (Şekil 16) için %70 oranında "kesinlikle katılmıyorum" cevabı alınmıştır. %20 "katılmıyorum" ve %10 "kararsızım" yanıtı alınmıştır.



Şekil 17: SKÖ Anketi 3. Soru ve Cevapları

Sistemi kullanmanın kolay olduğunu düşündüm önermesi için (Şekil 17) katılımcıların %40'ı "kesinlikle katılıyorum", %40'ı "katılıyorum" ve %20'si "kararsızım" yanıtını vermiştir.



Şekil 18: SKÖ Anketi 4. Soru ve Cevapları

Sistemi kullanabilmek için bir teknik destek almam gerektiğini düşünüyorum önermesine (Şekil 18) katılımcıların %50'si "kesinlikle katılmıyorum", %20'si "katılmıyorum", %10'u "kararsızım" ve %20'si "katılıyorum" yanıtını vermiştir.



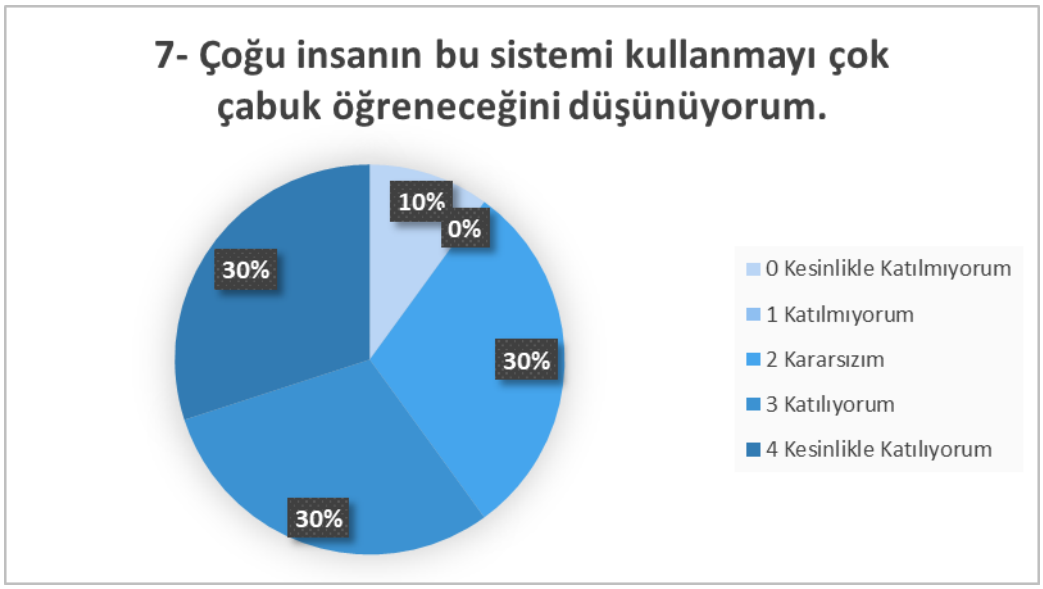
Şekil 19: SKÖ Anketi 5. Soru ve Cevapları

Sistemdeki birçok işlevin iyi entegre edildiğini fark ettim önermesine (Şekil 19) katılımcıların %60'ı "kararsızım", %30'u "katılıyorum" ve %10'u "katılmıyorum" yanıtını vermiştir.



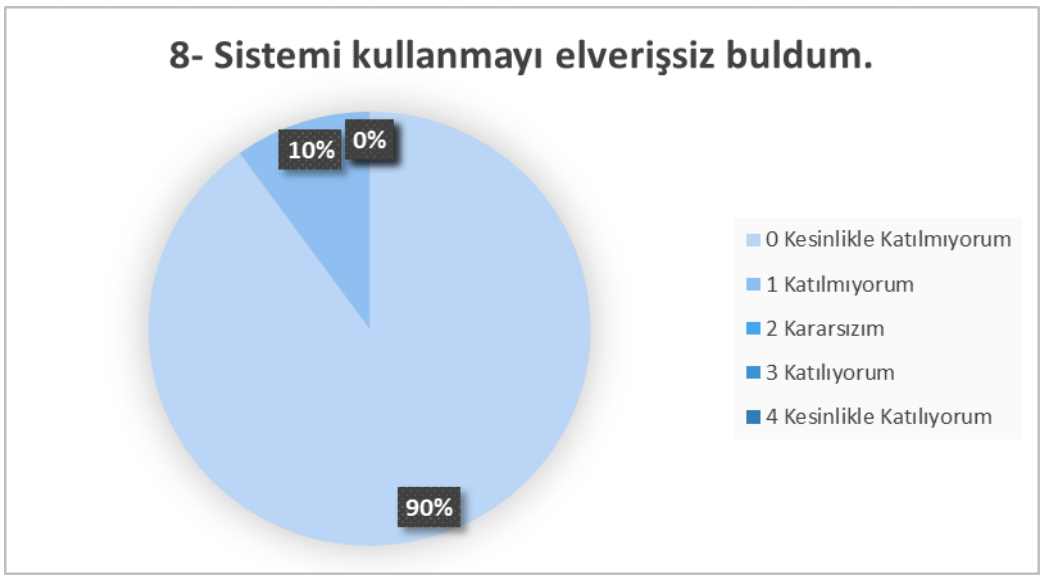
Şekil 20: SKÖ Anketi 6. Soru ve Cevapları

Bu sistemde çok fazla tutarsızlık olduğunu düşündüm önermesine (Şekil 20) katılımcıların %40'ı "kesinlikle katılmıyorum", %30'u "katılmıyorum", %20'si "kararsızım" ve %10'u "katılıyorum" yanıtını vermiştir. "Kesinlikle katılıyorum" yanıtı %0'dır.



Şekil 21: SKÖ Anketi 7. Soru ve Cevapları

Çoğu insanın bu sistemi kullanmayı çok çabuk öğreneceğini düşünüyorum önermesine (Şekil 21) katılımcıların %60'ı katılmakta %30'u kararsız kalmaktadır. %10 "katılmıyorum" yanıtı alınmıştır.



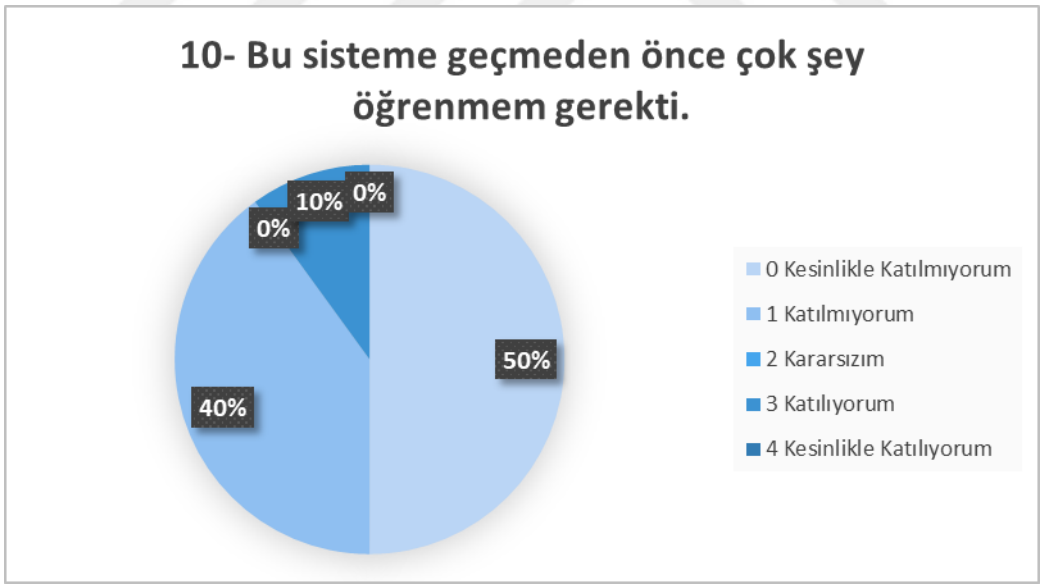
Şekil 22: SKÖ Anketi 8. Soru ve Cevapları

Sistemi kullanmayı elverişsiz buldum önermesine (Şekil 22) katılımcıların tamamı katılmamaktadır. %90 "kesinlikle katılmıyorum" ve %10 "katılmıyorum" yanıtı alınmıştır.



Şekil 23: SKÖ Anketi 9. Soru ve Cevapları

Sistemi kullanırken kendime çok güveniyordum önermesine (Şekil 23) katılımcıların %50'si katılmakta, %40 kararsız ve %10 katılmamaktadır.



Şekil 24: SKÖ Anketi 10. Soru ve Cevapları

Bu sisteme geçmeden önce çok şey öğrenmem gerekti önermesine (Şekil 24) katılımcıların %90'ı katılmamaktadır. Katılımcıların %10'u ise "katılıyorum" yanıtı vermiştir.

4.2.2. Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği Anket Analizi

SKÖ anketine verilen yanıtlar toplu şekilde Tablo 4'te gösterilmektedir. Buna göre katılımcılar bu sistemi kullanmak isteyebileceklerini belirtmektedirler. Katılımcılar sistemi karışık bulmamaktadırlar. Sistemi kullanmanın kolay olduğunu düşünmekteler. Sistemi kullanmak için destek almaları gerektiğini çoğunlukla düşünmemekteler. Sistemdeki birçok işlevin iyi entegre olduğu konusunda %60 oranında kararsız kalmaktadırlar. Sistemde tutarsızlıklar olduğuna ağırlıklı olarak katılmamaktalar. Çoğu insanın bu sistemi kullanmayı çok çabuk öğreneceğine katılımcılardan %60'ı katılmıştır. %30 kararsız %10 ise kesinlikle katılmıyorum demektedir. 'Sistemi kullanmayı elverişsiz buldum' önermesine katılımcıların %90'ı kesinlikle katılmıyorum, %10'u katılmıyorum yanıtı vermektedir. 'Sistemi kullanırken kendime çok güveniyordum' önermesine katılımcıların %40'ı kararsızım yanıtı vermektedir. Toplamda %50'si ise bu önermeye katılmaktadır. 'Bu sisteme geçmeden önce çok şey öğrenmem gerekti' önermesine katılımcıların %90'ı katılmamaktadır.

Tablo 4: SKÖ Genel Yanıt Dağılımı

Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği
Standart Versiyon

		Kesinlikle Katılmıyorum 0	Katılmıyorum 1	Kararsızım 2	Katılıyorum 3	Kesinlikle Katılıyorum 4
1-	Bu sistemi kullanmak isteyeceğimi düşünüyorum.				%60	%40
2-	Sistemi gereğinden fazla karmaşık buldum.	%70	%20	%10		
3-	Sistemi kullanmanın kolay olduğunu düşündüm.			%20	%40	%40
4-	Sistemi kullanabilmek için bir teknik destek almam gerektiğini düşünüyorum.	%50	%20	%10	%20	
5-	Sistemdeki birçok işlevin iyi entegre edildiğini fark ettim.		%10	%60	%30	
6-	Bu sistemde çok fazla tutarsızlık olduğunu düşündüm.	%40	%30	%20	%10	
7-	Çoğu insanın bu sistemi kullanmayı çok çabuk öğreneceğini düşünüyorum.	%10		%30	%30	%30
8-	Sistemi kullanmayı elverişsiz buldum.	%90	%10			
9-	Sistemi kullanırken kendime çok güveniyordum.		%10	%40	%30	%20
10-	Bu sisteme geçmeden önce çok şey öğrenmem gerekti.	%50	%40		%10	

Verilen yanıtların ardından Brooke (1996)'un yöntemiyle SKÖ skoru hesaplanmaktadır. Her katılımcı için doldurduğu anket sonucu hesaplanan SKÖ skoru Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5: Her Katılımcıdan Alınan SKÖ Skoru

	SKÖ Skoru
Katılımcı-1	95
Katılımcı-2	67,5
Katılımcı-3	67,5
Katılımcı-4	70
Katılımcı-5	82,5
Katılımcı-6	72,5
Katılımcı-7	72,5
Katılımcı-8	70
Katılımcı-9	92,5
Katılımcı-10	85

Sauro ve Lewis (2016) SKÖ skoru için 68 puanı orta değer olarak kabul etmektedir. 68'in altı ortalama altında, üstü ise ortalama üstü değer anlamına gelmektedir. Buna göre 10 katılımcıdan alınan veriler hesaplandığında, 8 katılımcının skoru 68'in üzerinde iki katılımcının skoru ise 67,5 ile neredeyse orta değerdedir. SKÖ skorlarının aritmetik ortalaması alındığında 77,5 puanlık bir skor elde edilmektedir. Katılımcıların değerlendirmesiyle bu sistem ortalama üzerinde bir kullanılabilirlik skoru almaktadır.

4.3. Çalışma Sonrası Kullanılabilirlik Anketi

Çalışma Sonrası Kullanılabilirlik Anketi 16 sorudan oluşmaktadır. 3 kısım ve bir de genel değerlendirme sorusu bulunmaktadır. Bu üç kısım sistem kalitesi, bilgi kalitesi ve arayüz kalitesini ölçmektedir. Katılımcılar 1 (Kesinlikle Katılmıyorum) ile 7 (Kesinlikle Katılıyorum) arası puanlamalar yapmaktadır. Verilen puanların yüksekliği, sistemin kullanıcı için kullanılabilirlik başarısını göstermektedir.

4.3.1. Çalışma Sonrası Kullanılabilirlik Anket Bulguları ve Analizi

10 katılımcıyla yapılan Çalışma Sonrası Kullanılabilirlik Anketi sonrasında katılımcıların verdiği bütün yanıtlar tek bir tabloda toplanmıştır. Tablo 6'da verilen bütün yanıtların yüzdelik olarak seçeneklere yerleştirildiği görülmektedir.

Tablo 6: Çalışma Sonrası Kullanılabilirlik Anketi Genel Yanıt Dağılımı

Çalışma Sonrası Kullanılabilirlik Anketi

		Kesinlikle Katılmıyorum 1	2	3	4	5	6	Kesinlikle Katılıyorum 7
SysQual	1- Genel olarak bu sistemi kullanmanın kolay olmasından memnunum.				%20		%70	%10
	2- Bu sistemi kullanmak basitti.			%20	%10		%60	%10
	3- Bu sistemi kullanarak görev ve senaryoları hızlı bir şekilde tamamlayabildim.		%20	%30	%30	%10		%10
	4- Bu sistemi kullanırken kendimi rahat hissettim.			%10	%30		%40	%20
	5- Bu sistemi kullanamayı öğrenmek kolaydı.			%10			%40	%50
	6- Bu sistemi kullanarak hızlı bir şekilde üretken olabileceğime inanıyorum.			%10	%10	%20	%20	%40
InfoQual	7- Sistem, sorunların nasıl çözüleceğini açıkça anlatan hata mesajları verdi.	%10		%10	%10	%30	%20	%20
	8- Sistemi kullanırken her hata yaptığımda, kolay ve hızlı bir şekilde iyileştirebildim.	%10		%10	%30	%10	%20	%20
	9- Bu sistemle sağlanan bilgilendirmeler açıktı.	%10					%30	%60
	10- İhtiyaç duyduğum bilgiyi bulmak kolaydı.				%20	%30	%10	%40
	11- Bilgiler, görevleri ve senaryoları tamamlamama yardımcı olmada etkiliydi.				%10	%10	%30	%50
IntQual	12- Sistem ekranlarındaki bilgilerin organizasyonu çok değerliydi.					%10	%30	%60
	13- Bu sistemin arayüzü hoştu.					%20	%30	%50
	14- Bu sistemin arayüzünü kullanmayı sevdim.					%10	%30	%60
	15- Bu sistem, sahip olmasını beklediğim tüm işlevlere ve yeteneklere sahiptir.		%10		%30	%20	%30	%10
	16- Genel olarak bu sistemden memnunum.					%30	%50	%20

Tablo 6'daki yanıtlara göre; katılımcılar genel olarak sistemi kullanmanın kolay olduğunu düşünmekteler ve bu durumdan memnun olmakadır. Sistemi kullanmanın

basit olduğunu düşünenlerin oranı %70'tir. 'Bu sistemi kullanarak görev ve senaryoları hızlı bir şekilde tamamlayabildim' önermesi için kararsız kalanların oranı %30 katılmayanların oranı %50'dir. Katılımcıların %60'ı 'bu sistemi kullanırken kendimi rahat hissettim' önermesine katılmaktadır. Katılımcılar %90 oranında bu sistemi kullanmayı öğrenmenin kolay olduğunu düşünmektedir. Büyük çoğunluk bu sistemi kullanarak hızlı bir şekilde üretken olabileceklerine inanmaktadır. Buraya kadar yapılan sistem kalitesinin değerlendirilmesinden sonra bilgi kalitesi değerlendirilmesi kısmı yedinci soru ile başlamaktadır.

'Sistem sorunların nasıl çözüleceğini açıkça anlatan hata mesajları verdi' önermesine çoğunluk katılmıştır, %20 oranında 'kesinlikle katılıyorum' yanıtı verilmiştir. 'Sistemi kullanırken her hata yaptığımda, kolay ve hızlı bir şekilde iyileştirebildim' önermesi için katılımcıların %30'u kararsız kalmaktadır. Katılımcıların %50'si ise bu önermeye katılmaktadır. 'Bu sistemle sağlanan bilgiler açıktı' önermesine katılımcıların %90'ı katılmaktadır. Katılımcılar bu sistemde ihtiyaç duydukları bilgiyi bulmanın kolay olduğunu belirtmektedirler. Verilen bilgilerin, görev ve senaryoların tamamlanmasında yeterince yardımcı olduğunu düşünmekteler.

Arayüz değerlendirmesinde ise 'bu sistemin arayüzü hoştu' önermesine herkes katılmaktadır. Aynı şekilde 'bu sistemin arayüzünü kullanmayı sevdim' önermesine herkes katılmaktadır. 'Bu sistem, sahip olmasını beklediğim tüm işlevlere ve yeteneklere sahiptir' önermesine katılımcıların %30'u kararsızım demektedir. %10 oranında katılmayanın olduğu bu önermeye katılımcıların %60'ı katılmaktadır.

Son olarak 'genel olarak bu sistemden memnunum' önermesine bütün katılımcılar katılmaktadır.

Bu anketin sonucunda genel olarak yüksek puanlar gözlemlenmektedir. Katılımcıların büyük çoğunluğu sistem, bilgi ve arayüz kalitesini başarılı bulmaktadır. Sistemi kullanırken görev ve senaryoları hızlı bir şekilde tamamlayamamak şikayetçi oldukları konudur. Bu durum sadece arayüzle ilgili değil, EEG başlığındaki sinyallerin kuvvetiyle bağlantılı olarak (test boyunca değişken sinyaller alındı) sistemle etkileşime geçmede yaşanan güçlüklerin bu cevabı etkilediği gözlemlenmiştir.

4.4. Dijital Ortamda Beyin Bilgisayar Arayüzü Kullanım Anketi

Test sonrası yapılan üçüncü ve son ankette katılımcıların önceden BBA kavramını bilip bilmedikleri, oyun oynama süreleri, VR gibi diğer dijital teknolojilere aşinalığı sorulmaktadır. BBA konsepti, geleceği, kişinin yaşamındaki yeri, çeşitli alanlardaki potansiyeli ve tüm bu süreçlerde yaşanan deneyim ile ilgili değerlendirmeler yapılmaktadır. Katılımcıların verdiği yanıtlar tek bir tabloda toplanıp, verilen yanıtlara göre yüzdelik değerlerle gösterilmektedir. Bir açık uçlu soru, bir de günlük oyun oynama süresi ile ilgili zaman aralığı sorusu bulunmaktadır. Toplam 17 önermelik anketin kalan 15 önermesi 'kesinlikle katılmıyorum', 'katılmıyorum', 'kararsızım', 'katılıyorum', 'kesinlikle katılıyorum' şeklinde cevaplanmaktadır.

4.4.1. Dijital Ortamda Beyin Bilgisayar Arayüzü Kullanımı Anket Bulguları ve Analizi

10 katılımcıyla yapılan sonuncu anket, Tablo 7'de önermeler ve verilen yanıtlar halinde görülmektedir. Tüm katılımcıların bu anketteki yanıtları tek bir tabloda toplanmaktadır.

Katılımcıların %50'si BBA kavramını daha önceden hiç duymadıklarını belirtmektedir. Diğer %50'si ise daha önceden BBA kavramını duyduklarını ve bu alanla ilgili çalışmalar gördüklerini aktarmaktadır.

Katılımcıların %60'ının günlük olarak oyun oynamaya ayırdıkları sürenin yarım saatten daha az olduğunu belirtmektedir. Katılımcıların %10'u yarım saat ile bir saat arasında olduğunu, %30'u ise bir ile iki saat arasında olduğunu belirtmektedir.

Daha önceden sanal gerçeklik deneyimi olanların oranı %90'dır.

BBA'nın VR ile birleştirilerek çeşitli deneyimler kurgulanabileceğine katılanların oranı %90'dır.

Katılımcılar; sağlık, eğitim, oyun, sanat, eğlence meditasyon gibi alanlarda BBA ile çeşitli deneyimler kurgulanabileceğine inanmaktadır. Katılımcıların %80'i Kesinlikle katılıyorum yanıtını vermiştir.

'Sanat üretme ve deneyimlede BBA temelli/destekli uygulamalar görmek isterim' önermesine katılımcıların %80'i 'kesinlikle katılıyorum' yanıtını vermiştir. %20 ise bu önermeye katılmamaktadır.

Tablo 7: Dijital Ortamda BBA Kullanımı Anket

DİJİTAL ORTAMDA BEYİN BİLGİSAYAR ARAYÜZÜ KULLANIMI ANKET	Kesinlikle Katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum
1. BCI (Beyin-Bilgisayar Arayüzü) kavramını daha önce duydum ve bu alanla ilgili çalışmaları gördüm.	%50				%50
2. Günde ortalama oyun oynama sürem. (dakika)					
3. VR (Sanal Gerçeklik) deneyimim oldu.	%10				%90
4. BCI, VR ile birleştirilerek çeşitli deneyimler kurgulanabilir.				%10	%90
5. Sağlık, eğitim, oyun, sanat, eğlence, meditasyon gibi alanlarda BCI ile çeşitli deneyimler kurgulanabilir.				%20	%80
6. Sanat üretme ve deneyimlede BCI temelli/destekli uygulamalar görmek isterim.	%10	%10			%80
7. BCI'ın ekstra arabirimlere (mouse, klavye, dokunmatik ekran…) alternatif olacağını düşünüyorum.			%40	%20	%40
8. Uzun vadede BCI'ın ekstra arabirimlerin (mouse, klavye, dokunmatik ekran…) yerini alacağını düşünüyorum.		%30	%20	%30	%20
9. Kendi ilgi alanım ya da işim ile ilgili gelecekte bu sistem kullanılarak çeşitli deneyimler oluşturulabileceğine inanıyorum.			%30	%20	%50
10. Kendi ilgi alanımla veya işimle ilgili sorunlara çeşitli çözümler sağlama potansiyeli var.			%30	%30	%40
11. Kendi ilgi alanım ya da işim ile ilgili gelecekte bu sistem kullanılarak çeşitli deneyimler oluşturulursa kullanmak isterim.				%40	%60
12. Bu teknolojinin ilerleyip, bu alandaki çalışmaların hayata daha fazla dahil olmasını gerektiğini düşünüyorum.			%10	%40	%50
13. BCI (sinyal) eğitim metodundan memnunum.			%20	%30	%50
14. Sinyal eğitimi için farklı yöntemler kullanılmasını isterim.	%10	%30		%30	%30
15. Kafaya yerleştirilen EEG cihazı ergonomik olarak geliştirilmeli.	%10	%20		%20	%50
16. Fiziksel ve sanal ortamlarda çeşitli nesne ve arayüzlerle etkileşime geçmek için EEG cihazını implant olarak tercih ederdim.	%20	%20	%20	%30	%10
17. Yaşadığınız BCI deneyimiyle ilgili aktaracaklarınız.					

'BBA'nın ekstra arabirimlere (mouse, klavye, dokunmatik ekran ve benzeri) alternatif olacağını düşünüyorum' önermesine katılımcıların %40'ı kararsız olduğunu belirtmiş %60'ı ise bu önermeye katılmaktadır.

Uzun vadede BBA'nın ekstra arabirimlerin yerini alacağını düşünen katılımcıların oranı %50'dir. %20 kararsız ve %30 bu önermeye katılmamaktadır.

Katılımcıların çoğunluğu (%70) kendi işi ya da ilgi alanıyla ilgili gelecekte bu sistem kullanılarak çeşitli deneyimler oluşturulabileceğine inanmaktadır. %30'luk kısım ise kararsız kalmaktadır.

Katılımcıların çoğunluğu (%70) BBA'nın kendi işi ya da ilgi alanıyla ilgili sorunlara çeşitli çözümler sağlama potansiyeli olduğunu düşünmektedir. %30'luk kısım ise kararsız kalmaktadır.

'Kendi ilgi alanım ya da işim ile ilgili gelecekte bu sistem kullanılarak çeşitli deneyimler oluşturulursa kullanmak isterim' önermesi, katılımcıların hepsi tarafından onaylanmaktadır.

'Bu teknolojinin ilerleyip, bu alandaki çalışmaların hayata daha fazla dahil olmasını gerektiğini düşünüyorum' önermesine, katılımcılar %90 oranında katılmaktadır.

BCI (sinyal) eğitim metodundan memnun olan katılımcı oranı %80'dir.

Sinyal eğitimi için farklı yöntemler kullanılmasını isteyenlerin oranı %60, buna gerek olmadığını düşünenlerin oranı %40'tır.

Mobil EEG başlığının ergonomik olarak daha fazla geliştirilmesi gerektiğini düşünen katılımcıların oranı %70'tir.

'Fiziksel ve sanal ortamlarda çeşitli nesne ve arayüzlerle etkileşime geçmek için EEG cihazını implant olarak tercih ederdim' önermesine katılımcıların %40'ı katılmaktadır. %20 kararsız, %40'ı ise katılmamaktadır.

4.4.2. Açık Uçlu Soruların Değerlendirilmesi

Katılımcılara yaşadıkları BBA deneyimini anlatmaları ve bütün süreçle ilgili fikirlerini paylaşmaları istenmektedir.

Genel olarak olumlu bir deneyim yaşadıklarını aktarmışlardır. EEG başlığının ergonomik olarak daha da iyi hale getirilmesi gerektiğini belirtmektedirler. İlgi çekici bir deneyim olduğunu ve özellikle eğitim alanında büyük potansiyeller taşıdığını belirtmekteler. Katılımcılar BBA ile ilgili test öncesi beklenti ve test sonrası tatminlik duygusu arasında çok fark olmadığını belirtmektedirler. Belirli bir düzeyde beklentilerinin karşılandığını aktarmaktadırlar. Test esnasında dikkat dağılması yaşarlarsa bunun etkisini fark ettiklerini belirttiler. Odaklanıldığında daha başarılı sonuçlar alındığı gözlemlenmektedir. Katılımcıların çoğu mimik deneyini, küp

deneyinden daha başarılı bulmaktadır. Katılımcıların en rahatsız olduğu konunun sistemin yanlış tetiklenmesi olduğu gözlemlenmektedir. İstemsizce verilen komut veya verilen komutun başka bir komut şeklinde algılanması katılımcıların deneyimini olumsuz etkilemektedir.

4.5. Test ve Anketler Sonrası Genel Değerlendirme

Yapılan testlerde katılımcıların başarı oranı değişkenlik göstermekte, bazı komutlar bazı katılımcılar tarafından daha iyi çalıştırılmaktadır. Genel olarak ortalama ve ortalama altında verim alınmıştır. Kusursuz bir şekilde akıcı deneyim yaşanmamıştır. Yanlış tetiklenme durumları gözlemlenmiştir. Sağ düşününce sol komut verilmesi veya düşünülmeden komut algılanması gibi durumlar gözlemlenmiştir.

Katılımcıların çoğunluğu mimik testini, küp testinden daha başarılı bulmuştur. Mimik testinde de yanlış tetiklenme, komut verilmeden komut algılama gibi durumlar yaşanmıştır. Fakat isteyerek verilen komutlar mimik testinde daha başarılı bir şekilde algılanmıştır.

Genel olarak aralıksız aktarılmak istenen komutun uzunluğu birkaç saniyeden fazla sürmemektedir. Örneğin eğitim aşamasından sonra canlı modda gülümseme ifadesiyle bekleyen katılımcı en fazla birkaç saniye boyunca arayüzdeki surata aralıksız gülümseme komutu gönderebilmiştir. Bu durum EEG sinyal kalitesininin yoğun değişimine, sabit olmayışına da bağlı olabilmektedir. Aralıksız aktarılmak istenen komut, arayüzde kesintili bir şekilde karışılık bulmaktadır.

EEG başlığındaki her bir kanalın nemli bir şekilde kafa derisine değmesi gerekmektedir. Kurudukça sinyal kalitesi düşmektedir. Saç yoğunluğu ve uzunluğuna bağlı olarak başlığı olması gerektiği şekilde ayarlamak zorlaşmaktadır.

EEG başlığı genel olarak kafa üzerindeki duruşuyla ergonomik olarak katılımcılardan olumlu görüşler alsa da bu gibi sistemleri ergonomi ve mobillik üzerine daha da gelişmesi gerektiğini belirtmekteler.

Kafanın ani hareketleri, katılımcının dikkatinin dağılması, gülmesi, öksürmesi hatta derin nefes alması gibi durumlarda sinyal kalitesinin anlık düşüşler yaşadığı gözlemlenmektedir.

3 tekrarlı eğitim kısmı yöntem yönünden başarılı bulundu. Tekrar aşamalarının artması BBA komutlarını daha güçlü yapacağı fakat eğitim süresinin de buna orantılı olarak uzayacağı anlaşılmaktadır.

Katılımcılar çip implantıyla BBA uygulamalarını kullanma fikrinde ikiye ayrılmaktadır. Katılımcıların yarısı karşı çıkarken yarısı bu fikre daha sıcak yanaşmaktadır.

Katılımcılar BBA'nın kendi ilgi alanlarıyla ilgili potansiyel taşıdıklarına inanmaktalar ve gelecekte bu sistemi hayatın içinde görmek ve kullanmak istediklerini belirmekteler.

Katılımcılar BBA'nın halihazırda kullanılan arabirimlere alternatif olabileceği konusuna katılmaktalar ama uzun vadede onların yerini alabileceği konusuna tam olarak katılmamaktalar.

5. SONUÇ

Düşünce gücüyle çevreye komut verebilmek insanlar için daima bir fantezi konusu olmuştur. Beyindeki elektriksel aktivitelerin keşfedilmesi, EEG sinyallerinin anlamlandırılması, gelişen teknoloji ve yapay zeka uygulamalarının yaygınlaşmasıyla bu fantezi artık pratik olarak da uygulanabilir bir şekilde karşımıza çıkmaktadır. Önceleri motor becerileri kısıtlı insanların hayatını kolaylaştırmak hedeflenmiş olsa da düşünce gücüyle çevreye, makinelere ve bilgisayar sistemlerine komut verebilmek herkes tarafından cezbedici olmaktadır. Beyin bilgisayar arayüzü, sistem ile insan arasındaki geleneksel fiziksel arabirimlere güçlü bir alternatif olma potansiyeli taşımaktadır. Etkileşim hızını en üste çıkarmaktadır.

BBA'ya sadece düşünce gücüyle komut aktarmak olarak bakmamak gerekir. Sağlık ve beyin performansı izleme, meditasyon, tüketici davranışları, pazar araştırmaları gibi çok çeşitli alanlarda sınırsız potansiyele sahiptir. Buradaki durum beyindeki sinyali bir komuta çevirmekten ziyade, yapay zeka algoritmalarının da yardımıyla dış etkenler kaynaklı beyindeki aktivitenin anlamlandırılması ve buna göre eyleme geçilmesi BBA sistemine yeni bir boyut kazandırmaktadır.

BBA komut uygulamalarını pratikte deneyimlemek ve BBA kavramıyla ilgili kullanıcılardan görüş almak, kablosuz mobil EEG başlığının ergonomisini ölçmek, BBA eğitim yazılımlarının kullanılabilirliklerini değerlendirmek adına bu çalışma yapılmıştır. Sadece teoride değil pratikte de bu sistemin kullanılabileceği gözlemlenmiştir. Yapılan üç farklı anket çalışmaları, sistek kullanılabilirlik ölçeği ile kullanıcıların sisteme hızlıca uyum sağladıkları ve sistemden, arayüzden, eğitim modelinden hoşlandıkları gözlemlenmiştir. Küpü hareket ettirme testindeki düşünce gücüyle verilen komutların etkisine karşı, mimik deneyindeki gibi fiziksel olarak kas hareketi (mimik) ile desteklenen düşünce gücüyle komutun daha etkili çalıştığı gözlemlenmiştir. Değişken EEG sinyal kalitesi, sıkça görülen yanlış tetiklenme durumları olsa da hiçbir katılımcı testi hayal kırıklığı olarak nitelememiştir. Beklentilerini karşıladıklarını aktarmışlardır. Tüm katılımcılar BBA kavramının

potansiyeline dair heyecan duymaktadır. Bu gidişle hayatın içerisinde daha fazla BBA etkileşimlerinin kurgulanmaya başlayacağını göreceğiz. İnteraktif medya tasarımı içerisinde yeri artacak olan BBA aynı zamanda sanat üretme ve sanatı deneyimleme konusunda da taşıdığı potansiyelle dikkat çekmektedir.

İnsan kafası üzerinden beyin aktivitelerine en etkili erişim konusunda çalışmalar devam etmektedir. Beyin bilgisayar arayüzü için kullanılacak beyin aktivitelerine erişmede günümüz için EEG yönteminin en etkili yol olduğu görülmektedir. Kafaya takılabilen bir başlık veya kafatası içerisinden beyine bir bozuk para büyüklüğündeki implant yerleştirilerek de bu verilere erişim sağlanabilmektedir. Ameliyatla yapılacak çip implantı için insanların çoğu belirsizliğe bağlı tedirginlik yaşasa ve bu duruma mesafeli yaklaşsa da çip implantı fikrine sıcak bakanların sayısı da oldukça fazladır.

Felç vakalarına devrimsel bir çözümle yaklaşan beyin bilgisayar arayüzünün şu an için uygulanabilinen kısıtlı alanına rağmen taşıdığı potansiyel düşünüldüğünde önümüzdeki senelerde sadece düşünce gücüyle yapılabilecekler insanları heyecanlandırmaktadır.

Kullanılacak EEG cihazının yapısı da doğrudan insanın yaşadığı deneyimi etkilemektedir. Hareket halindeyken sinyalin zayıflaması veya EEG cihazının ıslak ya da kuru elektrot tipinde olması kullanım alanlarına göre deneyimi değiştirmektedir. Cihazın barındırdığı kanal sayısı önemli olmaktadır. EEG cihazı ne kadar fazla kanal sayısına sahip ise o kadar fazla beyin aktivitesine dair veri toplayabilmektedir. Fazla kanal ile daha karmaşık ve çeşitli sinyaller toplanmaktadır. Yapay zeka destekli bilgisayar yazılımlarıyla bu verilerin sınıflandırılması ve işlenmesiyle de düşünce gücünü bir komut olarak kullanmak mümkün hale gelmektedir.

Kafaya dışarıdan takılan EEG başlığı için saç yoğunluğu yüksek veya uzun saçlı insanlar için EEG sinyallerine erişmenin zorluğu yalnızca cihazı kafaya yerleştirme aşamasında olduğu anlaşılmıştır. Kısa saçlı deneklere göre uzun saçlı veya saç yoğunluğu yüksek deneklerin teste hazırlık süresi daha uzun sürmüştür. Elektrotun kafa derisine yerleştirilmesi gerekmekte ve kafa derisine temas ettiği sürece bağlantı kalitesini koruduğu anlaşılmaktadır. Elektrotun ıslak veya kuru tipte olması da bu konuda belirleyici bir faktördür. Islak elektrotlu cihazlarda daha kesin veriler alınmakta fakat kafada elektrotlar kurudukça tekrar nemlendirilmesi gerekmektedir.

Aksi halde bağlantı kalitesi kayda değer şekilde düşmektedir. Elektrot ve kafa derisi arasına saçın girmemesi gerekmektedir. Elektrotları doğru şekilde yerleştirip saçın üstüne doğrudan yerleştirmemeye çalışırken ıslak elektrotların sürtünmeye bağlı olarak hızlı kuruduğu da gözlemlenmektedir. Kısa saç uzunluğu ve az saç yoğunluğu EEG için daha avantajlı olsa da yoğun ve uzun saç tiplerinde kullanım kalitesi etkilenmemekte yalnızca kurulum ve hazırlık süresi uzamaktadır.

EEG cihazının daha ergonomik, hafif, kolay taşınabilir ve hızlı kurulum yapılıp kullanılabilecek duruma gelmesi tüm deneklerin ortak fikridir. Çip implantı olsun ya da olmasın cihazın boyutu minimal düzeyde olmalı ve kafaya yakın olduğu sürece işlevini yerine getirebilmelidir. EEG cihazının yapısıyla ilgili gerçekleştirilen test ve anket çalışmalarının ardından öneriler yapılmaktadır. Kafanın etrafını saran bir başlıktan ziyade bir kulakiçi kablosuz kulaklık boyutunda olması ve kullanım pratikliği sunması önümüzdeki seneler için EEG cihazından beklenmektedir.

İleriki çalışmalar için beyin bilgisayar arayüzü belki de sonsuz potansiyel taşımaktadır. Sağlık alanında felç, uzuv kaybı, beyin hastalıkları gibi konularda insanların düşünmeye engel sorunları olmadığı sadece düşüncesini uygulamada fiziksel olarak güçlük çektiği bilinmektedir. Beyin bilgisayar arayüzü ile düşünce gücünü komuta çevirme ve çeşitli sistemlerle de bağlantı kurabilme potansiyeli düşünüldüğünde -örneğin protez el- bu alanda pratik olarak büyük fayda sağlayacak ve insan hayatını kolaylaştıracak çözümler sunabilmektedir.

Yapay zekadan aldığı destekle çok sayıda ham verinin sınıflandırılması ve analiz edilmesi daha sonra bu verinin anlamlandırılması gibi durumlar düşünüldüğünde yazılım alanında da bu konuyla ilgili çeşitli çalışma alanları doğmaktadır.

EEG cihazının fiziksel yapısı ve bilgisayar yazılımı ile entegrasyonu, bu donanımın kullanılabilirliği ve ergonomisinin en iyi şekilde düşünülmesi de başlı başına bir mühendislik ve tasarım konusudur.

EEG cihazı ve beyin bilgisayar arayüzü ile hem düşünce gücüyle komut verilebilmekte hem de dış etkenlerin insan beynindeki etkisi gözlemlenebilmektedir. Bu durum yeni deneysel BBA uygulamalarına alan açmaktadır. Eğlence amaçlı ve tamamen yeni deneyimler kurgulanabilir, BBA ile sanat üretimi üzerine çalışmalar yapılabilir. Sanatı deneyimleme konusunda ve ses, görüntü, hissiyat, koku gibi dış

etkenlerin beyindeki elektriksel aktivitelerini gözlemleyip bu veriler de farklı şekillerde anlamlandırılabilir ve farklı etkileşimler yeni deneyimler kurgulanabilir.

Beyin bilgisayar arayüzü eğitim ve oyun alanında, pazarlama, reklam, tasarım gibi hemen hemen her konsepte adapte edilebilir bir yapıda olmaktadır. Gelecekte de bu alanla ilgili yapılacak çalışmalar sonsuz potansiyel içermektedir. Her düşünceye karşılık bir eylem veya komutun tanımlanmasıyla insan kendi potansiyelini en üst noktaya taşıyacaktır.

KAYNAKÇA

Aghaei, Sareh, Mohammad Ali Nematbakhsh, Hadi Khosravi Farsani. 2012. "Evolution of the world wide web: From WEB 1.0 TO WEB 4.0". **International Journal of Web & Semantic Technology.** c. 3. s.1: 1-10.

Aras, Selim. 2021. İnsan Bilgisayar Arabirimi. **Dijital Gelecek Dijital Dönüşüm-2.** İstanbul: Efe Akademi Yayınları: 7-28.

Argunşah, Ali Özgür. [16.05.2022]. "Beyinden Bilgisayara Bir Yol: Beyin Bilgisayar Arayüzü". https://www.emo.org.tr/ekler/a130f1dc6f0c829_ek.pdf?dergi=429.

Ashton, Kevin. 2009. "That 'Internet of Things' Thing." **RFID Journal** c. 22. s. 7: 97-114.

Aytaç, Serpil, Özlem Kaya. 2019. "Ergonominin Çalışma Yaşamındaki Önemi". **Karatahta İş Yazıları Dergisi.** s.14: 1-14.

Bailey, Regina. 2019. "The Four Cerebral Cortex Lobes of the Brain". https://www.thoughtco.com/cerebral-cortex-lobes-anatomy-373197. [15.05.2022]

Balaban, Mehmet Erdal, Elif Kartal. 2018. **"Veri madenciliği ve makine öğrenmesi: Temel algoritmalar ve R dili uygulamaları".** İstanbul: Çağlayan Kitabevi.

Berger, Hans. 1929. "Über Das Elektroenkephalogramm Des Menschen". **Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten.** c. 87. s. 1: 527-570.

Brooke, John. 1996. "Sus: a "quick and dirty'usability". **Usability Evaluation in Industry.** c. 189. s. 3: 189-194.

Bulut, Cem. 2018. **Beyin Bilgisayar Arayüzü Uygulamaları İçin EEG Sinyal Analizi.** Yüksek Lisans Tezi. Altınbaş Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Chapin, John K., Karen A. Moxon, Ronald S. Markowitz, Miguel A. L. Nicolelis. 1999. Real-time Control of a Robot Arm Using Simultaneously Recorded Neurons in The Motor Cortex. **Nature Neuroscience.** c. 2. s. 7: 664–670.

Charniak, Eugene, Drew McDermott, 1985. "Introduction to Artificial Intelligence". **Addison-Wesley Series in Computer Science.** Boston, MA, Amerika Birleşik Devletleri

Çağıltay, Kürşat. 2016. "İnsan Bilgisayar Etkileşimi ve Eğitim Teknolojileri". **Öğretim Teknolojilerinin Temelleri: Teoriler Araştırmalar Eğilimler.** Ankara: Pegem Akademi. 2. bs. 297-314.

Gray, Henry. 1918. "Anatomy of the Human Body". https://www.bartleby.com/107. [15.05.2022].

Halaçoğlu, Burcu Nehir. 2019. "Panoramadan İçine-Gömülmeye; Video Oyunlarında Kusursuz İllüzyon". **Sanat ve Tasarım Dergisi.** s. 24: 171-193.

Karwowski, Waldemar. 2005. "Ergonomics and Human Factors: The Paradigms for Science, Engineering, Design, Technology and Management of Human-Compatible Systems". **Ergonomics.** c.48. s.5: 436-463.

Löwgren, Jonas, Erik Stolterman. 2007. **Thoughtful Interaction Design: A Design Perspective on Information Technology.** 1. bs. Cambridge: The MIT Press.

Mcluhan, Marshall, Bruce R. Powers. 2001. Global Köy, **21. Yüzyılda Yeryüzü Yaşamında ve Medyada Meydana Gelecek Dönüşümler.** Çeviren, Bahar Öcal Düzgören, Scala Yayıncılık, İstanbul.

Medeiros, Joao. 2015. "How Intel Gave Stephen Hawking a Voice". https://www.wired.com/2015/01/intel-gave-stephen-hawking-voice/. [06.06.2022].

Modawal, Archana. 2019. "Know The Best Practices for Extended Reality Onboarding". https://www.softwebsolutions.com/resources/best-practices-for-extended-reality.html. [01.05.2022].

Mystakidis, Stylianos. 2022. "Metaverse". Encyclopedia c. 2. s. 1: 486-497.

Nielsen, Jakob. 1994. "Enhancing the Explanatory Power of Usability Heuristics". **Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems.**

Norman, Donald. 1999. **The Design of Everyday Things.** MIT Press.

Park, Innwoo, Michael J. Hannafin. 1993. "Empirically-based Guidelines for The Design of Interactive Multimedia". **Educational Technology Research and Development.** c. 41. s. 3: 63-85.

Pehlivan, Gamze. 2020. "Genişletilmiş Gerçeklik (XR) Nedir?". https://codemodeon.com/tr/genisletilmis-gerceklik-xr-nedir. [01.05.2022].

Ryan, Hannah. 2022. "Elon Musk's Neuralink Confirms Monkeys Died in Project, Denies Animal Cruelty Claims". https://edition.cnn.com/2022/02/17/business/elon-musk-neuralink-animal-cruelty-intl-scli/index.html. [06.06.2022].

Sauro, Jeff, James R. Lewis. 2011. "When designing usability questionnaires, does it hurt to be positive?". Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems.

_____. 2016. "Quantifying the User Experience: Practical Statistics for User Research". **Morgan Kaufmann.**

Shannon, Claude Elwood. 1948 "A Mathematical Theory of Communication." **The Bell System Technical Journal.** c. 27. s. 3: 379-423.

Shneiderman, Ben. 2004. "Designing for Fun: How Can We Design User Interfaces to be More Fun?". **Interactions.** c. 11. s. 5: 48-50.

Stephenson, Neal. 2003. "Snow Crash: A Novel". **Random House Publishing Group.** New York, NY, Amerika Birleşik Devletleri.

Subramaniyam, Narayan P. 2021. "EEG Signal Quality in Wet Versus Dry Electrodes". https://sapienlabs.org/lab-talk/eeg-signal-quality-in-wet-versus-dry-electrodes. [20.05.2022].

Tasa, Umut Burcu. 2014. **İnteraktif Medya Tasarımı İçin Bütüncül ve Ekolojik Bir Yaklaşım.** Doktora Tezi. YTÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Uçan, Bahadır. 2017. **Karikatürün Bilgisayar Destekli Analizi: Türkiye-Avustralya mukayesesi.** Doktora Tezi. YTÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Vidal, Jacques J. 1973. "Toward Direct Brain-Computer Communication". **Annual Review of Biophysics and Bioengineering.** c. 2. s. 1: 157-180.

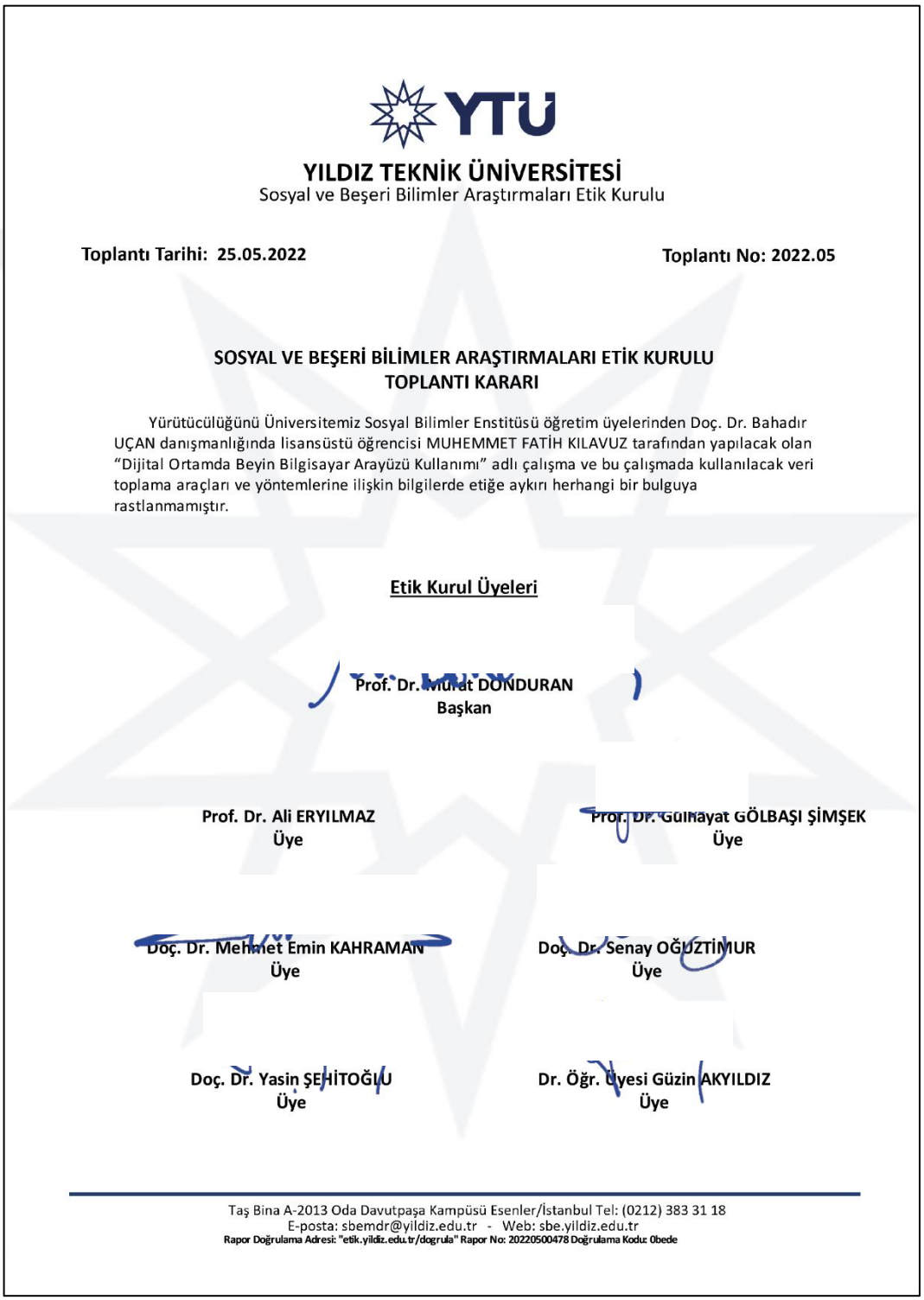
_____. 1977. "Real-time Detection of Brain Events in EEG." **Proceedings of the IEEE.** c. 65. s. 5: 633-641.

Wolpaw, Jonathan R., Niels Birbaumer, Dennis J. McFarland, Gert Pfurtscheller, Theresa M. Vaughan. 2002. "Brain–Computer Interfaces for Communication and Control". **Clinical Neurophysiology.** c. 113. s. 6: 767-791.

Zedeli, Amine Refika, İlhan Özkeçeci. 2020. "Bir İnteraktif Medya Aracı Olarak Kioskun Sosyal Etkileşimdeki Rolünün Örnekler Üzerinden İncelenmesi". **Modular Journal.** c. 3. s. 2: 213-236.

EKLER

Ek 1. Etik Kurul Raporu



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırmaları Etik Kurulu

Toplantı Tarihi: 25.05.2022 **Toplantı No: 2022.05**

SOSYAL VE BEŞERİ BİLİMLER ARAŞTIRMALARI ETİK KURULU TOPLANTI KARARI

Yürütücülüğünü Üniversitemiz Sosyal Bilimler Enstitüsü öğretim üyelerinden Doç. Dr. Bahadır UÇAN danışmanlığında lisansüstü öğrencisi MUHEMMET FATİH KILAVUZ tarafından yapılacak olan "Dijital Ortamda Beyin Bilgisayar Arayüzü Kullanımı" adlı çalışma ve bu çalışmada kullanılacak veri toplama araçları ve yöntemlerine ilişkin bilgilerde etiğe aykırı herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.

Etik Kurul Üyeleri

Prof. Dr. Murat DONDURAN
Başkan

Prof. Dr. Ali ERYILMAZ
Üye

Prof. Dr. Gülnayat GÖLBAŞI ŞİMŞEK
Üye

Doç. Dr. Mehmet Emin KAHRAMAN
Üye

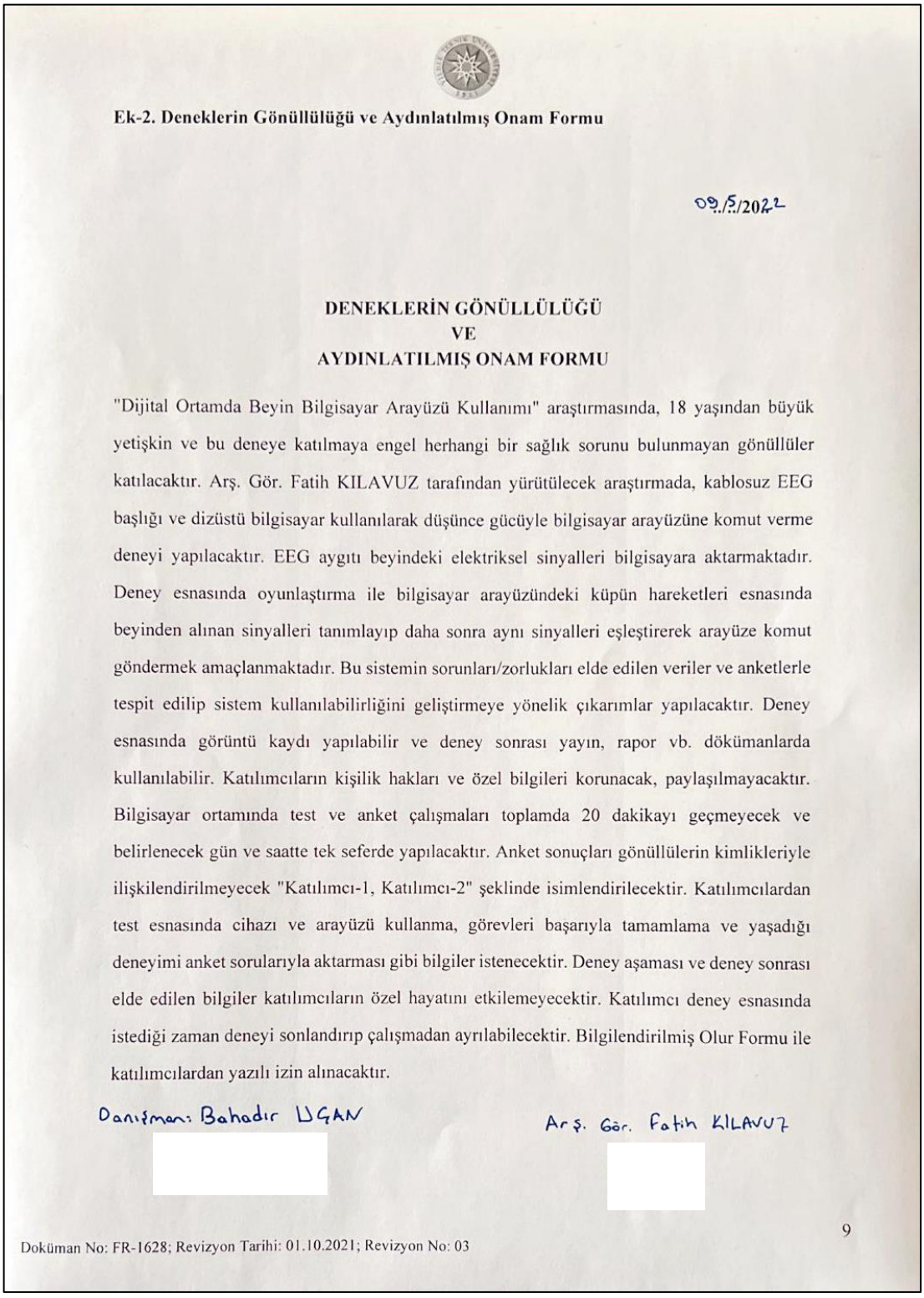
Doç. Dr. Senay OĞUZTİMUR
Üye

Doç. Dr. Yasin ŞEHİTOĞLU
Üye

Dr. Öğr. Üyesi Güzin AKYILDIZ
Üye

Taş Bina A-2013 Oda Davutpaşa Kampüsü Esenler/İstanbul Tel: (0212) 383 31 18
E-posta: sbemdr@yildiz.edu.tr - Web: sbe.yildiz.edu.tr
Rapor Doğrulama Adresi: "etik.yildiz.edu.tr/dogrula" Rapor No: 20220500478 Doğrulama Kodu: 0bede

Ek 2. Deneklerin Gönüllülüğü ve Aydınlatılmış Onam Formu



Ek-2. Deneklerin Gönüllülüğü ve Aydınlatılmış Onam Formu

09./5./2022

DENEKLERİN GÖNÜLLÜLÜĞÜ
VE
AYDINLATILMIŞ ONAM FORMU

"Dijital Ortamda Beyin Bilgisayar Arayüzü Kullanımı" araştırmasında, 18 yaşından büyük yetişkin ve bu deneye katılmaya engel herhangi bir sağlık sorunu bulunmayan gönüllüler katılacaktır. Arş. Gör. Fatih KILAVUZ tarafından yürütülecek araştırmada, kablosuz EEG başlığı ve dizüstü bilgisayar kullanılarak düşünce gücüyle bilgisayar arayüzüne komut verme deneyi yapılacaktır. EEG aygıtı beyindeki elektriksel sinyalleri bilgisayara aktarmaktadır. Deney esnasında oyunlaştırma ile bilgisayar arayüzündeki küpün hareketleri esnasında beyinden alınan sinyalleri tanımlayıp daha sonra aynı sinyalleri eşleştirerek arayüze komut göndermek amaçlanmaktadır. Bu sistemin sorunları/zorlukları elde edilen veriler ve anketlerle tespit edilip sistem kullanılabilirliğini geliştirmeye yönelik çıkarımlar yapılacaktır. Deney esnasında görüntü kaydı yapılabilir ve deney sonrası yayın, rapor vb. dökümanlarda kullanılabilir. Katılımcıların kişilik hakları ve özel bilgileri korunacak, paylaşılmayacaktır. Bilgisayar ortamında test ve anket çalışmaları toplamda 20 dakikayı geçmeyecek ve belirlenecek gün ve saatte tek seferde yapılacaktır. Anket sonuçları gönüllülerin kimlikleriyle ilişkilendirilmeyecek "Katılımcı-1, Katılımcı-2" şeklinde isimlendirilecektir. Katılımcılardan test esnasında cihazı ve arayüzü kullanma, görevleri başarıyla tamamlama ve yaşadığı deneyimi anket sorularıyla aktarması gibi bilgiler istenecektir. Deney aşaması ve deney sonrası elde edilen bilgiler katılımcıların özel hayatını etkilemeyecektir. Katılımcı deney esnasında istediği zaman deneyi sonlandırıp çalışmadan ayrılabilecektir. Bilgilendirilmiş Olur Formu ile katılımcılardan yazılı izin alınacaktır.

Danışman: Bahadır UĞAN

Arş. Gör. Fatih KILAVUZ

9

Doküman No: FR-1628; Revizyon Tarihi: 01.10.2021; Revizyon No: 03

Ek 3. Bilgilendirilmiş Olur Formu

10../5./2022

BİLGİLENDİRİLMİŞ OLUR FORMU

1. Aşağıda imzası olan ben " **Dijital Ortamda Beyin Bilgisayar Arayüzü Kullanımı** " başlıklı çalışmaya katılmayı kabul ediyorum.
2. Bu çalışmayı yürüten Arş. Gör. Fatih KILAVUZ çalışmanın yapısı, amacı ve muhtemel süresi, hakkında ayrıntılı sözlü ve yazılı bilgi verdi.
3. Araştırmacı Fatih KILAVUZ'a çalışmasıyla ilgili her soruyu sorma fırsatını buldum. Cevapları ve bana verilen bilgiyi anladım.
4. Araştırmacı Fatih KILAVUZ'a bilgilerin ayrıntılarını açıklamama ve benimle ilgili sırları koruması şartıyla benimle bu çalışmayı yapmasına izin veriyorum.
5. Çalışma boyunca tüm kurallara uyacağıma, araştırmacı Fatih KILAVUZ ile tam bir uyum içinde çalışacağıma ve konuyla ilgili herhangi bir sorun çıktığında hemen onu arayacağımı kabul ediyorum.
6. Bu çalışma sonuçlarının kullanılmasını kısıtlamayacağımı ve yayın, rapor ve benzeri bilimsel dokümanlarda kullanabileceğini kabul ediyorum.
7. Bu çalışmadan istediğim zaman çıkabileceğimi anladım.

OKUDUM VE ONAYLADIM.

Katılımcının Adı ve Soyadı, Adresi: Tarih, İmza:

Araştırmacının Adı ve Soyadı, Adresi: Tarih, İmza:

M. Fatih KILAVUZ

Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesi

Kışla Binası Sanat ve Tasarım Fakültesi no: C3005

Esenler/İstanbul

10.05.2022

Danışman: Bahadır UĞAN

11

Doküman No: FR-1628; Revizyon Tarihi: 01.10.2021; Revizyon No: 03