Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 27(5), 646-659, 2021

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Düşük maliyetli EEG başlıklarının kullanıcı deneyimi değerlendirmesi

User experience evaluation of low cost EEG headsets

Kübra ERAT [1*], *Pınar ONAY DURDU* [2]

[1,2]Bilgisayar Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.
kubra.erat@kocaeli.edu.tr, pinar.onaydurdu@kocaeli.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 29.09.2020 Düzeltme Tarihi/Revision: 01.01.2021 doi: 10.5505/pajes.2021.78910
Kabul Tarihi/Accepted: 03.01.2021 Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

İnsan bilgisayar etkileşiminde gelecek vadeden önemli alanlardan biri olan beyin bilgisayar ara yüzlerinde EEG başlıkları oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, düşük maliyetli iki farklı EEG başlığı olan NeuroSky MindWave ve Emotiv EPOC'un dikkat ve rahatlama gerektiren görevlerde performans karşılaştırması, kullanıcı deneyimi ve kullanılabilirlik değerlendirmesi yapılmaktadır. Çalışmada 12 gönüllü katılımcıdan yüksek bilişsel yük gerektiren dikkat görevi ve rahatlama görevi gerçekleştirmeleri istenmiştir. Kullanıcı deneyimini değerlendirmek için Affect Grid ölçeği ve AttrakDiff anketi kullanılırken cihazlara ait kullanılabilirlik problemlerini ortaya koyabilmek için NASA Zihinsel İş Yükü anketi ve Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği kullanılmıştır. İstatistiksel sonuçlar incelendiğinde rahatlama görevlerinde NeuroSky MindWave EEG başlığının Emotiv EPOC EEG başlığına oranla daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Dikkat gerektiren görevlerde ise her ikisi de benzer doğrultuda sonuçlar vermiştir. Kullanıcı deneyimi değerlendirmesine bakıldığında, katılımcıların her iki EEG başlığı kullanım esnasında yorgunluk hissettikleri ancak buna rağmen cihazları kullanımından memnun oldukları gözlemlenmiştir. Kullanılabilirlik açısından bakıldığında ise NeuroSky MindWave için daha olumlu görüşler bildirmişlerdir.

Anahtar kelimeler: BBA, EEG, Emotiv EPOC, NeuroSky MindWave.

Abstract

One of the promising areas in human computer interaction is the brain computer interfaces and EEG headsets are widely used technology in this domain. In this study, performance comparison of two different low-cost EEG headsets, NeuroSky MindWave and Emotiv EPOC EEG, in tasks requiring attention and relaxation, and their user experience and usability evaluations were conducted. There were 12 participants who were asked to perform attention tasks that require high cognitive load and relaxation tasks. While the Affect Grid scale and AttrakDiff questionnaire were used to evaluate the user experience, the NASA Task Load Index and System Usability Scale were used to reveal the usability problems of the devices. When the statistical results were examined, it was observed that the NeuroSky MindWave was more successful than the Emotiv EPOC in relaxation tasks. However, both have similar results in tasks requiring attention. According to the user experience evaluation results, it was observed that the participants felt tired while using both EEG heads, but were still satisfied with the use of the devices. They reported more positive opinions for NeuroSky MindWave in terms of usability.

Keywords: BCI, EEG, Emotiv EPOC, NeuroSky MindWave.

1 Giriş

İnsan-Bilgisayar Etkileşimi (İBE), bilgisayar teknolojisinin tasarımına ve özellikle de insanlar (kullanıcılar) ve bilgisayarlar arasındaki etkileşime odaklanan ve gerçekleştirilen tasarımların değerlendirilmesi ve uygulamasıyla ilgilenen çok disiplinli bir çalışma alanıdır [1]. Bilgisayar ile etkileşim sağlamak için kullanılan her tür yöntem İBE'nin araştırma alanına girmektedir. Son yıllarda özellikle motor engelleri nedeniyle klavye ya da fare kullanamayan kullanıcıların bilgisayarlar ile etkileşimleri için bir alternatif olarak değerlendirilen Beyin Bilgisayar Ara yüzleri (BBA) (BCI - Brain Computer Interface) de bu yöntemler arasında yer almaktadır [2]. BBA, insanların bilgisayarları kontrol etmek veya iletişim aygıtlarını kullanmak için motor hareketlerini kullanmaları yerine beyin elektriksel aktivitesini çevresel sinirlere veya kaslara bağlı kalmadan doğrudan komutlara dönüştürerek dış dünyayla etkileşime sokan bir sistem olarak tanımlanabilir [3]. BBA alanındaki temel araştırmaların amacı da bu bağlamda öncelikle ciddi motor engeli olan insanlar tarafından kullanılabilecek cihazları üretmek ve bunlar ile etkili ara yüzler sağlamaktır [4].

BBA kavramının ilk olarak 1970'li yıllarda Vidal tarafından ortaya atılan "gözlemlenebilir elektriksel beyin aktiviteleri, insan-bilgisayar iletişimde bilgi taşıyıcısı olarak harici cihazları kontrol etmek amacıyla kullanılabilir mi?" sorusu ile ortaya çıktığı söylenebilir. Vidal (1973) çalışmasında zihinsel tepki ve kararların, gözlemlenebilir biyoelektrik dizisinden ve özellikle insan derisi üzerinde ölçülen elektroensefalografik potansiyel dalgalanmalarından elde edilebileceğini vurgulamıştır [5].

Beyin aktivitelerini ölçmek için manyetoensefalogram (MEG), kızılötesi spektroskopi (NIRS), elektrokortikogram (ECoG), elektromiyografik (EMG), fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) ve elektroensefalografi (EEG) gibi birden fazla teknik kullanılabilmektedir [6],[7]. Bu teknikler içinde en ulaşılabilir, taşınabilir ve maliyeti az ve kullanımı pratik olan EEG'dir [6]. EEG ile ilgili çalışmaların temelleri; nörobilim, nörofizyoloji ve psikoloji alanlarında yapılan çalışmalara dayandırılabilir. Bir Alman psikiyatrist olan Hans Berger, beyin korteksinin elektriksel aktivitesini kaydetmeyi başarmış ve beynin nasıl çalıştığını görmenin mümkün olduğunu göstermiştir [8]. EEG, beyin hücrelerinde elektriksel potansiyel değişikliklerini ölçmeyi sağlayan invaziv olmayan yöntemlerden biridir [9]. EEG, birkaç santimetrelik kortikal doku boyunca uzanan milyonlarca nöronun ortak aktivitesini yansıtmaktadır [10]. EEG sistemlerinin tıp alanında uzun zamandır hastane ve laboratuvarlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [11]. Ancak son yıllarda teknolojideki

*Yazışılan yazar/Corresponding author

gelişmeler doğrultusunda daha düşük maliyetli ve mobil EEG cihazlarının geliştirilmesi ile son kullanıcılar tarafından da erişilebilir hale gelen bu teknolojinin laboratuvarların dışında da sadece engelli bireyler tarafından değil engeli olmayan bireyler tarafından da kullanılması mümkün hale gelmiştir [12]. Kullanım alanları arasında eğlence [13], ticari [14] ya da duygu tanıma [15] uygulamaları yer almaktadır. Günümüzde bu amaçla geliştirilmiş cihazlardan bazıları BioSemi Active Two (BIOSEMI) [16], Emotiv EPOC (EMOTIV) [17], B-Alert X10 (Advanced Brain Monitoring), NeuroSky MindWave (NeuroSky Body and Mind. Quantified)'dir [18]. Bu cihazların sahip oldukları elektrot sayıları 1 ile 256 arasında değişmekte ve elektrot sayıları arttıkça duyarlılıkları artarken maliyetleri de artış göstermektedir. BBA alanındaki çalışmaların pek çoğu veri toplama ve sinyal işleme [19],[20], BBA alanındaki teorik temeller, kavramsal uygulamalar veya yeni prototipler geliştirme [21],[22] gibi konulara odaklanmıştır. Bu konulardaki çalışmalar güvenilir BBA'ların sağlanması için oldukça önemli olsalar da bu uygulamaların ya da uygulamalar için kullanılan cihazların kullanılabilirlik ve kullanıcı deneyimi konularına odaklanan çalışma sayısı daha azdır [23]. Diğer tüm bilgisayar ara yüzlerinde olduğu gibi kullanıcının ihtiyaçlarını karşılamayan, kullanılabilir olmayan ya da iyi kullanıcı deneyimine sahip olmayan ürünler kullanıcı kaybına ya da ürün ile ilgili olumsuz algıların oluşmasına yol açacaktır [1].

Bu çalışma kapsamında piyasada düşük maliyetli olarak son kullanıcılar tarafından erişimi kolay olan NeuroSky MindWave ve Emotiv EPOC EEG cihazlarının dikkat ve rahatlama gerektiren görevlerde karşılaştırılarak kullanılabilirlik ve kullanıcı deneyimi değerlendirmesinin yapılması hedeflenmiştir. Önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada cihazlardan elde edilen çıktıların değerlendirilmesinin yanı sıra katılımcıların bu cihazlar ile etkileşimleri öncesi, sırası ve sonrasında hissettikleri duygu durumları elde edilerek kullanıcı deneyimi değerlendirmesi de gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarının düşük maliyetli EEG başlıklar ile sağlanan BBA etkileşiminin kullanıcılarda oluşturduğu deneyim ve kullanılabilirlik problemlerinin belirlenmesi ve bu tür cihazların kullanım potansiyelinin ortaya konulması gibi konularda katkı sağlayacağı ve etkileşim tasarımcılarına yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

1.1 İlgili çalışmalar

Özellikle düşük maliyetli EEG cihazlarının son kullanıcı uygulamalarında da kullanımının artması ile bu cihazların kullanılabilirliği ya da kullanıcı deneyimini değerlendirmeye yönelik bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar değerlendirme kapsamına alınan EEG cihazları, cihazların özellikleri, çalışmadaki katılımcı sayısı, gerçekleştirilen değerlendirmenin amaçları, değerlendirme için kullanılan görev türleri, veri toplama araçları ve elde edilen bulgular doğrultusunda Tablo 1'de özetlenmektedir.

NeuroSky MindWave EEG başlığının kullanılabilirliğinin değerlendirildiği ilk çalışmada [24] elektrotların kafa derisine yerleştirmenin zorluğundan, pil ve sinyallerin zayıflamasından dolayı sorunlar belirtilmesine rağmen Emotiv EPOC ile yapılan karşılaştırmada kurulum ve kullanım kolaylığından [25] dolayı daha fazla tercih edildiği görülmüştür. Bununla birlikte Emotiv EPOC EEG başlığının kurulum sonrasında performansının daha iyi ve daha konforlu [12],[23],[25] olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca Emotiv EPOC EEG başlığını bilişsel yük gerektiren görevlerde daha iyi sonuçlar [25] verse de bu tür görevlerde her iki EEG başlığının da kullanımının zorlukları [12] olduğu raporlanmıştır. NeuroSky Mindwave ve Emotiv EPOC EEG başlıklarının yanı sıra yine son kullanıcılar tarafından uygulamalarda kullanılan birçok EEG başlığı bulunmaktadır. Birden fazla EEG başlığının kullanılabilirlik değerlendirmesinin yapıldığı çalışmalar incelendiğinde elde edilen bulgular şu şekilde özetlenmiştir. Katılımcıların EEG başlıkların kullanımında estetikten ziyade konfora, rahat ve kullanım kolaylığına önem verdiği [26] bununla birlikte estetik bakımdan Emotiv EPOC EEG başlığını [27] tercih ettikleri görülmüştür. Kullanım kolaylığı ve konfor bakımından incelendiğinde, B-Alert [28], Active Two [27], g.SAHARA [27] ve InteraxonMuse [29] EEG başlıklarının tercih edildiği raporlanmıştır. Kablolu [30] ve pim elektrotlara sahip ağır EEG başlıklarının [26] kullanım esnasında rahatsızlık verdiği raporlanan bir diğer bulgulardandır. Daha konforlu elektrotlar üretmek amacı ile var olan standart elektrotlarla yapılan çalışmalarda C-elektrotlar [31], kıl sensörden oluşan kuru elektrotlar [32] ve diğer standart ıslak ve kuru elektrotlar (altın kaplamalı 3 tip; tek pimli, çoklu pimli ve katı jel) [33] karşılaştırılmıştır. Geliştirilen C-elektrotların ve kıl sensörlerden oluşan elektrotların standart elektrotlarla aynı [31] veya daha yüksek [32] kalitede sinyaller ürettiği ve daha konforlu oldukları gözlemlenmiştir. Kuru elektrotların kurulum süresini azalttığı [32],[33] ve konforu arttırdığı [33] raporlamıştır.

2 Yöntem

Bu çalışma kapsamında düşük maliyetli EEG başlıklarından NeuroSky MindWave ve Emotiv EPOC EEG cihazlarından dikkat ve rahatlama görevleri esnasında elde edilen verilerin değerlendirilmesinin yanı sıra bu cihazların kullanılabilirliklerinin ve kullanıcı deneyimlerinin değerlendirme ve karşılaştırması için bir kullanıcı çalışması gerçekleştirilmektedir. Değerlendirme amacıyla cihazlar ile kullanıcıların rahatlama ve dikkat ölçümlerine odaklanılarak katılımcılara bu iki performans ölçütünü aktif edecek iki farklı görev verilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda da aşağıdaki araştırma sorularına yanıtlar aranmaktadır.

1. Belirlenen dikkat ve rahatlama görevlerinde hangi EEG başlığı daha doğru sonuçlar vermektedir?
2. Kullanıcıların yaşadığı kullanıcı deneyimi sırasında duygu durumları ne şekilde etkilenmektedir?
3. Cihazların kullanımı sırasında karşılaşılan kullanılabilirlik problemleri nelerdir?

2.1 Katılımcılar

Çalışmaya, yaş ortalaması 25.5 olan 5 kadın (K), 7 erkek (E) toplam 12 katılımcı dâhil olmuştur. Katılımcılar herhangi bir nörolojik rahatsızlığı olmayan sağlıklı bireylerdir. Ayrıca çalışmaya dâhil olan katılımcıların tümü çalışma kapsamında kullanılan EEG cihazlarının kullanımı ile ilgili deneyimsizdir. Katılımcılara ait demografik bilgiler Tablo 2'de özetlenmektedir.

2.2 Kullanıcı testi prosedürü

Kullanıcı çalışması sırasında uygulanan prosedür Şekil 1'de gösterilen akış şeması ile özetlenmektedir. Bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için çalışma öncesinde Kocaeli Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulu'na başvurularak çalışmada kullanılan prosedürler ve veri toplama araçları ile ilgili bilimsel araştırma ve yayın etiği açısından bir sakınca olmadığına dair 10017888-903.99 No.lu etik kurul onayı alınmıştır.

Tablo 1. İlgili çalışmalar.

Table 1. Related works.

Çalışma	Cihaz	Cihaz Özellikleri	Katılımcı Sayısı	Çalışmadaki Değerlendirmenin Amacı	Görev Türü	Veri toplama Aracı	Bulgular
[24]	NeuroSky MindBuilder geliştirici başlığı	1 kuru elektrot	40 katılımcı	Kullanılabilirlik	Second Life oyunu içerisinde bilişim alanında hazırlanmış on sorudan oluşan bir değerlendirme alıştırması	Dikkat Eksikliği ve Hiperaktivite Bozukluğu (DEHB) testi ve kullanılabilirlik anketi	Pillerin zayıflaması ile sinyallerin zayıflaması gibi cihazla ilgili teknik sorunlar ile kullanıcıların kafa büyüklüğü ve saç türüyle ilişkili cihazın giyilmesine dayalı bazı kullanılabilirlik problemleri raporlanmaktadır.
[25]	Emotiv EPOC ve NeuroSky MindWave EEG	14 ıslak; 1 kuru	10 katılımcı	Kullanılabilirlik değerlendirmesi	İki oturumda ayrı ayrı yüksek ve düşük bilişsel yük gerektiren 3-geri hafıza testi	NASA-TLX ölçeği	Bilişsel yükleri ölçmek için Emotiv EPOC EEG başlığının NeuroSky MindWave EEG başlığından daha iyi sonuçlar verebileceğini gözlemlemiştir. Bunun yanı sıra NeuroSky MindWave tek bir kuru elektrota sahip olduğu için daha kullanıcı dostu, kurulumu ve bakımının daha kolay olduğu elde edilen sonuçlar arasındadır.
[12]	Emotiv EPOC ve NeuroSky MindWave EEG	14 ıslak; 1 kuru	10 katılımcı	Kullanılabilirlik değerlendirmesi	Dikkat (cebirsel bir ifadenin zihinden çözümü), rahatlama (dinlenme anı) ve göz kırpma değerlerini toplamak için belirli görevler verilmiştir.	Belirtilmemiştir.	Kontrol görevleri için bu cihazların kullanımının zor olabileceğini raporlanmıştır. Göz kırpma görevinde ise NeuroSky'ın%50, Emotiv EPOC başlığının ise %75'e varan doğruluğa vardığını belirtilmiştir.
[23]	Emotiv EPOC ve NeuroSky MindWave	14 ıslak; 1 kuru	13 katılımcı (11 katılımcı deneyleri tamamlayabildi.)	Kullanılabilirlik değerlendirmesi	Pong, Tetris ve SpadeA oyunları	Katılımcılara cihazın genel konforunu (çok rahatsız edici, rahatsız edici, kayıtsız, rahat ve çok rahat), değerlendirmeleri için bir kullanılabilirlik anketi uygulanmıştır.	NeuroSky MindWave cihazının hazırlanma süresinin daha kısa olduğu için çok katılımcılı çalışmalarda kullanımının daha uygun olacağı öngörülmüştür. Bunun yanı sıra kurulum aşamasından sonra kullanım esnasında Emotiv EPOC EEG başlığının sinyal kalitesinin diğer cihaza oranla daha doğru ve kesintisiz olduğu ve daha konforlu olduğu raporlanmıştır.
[26]	NeuroSky MindCap, Emotiv EPOC, Mindo Jellyfish, Mindo Trilobite, BRI BR8+, g.tec g.SAHARA, g.tec g.LADYbird	1 kuru; 14 ıslak; 4 köpük bazlı; 32 (3 köpük bazlı, 29 yaylı pim); 8 (2 köpük bazlı, 6 yaylı pim); 16 pim elektrot; 16 jel bazlı	24 katılımcı	Kullanılabilirlik değerlendirmesi	1 dakika gözler açıkken, 1 dakika gözler kapalı iken ölçümler yapılmıştır. Aynı zamanda aynadaki görünümlerini puanlamaları istenmiştir.	19 sorudan oluşan TA-EG anketi kullanılmıştır.	Pim elektrotların sert ve ağır EEG başlıkları ile birleştiğinde kullanışlılığın en düşük olduğu ve kullanıcıların konfora estetikten daha fazla önem verdiği raporlanmıştır.
[27]	g.tec g.SAHARA, Emotiv EPOC, BioSemi ActiveTwo	8 kuru; 14 ıslak; 32 jel	13 katılımcı	Kullanılabilirlik değerlendirmesi	P300 tabanlı bir BBA uygulaması	Kullanılabilirlik anketleri	ActiveTwo ve g.Sahara'nın en konforlu başlıklar olduğu, ActiveTwo'nun kurulum süresinin en yüksek olduğu ve estetik yönünden en çok Emotiv başlığının tercih edildiği elde edilen bulgulardır. Genel olarak ise katılımcıların en çok Emotiv başlığını kullanmaktan memnun oldukları raporlanmıştır.
[28]	Emotiv EPOC, Advanced Brain Monitoring BAlert X10, QUASARHMS ve BioSemi ActiveTwo	Islak, 14; jel, 9; kuru, 9; jel, 64	16 katılımcı (12 katılımcı deneyleri tamamlamıştır.)	Kullanılabilirlik değerlendirmesi	7 bilişsel görev verilmiştir. Bunlar; Radyo frekansları yapay olan ve olmayan görsel işleme görevleri, iki zorluk seviyesine sahip çalışma belleği görevleri (N-geri), hata izleme görevi, göz kırpma ve çene sıkma gibi kasları çalıştıran görevler.	Kullanılabilirlik anketi	Bulgular sonucunda B-Alert'in kullanımının daha kolay olduğu ve diğer başlıklara oranla daha konforlu olduğu raporlanmıştır.
[29]	Emotiv Insight ve InteraxonMuse 2014	5 kuru; 4 kuru elektrot	10 katılımcı (Drone kontrol testi); 6 katılımcı (EEG başlıklarının genel kullanılabilirlik ve performans testi)	Kullanılabilirlik ve doğruluk değerlendirmesi	Açık Konsantrasyon Deneyi, Örtülü Konsantrasyon Deneyi; dikkatsizlik, konsantre olma ve dinlenme.	Kullanılabilirlik testi	SVM ve Muse kulaklığı ile denetimli öğrenmenin daha iyi performans (% 70 civarında) ile sonuçlandığını ve Muse' un drone kontrolünde kullanılabilirliğinin daha iyi olduğu raporlanmıştır.

Tablo 1. Devamı.

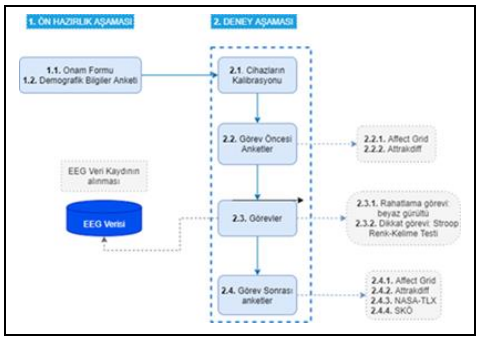
Table 1. Continued.

Çalışma	Cihaz	Cihaz Özellikleri	Katılımcı Sayısı	Çalışmadaki Değerlendirmenin Amacı	Görev Türü	Veri toplama Aracı	Bulgular
[30]	g.tec g.SAHARA, Emotiv EPOC, Cognionic Dry System, ANT Neuro asalab, Brain Products actiCAP, BioSemi ActiveTwo ve Cognionics Wet System	32 kuru; 14 ıslak; 64 kuru; 128 jel; 64 jel; 128 jel; 64 jel.	Deneylerin bazıları 4 katılımcı; bazıları ise 9 katılımcı ile gerçekleştirilmiştir.	Kullanılabilirlik değerlendirmesi	Belirtilmemiştir.	Kullanılabilirlik anketi ve gözlemler	Genel olarak ANT ve actiCAP'ın rahatsızlığa neden olduğu ve kablolarından dolayı hareketi kısıtladığı gözlemlenmiştir.
[31]	Yeni geliştirilmiş elektrotlar ve standart EEG elektrot kapları	Standart elektrotlar ve C-elektrotlar	6 katılımcı	Daha konforlu EEG elektrotları üretmek	Birinci görev; dinlenme. İkinci görev: her 3-5 sn.de bir sağ işaret parmağı ile düğmeye basmak. Son görev: başparmak seğirmesi üreten kare dalga akımı darbeleri	4 soruluk bir kullanılabilirlik anketi ile veriler toplanmıştır.	Deneylerin sonucunda standart EEG elektrotları ve C-elektrotlarından alınan sinyaller arasında kalite farkı olmadığı, C-elektrotların 9 saate kadar bulundukları konumu koruyarak en iyi taşıma konforu sağladığı ve katılımcılara dokunma hissi vermediği raporlanmıştır.
[32]	EEG başlıkları için yeni geliştirilmiş kuru elektrotlar	Kıl sensörlerden oluşan kuru elektrotlar	8 katılımcı (iş arkadaşı)	Daha konforlu EEG elektrotları üretmek	Birinci görev; karşıya bakışları sabitleme ve sonra gözleri kapatma. İkinci görev: N100 İşitsel Uyarılmış Potansiyel uyaranları ile veri toplama. Son olarak işitsel P300 uyaranı ile veri toplama.	Belirtilmemiş.	Kıl sensörleri, en az 7 Hz ila 44 Hz arasında jel bazlı elektrotlardan daha iyi bir sinyal ürettiği ve uzun süreli kullanımlarda diğer elektrotlardan daha konforlu olduğu elde edilen önemli bulgular arasındadır.
[33]	Standart EEG kapları	Kuru elektrotlar (üç tip altın kaplamalı tek pimli, çoklu pimler ve katı jel) ve ıslak elektrotlar	12 katılımcı	Kullanılabilirlik değerlendirmesi	3 görev verilmiştir. Birincisi 1 dakika gözleri kapatma, ikincisi 1 dakika gözü açık tutma, son olarak 3 dakikalık iki matematik sorusu çözmek.	Cihazın konforunu test etmek için 0-10 arası puanlamanın yapıldığı Görsel Analog Skala (VAS) kullanılmıştır. Ayrıca elektrotların montaj süreleri tutulmuştur.	Kuru elektrotların montaj süresini önemli ölçüde azalttığı ve konforu artırdığını gözlemlenmiştir.

Tablo 2. Katılımcılara ait demografik bilgiler.

Table 2. Demographic information of the participants.

Katılımcı Numarası	Cinsiyet	Yaş	Eğitim Durumu	Nörolojik Hastalık	Cihaz Kullanım Deneyimi
K1	E	25	Yüksek Lisans	Yok	Yok
K2	E	30	Doktora	Yok	Yok
K3	E	30	Yüksek Lisans	Yok	Yok
K4	K	26	Lisans	Yok	Yok
K5	K	29	Yüksek Lisans	Yok	Yok
K6	E	28	Lisans	Yok	Yok
K7	K	28	Lisans	Yok	Yok
K8	E	19	Lisans	Yok	Yok
K9	E	22	Lisans	Yok	Yok
K10	E	20	Lisans	Yok	Yok
K11	K	27	Lisans	Yok	Yok
K12	K	22	Lisans	Yok	Yok



Şekil 1. Deney akış şeması.

Figure 1. Flow chart of experiment.

Kullanıcı test prosedürü ön hazırlık ve deney aşaması olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Kullanıcı testleri değerlendirmeye alınan iki EEG cihazı için iki oturumda gerçekleştirilmektedir. Oturumlar arasında katılımcılara dinlenmeleri için beşer dakika verilmektedir. Katılımcıların deney sırasında kullanacakları EEG başlıklarının ve gerçekleştirecekleri görevlerin sırası rastgele olarak atanmaktadır ve belirlenen adımlar her iki cihazla gerçekleştirilen görevler için de uygulanmaktadır. Görevlere ait katılımcıların EEG verileri de kayıt altına alınmaktadır. Ayrıca kalibrasyon aşaması sırasında EEG başlığından veri alımı gerçekleşip gerçekleşmediği Emotiv EPOC cihazı için EmotivPro, NeuroSky MindWave cihazı için Brainwave Visualizer 2.0 ara yüzleri ile test edilmektedir.

1. Ön hazırlık aşaması

   1.1. Katılımcılara kullanıcı testleri boyunca bir araştırmacı eşlik etmektedir. Katılımcılardan deneye başlamadan önce çalışmaya gönüllü katıldıklarına ve bilgilerinin gizli tutulacağına dair içerisinde gerçekleştirilen kullanıcı testi hakkında bilgi de sunulan Gönüllü Katılımcı Onam Formu'nu okuyup imzalamaları istenmektedir.

   1.2. Bu aşamada katılımcılardan demografik bilgilerine ait sorular içeren Demografik Bilgi Anketini doldurmaları istenmektedir.

2. Deney aşaması

   2.1. *Cihazların kalibrasyonu*: Katılımcılara her bir oturumda ilk olarak kullanılacak olan EEG başlığı tanıtılmaktadır. Daha sonra EEG başlığı katılımcının kafasına yerleştirilmekte ve geçen kalibrasyon süresi kayıt altına alınmaktadır. Aynı zamanda araştırmacı tarafından katılımcılar kalibrasyon süresi boyunca gözlemlenmektedirler.

   2.2. *Görev öncesi anketler:* Kalibrasyon aşamasından sonra ve deneye başlamadan önce katılımcıların cihazları kullanım öncesinde içinde bulundukları duygu durumlarını tespit ederek kullanıcı deneyimlerini değerlendirmek için Affect Grid ölçeği [34] ile AttrakDiff anketini [35] yanıtlamaları istenmektedir.

   2.3. *Görevler:* Katılımcılara deney sırasında rahatlama/meditasyon ve dikkat ölçümlerini oluşturacak iki farklı görev verilmekte ve görevler arası 3 dakika dinlenmeleri istenmektedir.

      2.3.1. *Birinci görev - rahatlama/meditasyon:* Bu görev sırasında katılımcılardan gözlerini kapatıp rahatlamaları istenmektedir. Katılımcılara bu sırada rahatlamalarını sağlamak için beyaz gürültü (okyanus dalgalarının sesi) dinletilmektedir.

      2.3.2. *İkinci görev - dikkat:* Katılımcıların dikkat verilerini elde etmek için Stroop testi uygulanmaktadır. Bu test kapsamında katılımcılara ekrana odaklanmaları söylenerek ekrana yansıtılan renklerin neler olduğunu sesli ifade etmeleri istenmektedir.

   2.4. *Görev sonrası anketler:* Katılımcıların kullanım sonrası içinde bulundukları duygu durumlarını tespit ederek kullanıcı deneyimlerini değerlendirmek için Affect Grid ölçeği ile AttrakDiff anketini yeniden yanıtlamaları istenmektedir. Ayrıca cihazlara ait kullanılabilirlik deneyimlerin belirlemek için de NASA-TLX [36] ve Sistem Kullanılabilirlik ölçeğini (SKÖ) [37] yanıtlamaları istenmektedir.

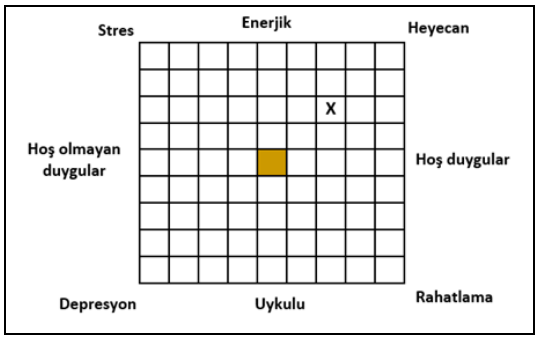
2.3 Veri toplama araçları

2.3.1 Anketler

Çalışma kapsamında araştırma sorularına yönelik olarak veri toplamak amacıyla 5 farklı anket kullanılmaktadır. Öncelikle katılımcılar ile ilgili genel bilgileri elde etmek için Kullanıcı Demografik Bilgi anketi, deneyler sırasında ise katılımcıların kullanım öncesi ve sonrasında kullanıcı deneyimlerini tespit edebilmek için Affect Grid ölçeği ve AttrakDiff anketi, son olarak kullanılabilirlik değerlendirmelerini elde edebilmek için NASA-TLX ve Sistem Kullanılabilirlik ölçeği uygulanmaktadır.

Araştırmacılar tarafından çalışmaya dâhil olan katılımcıların demografik dağılımını belirlemek amacıyla oluşturulan demografik bilgiler anketinde 5 adet soru bulunmaktadır. Bu sorular cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi, sağlık durumu ve EEG başlıkları kullanım deneyimi ile ilgilidir.

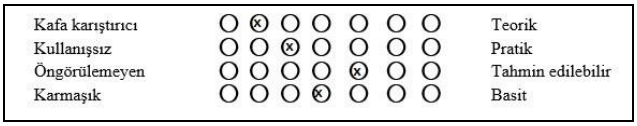
Affect Grid [34] ölçeği kullanım öncesi, esnası veya sonrasında katılımcının içinde bulunduğu duygu durumunu belirleyebilmek için oluşturulmuş tek maddelik bir ölçektir. Şekil 2'de görüldüğü gibi 9x9'luk bir matristen oluşan ölçekte merkezdeki renkli kutu nötr duyguları ifade etmektedir. Dikey boyut uyarılmayı temsil ederken, yatay boyut duyguları temsil etmektedir. Yatay eksende sağa doğru gittikçe hoş duygular, sola doğru gittikçe hoş olmayan duyguların derecesi artmaktadır. Dikey eksende ise yukarıya doğru gittikçe duygulardan bağımsız kişinin uyanıklık (enerjik olma) derecesi ile artmaktadır, katılımcı çevresinde olup bitenin oldukça farkındadır, aşağı doğru ilerledikçe katılımcının uyku hali artmaktadır. Bu bilgiler ışığında katılımcı, içinde bulunduğu duygu durumunu en iyi temsil edecek bir hücreyi "X" ile işaretlemesi gerekmektedir. Her bir hücre yatay ve dikey boyutta 1 ila 9 arası değer almaktadır. Ölçeğin değerlendirmesinde, ilgili kutucuğa karşılık gelen değerler aracılığıyla yapılmaktadır.



Şekil 2. Affect Grid ölçeği.

Figure 2. Affect Grid scale.

AttrakDiff [35] anketi etkileşimli ürünlerin hedonik (zevk verici) ve pragmatik (faydacı) özelliklerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ürünlerin kullanımından önce veya sonra kullanılmaktadır. Ayrıca bir ürünün uzun süre kullanımından sonra değerlendirmek için de kullanıma uygun bir ankettir. Şekil 3'te bu çalışmada da kullanılan 10 maddelik kısa versiyonunda [38] bulunan birkaç madde örnek olarak sunulmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi maddelerin iki ucunda kafa karıştırıcı-teorik, kullanışsız-pratik gibi zıt ifadeler yer almaktadır. Katılımcıların ürün hakkındaki düşüncelerini bu zıt ifadeler arasında düşüncelerine uygun bir tercih yaparak işaretlemeleri gerekmektedir. Anket verilerinin yorumlanabilmesi için zıt iki ifade arasında bulunan toplam 7 halka; $-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$ olacak şekilde puanlanarak ilgili maddeye verilen yanıtların toplam puanı elde edilmektedir. Elde edilen puana göre test edilen sistem için uygun ifade belirlenmektedir.



Şekil 3. AttrakDiff anketinin bazı maddeleri.

Figure 3. A few items of the AttrakDiff questionnaire.

NASA zihinsel iş yükü (NASA TLX-Task Load Index [36] anketi, bir eylemin iş yükünü zihinsel talep, fiziksel talep, zamansal talep, performans, çaba ve bıkkınlık seviyesi şeklinde 6 faktöre göre ölçmekte ve değerlendirmektedir. Maddelerin ilk üçünde konu ile ilgili değerlendirmeler yapılırken diğerlerinde ise gerçekleştirilen eylemle ilgili değerlendirmeler yapılmaktadır. Maddelerin her biri 0 (en düşük) ila 20 (en yüksek) arasında değerler almaktadır. Değerlendirme ağırlıklar ve puanlamalar

olmak üzere iki aşamada yapılmaktadır. Ağırlıklandırılmış puanlar 0 ila 100 arasında değer almaktadır.

Sistem Kullanılabilirlik ölçeği (SKÖ) [37] sistemlerin veya ara yüzlerin kullanılabilirliğini değerlendirmek için geliştirilmiş 10 maddeden oluşan bir kullanılabilirlik testidir. Likert ölçeği ile oluşturulan maddeler 1-5 (1: Kesinlikle Katılmıyorum, 2: Katılmıyorum, 3: Kararsızım, 4: Katılıyorum, 5: Kesinlikle Katılıyorum) arası değerler almaktadır. Tek sayı numaralı maddelerde bulunan ifadeler olumlu iken madde numarası çift olanlar olumsuz ifadelerden oluşmaktadır. Sistemin veya ara yüzün kullanımından sonra uygulanan bu ölçek ile 0-100 arası bir kullanılabilirlik skoru hesaplanmaktadır. Bu skor sistemin etkinlik, verimlilik ve genel kullanım kolaylığı açısından kullanılabilirlik performansını temsil etmektedir. Ortalama değeri 68 olan SKÖ skoru; > 80,3: A (Mükemmel), 68-80,3: B (İyi), 68: C (Makbul), 51-68: D (Zayıf), <51: F (Berbat) olacak şekilde 5 farklı derece ile yorumlanır.

2.3.2 Görevler

Deney esnasında katılımcılara dikkat verisi elde etmeye yönelik olarak Stroop renk-kelime testi görevi verilmiş, rahatlama verisi elde etmek için de katılımcılara müzik dinletilerek rahatlamaları istenmiştir. EEG başlıklarının kullanımı ile verilen görevlerin sırası karşılıklı dengelemenin sağlanması için her bir katılımcıya rastgele sırayla atanması sağlanmıştır.

1. Görev- dikkat: Stroop renk-kelime testi

Katılımcıların dikkat verisini elde etme amacıyla önceki pek çok çalışmada [39],[40] da kullanılan yöntemlerden biri olan Stroop testi [41] uygulanmıştır. Stroop testinin tercih edilme nedeni, görev esnasında yüksek bilişsel yüke neden olmasıdır. Deney sırasında katılımcılara beyaz bir ekranda her biri 3 saniye olmak üzere 1 dk. boyunca Şekil 4'te görülen örnekler benzeri toplam 20 kelime gösterilmektedir. Katılımcılardan kelimeyi gördükleri an kelimenin rengini söylemeleri istenmektedir.



Şekil 4. Stroop renk ve kelime testinden birkaç örnek.

Figure 4. Examples of Stroop color-word test.

2. Görev- rahatlama: müzik dinleme

Katılımcıların rahatlama verisini elde etmek için verilen ikinci görevde gözlerini kapatıp 4 dakika boyunca beyaz gürültü (okyanus dalgalarının rahatlatıcı sesi) [40] dinlemeleri istenmiştir. Katılımcılara dinletilen toplam 4 dakikalık müzik kaydının ilk iki dakikasında katılımcının rahatlaması sağlanmakta son iki dakikasında ise rahatlamaya ait EEG verilerinin kaydı alınmaktadır.

2.4 Deney için kullanılan donanım/yazılım

Deneyde katılımcıların dikkat ve rahatlama seviyeleri ölçülmektedir. Katılımcılardan doğru ölçümlerin alınması için deney sessiz ve ilgili yazılım/donanım altyapısına sahip Kocaeli Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği İnsan Bilgisayar Etkileşimi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan bilgisayar Windows 8 işletim sistemine sahip, 8 GB RAM, Intel(R) Core(TM) i5-2430M CPU @ 2.40GHz donanıma sahiptir. Deney, düşük maliyetli iki farklı EEG başlığı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu cihazlara ait genel bilgiler Tablo 3'te verilmektedir.

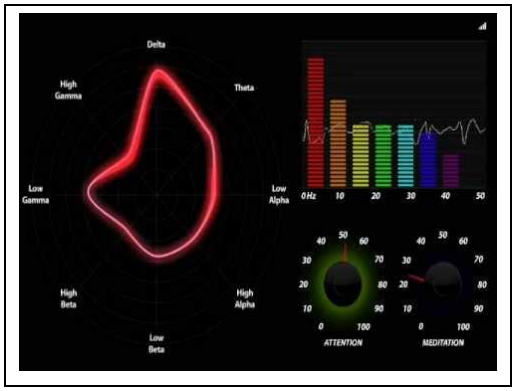
NeuroSky MindWave Mobile 2: Beyin Dalgaları Başlangıç Kit' i tek kanallı bir EEG başlığıdır. Beyinden FP1 kanalı vasıtasıyla 512 Hz örneklem hızı ile EEG sinyallerini (Alfa, Beta, Gama, Teta ve Delta) almaktadır. Bunun yanı sıra dikkat, rahatlama ve göz kırpma anındaki verileri de almaktadır. Bu değerler; minimum 1, maksimum 100 olacak şekilde değişmektedir. Bu verilerin BrainWave Visualizer 2.0 (Şekil 5) ara yüzüne ve yazılım programlarına aktarılması ThinkGear Connector aracılığı ile bluetooth üzerinden gerçekleşmektedir [18].

Emotiv EPOC 14 Channel Mobile EEG 14 kanallı (AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5, FC6, P3, P4, P7, P8, T7, T8, O1, O2) EEG başlığıdır. 2.4 GHz protokolü üzerinden EEG başlığı ve bir USB veri toplama cihazı arasında kablosuz haberleşme ile veriler bilgisayara aktarılmakta ve EmotivPro ara yüzünde (Şekil 6) anlık olarak EEG sinyalleri görüntülenmektedir. EmotivPro ara yüzü ile 128 Hz örneklem hızında alınan Alfa, Beta, Gama, Teta ve Delta beyin dalgalarının yanı sıra performans metrikleri: dikkat/odak, rahatlama, eğlence, stres ve heyecan seviyelerini de görüntülenmektedir. Ayrıca bu beyin dalgaları ve performans metriklerine ait veriler bu ara yüz aracılığı ile bir bulutta depolanmaktadır. Çalışmada kullanılacak olan performans metrikleri 0 ila 100 arasında değerler almaktadır [17].

Tablo 3. EEG başlıklarının genel özellikleri

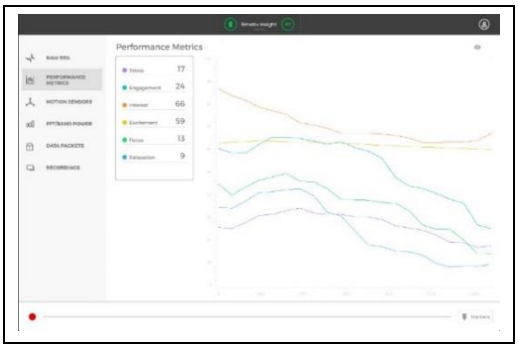
Table 3. Properties of EEG headsets.

Cihaz Adı	EEG Başlığı	Elektrot türü	Elektrot sayısı	Kanal Bilgisi	Ağırlığı	Örneklem Hızı (Hz)	Bağlantı Şekli	Performans Metrikleri
NeuroSky MindWave (NeuroSky Inc, San Jose, California, USA)		Kuru	1	FP1	90 g	512	Kablosuz bluetooth	Dikkat, rahatlama
Emotiv EPOC (Emotiv Inc, San Francisco, CA, USA)		Islak (Tuzlu su bazlı)	14	AF3,F7, F3, C5, T7,P7,O1, O2, P8, T8, FC6,F4, F8, AF4	170 g	128	Kablosuz bluetooth veya USB	Stres, eğlence, ilgi, heyecan, odaklanma ve rahatlama



Şekil 5. BrainWave Visualizer 2.0.

Figure 5. BrainWave Visualizer 2.0.



Şekil 6. EmotivPro performans metrikleri ara yüzü.

Figure 6. Interface of EmotivPro performance metrics.

2.5 Veri analizi

Çalışma kapsamında elde edilecek anket bulgularına tanımlayıcı istatistik yöntemleri ve parametrik olmayan testler uygulanmıştır. Bulgular ortalamalar ve *Z-değeri/p-değeri* kullanılarak raporlanmıştır. Sonuçlar grafiksel olarak sunulmuş, grafiklerin oluşturulmasında ortalama değerler ve ilgili test skorları kullanılmıştır. Dikkat ve rahatlama verileri arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığını ve kullanılan anket ve ölçeklerin görev öncesi/sonrası anlamlı bir farklılık olup olmadığını test etmek için parametrik olmayan Wilcoxon İşaretli Sıra Testi kullanılmıştır.

3 Bulgular

Çalışma kapsamında yapılan kullanıcı testleri sırasında katılımcılardan toplanan EEG verileri ve anket verileri analiz edilerek elde edilen bulgular araştırma soruları doğrultusunda cihazlardan elde edilen çıktıların değerlendirilmesi, kullanıcı deneyimi değerlendirmesi, kullanılabilirlik değerlendirmesi alt başlıkları ile raporlanmaktadır.

3.1 EEG verilerinin değerlendirilmesi

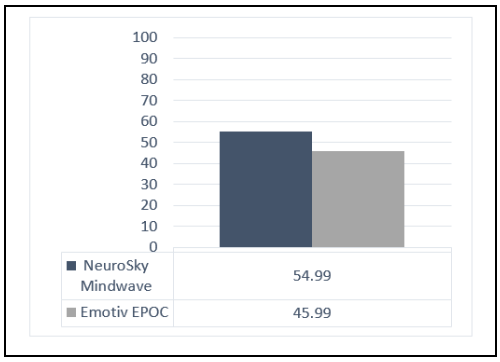
Katılımcılara verilen görevler esnasında Şekil 5 ve 6'daki uygulama ara yüzleri aracılığıyla performans metriklerinin kaydı alınmıştır. NeuroSky MindWave ve Emotiv EPOC EEG başlıkları ile katılımcılardan görevlerden birinde dikkat, diğerinde ise rahatlama değerleri alınmıştır.

3.1.1 Dikkat bulgularına ait bulgular

Her bir EEG başlığı için dikkat değerlerinin ortalaması Şekil 7'de verilmiştir. NeuroSky MindWave EEG başlığı kullanımı sırasında katılımcıların tümünde görülen değerlerin ortalaması 54.99 olarak hesaplanmıştır. Emotiv EEG başlığında ise dikkat görevi esnasında görülen değerlerin ortalaması 45.99 olarak hesaplanmıştır. Her iki EEG başlığından alınan ortalama dikkat verileri arasında anlamlı bir farklılık elde edilememiştir ($Z = -1.490$; $p = 0.136$).

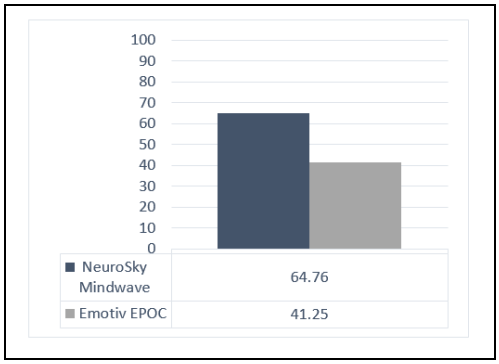
3.1.2 Rahatlama/Meditasyon değerlerine ait bulgular

Her bir EEG başlığı için rahatlama değerlerinin ortalaması Şekil 8'de verilmiştir. NeuroSky MindWave EEG başlığı kullanımı sırasında katılımcıların ortalaması 64.76 olarak hesaplanmıştır. Emotiv EEG başlığında ise rahatlama görevi esnasında görülen değerlerin ortalaması 41.25 olarak hesaplanmıştır. Bu görevde her iki EEG başlığından alınan ortalama rahatlama durumuna ait veriler arasında ise anlamlı bir farklılık elde edilmiştir ($Z = -2.746$; $p = 0.006$). Toplam 10 katılımcıda (K1-K10) NeuroSky MindWave EEG başlığı daha yüksek rahatlama sonuçları elde etmiştir. Dolayısıyla rahatlama gerektiren görevlerde NeuroSky MindWave EEG başlığının kullanımı, Emotiv EPOC'a oranla daha doğru değerler verdiği söylenebilir.



Şekil 7. Ortalama dikkat değerleri.

Figure 7. Mean of attention values.



Şekil 8. Ortalama rahatlama değerleri.

Figure 8. Mean of relaxation values.

3.2 Kullanıcı deneyimi

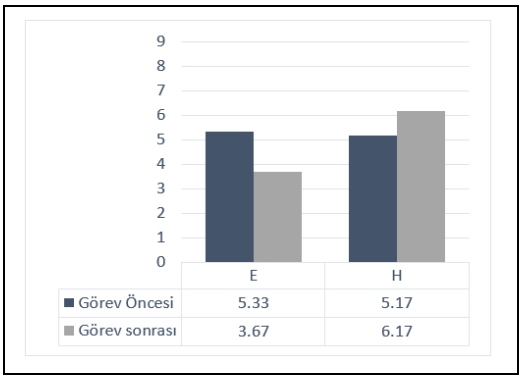
Bu bölümde, kullanıcı deneyimini değerlendirmede kullanılan Affect Grid ölçeği ve AttrakDiff anketine ait bulgular raporlanmıştır.

3.2.1 Affect grid ölçeğine ait bulgular

NeuroSky MindWave EEG başlığı kullanan katılımcıların görev öncesi ve sonrası duygu durumu değerlendirilmesi için uygulanan Affect Grid ölçeğine ait enerjik-uykulu ve hoş-hoş

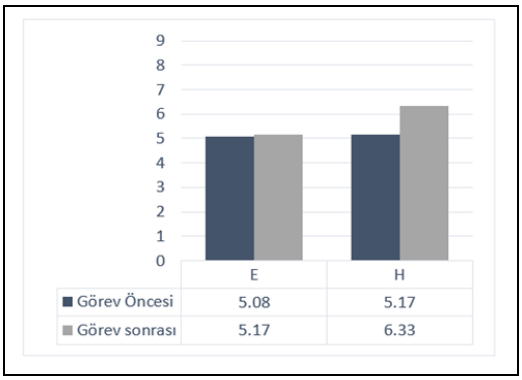
olmayan duygulara sahip olma değerlerinin ortalamaları Şekil 9'da verilmiştir. Enerjik-uykulu olma seviyesi (E) incelendiğinde enerjik olma durumunun görev sonrasında %31.14 azaldığı görülmektedir. Uykulu hissetme halinin de bu oranda artması anlamına gelmektedir. Hoş-hoş olmayan duygulara sahip olma seviyesi (H) incelendiğinde, hoş duygulara sahip olma duygu durumunun %19.34 arttığı görülmektedir.

Emotiv EPOC EEG başlığı kullanan katılımcıların görev öncesi ve sonrası enerjik-uykulu ve hoş-hoş olmayan duygulara ait bulguların ortalamaları Şekil 10'da verilmiştir. Görev sonrası katılımcıların %1.74 oranında uykulu halinin arttığı gözlemlenmektedir. Duygu boyutunda ise sahip olduğu hoş duyguların %22.44 oranında arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 9. Affect Grid ölçeği bulgularına ait ortalama değerler (NeuroSky MindWave).

Figure 9. Mean of Affect Grid scale results (NeuroSky MindWave).



Şekil 10. Affect Grid ölçeği bulgularına ait ortalama değerler (Emotiv EPOC).

Figure 10. Mean of Affect Grid scale results (Emotiv EPOC).

Tablo 4'te her iki EEG başlığı için Affect Grid ölçeğine ait enerjik-uykulu ve hoş-hoş olmayan duygulara sahip olma değerlerine ait test istatistikleri verilmiştir. NeuroSky MindWave EEG başlığı kullanan katılımcıların görev öncesi ve sonrası duygu durumunda anlamlı bir farklılık elde edilememiştir ((Enerjik - uykulu ($Z = 1.724,\ p = 0.085$); hoş - hoş olmayan duygular ($Z = -1.126, p = 0.260$)).

Emotiv EPOC EEG başlığı kullanan katılımcıların görev öncesi ve sonrası duygu durumu değerlendirilmesi için uygulanan Affect Grid ölçeği bulgularına göre de benzer şekilde anlamlı bir farklılık elde edilememiştir. ((Enerjik-uykulu durumu için $Z = -0.154,\ p = 0.878$; *hoş* - hoş olmayan duygular için) $Z = -1.497, p = 0.134$).

Tablo 4. Test istatistikleri.

Table 4. Test statistics.

		Z skoru	*p değeri*
NeuroSky MindWave	*Enerjik olma*	-1.724	0.085
	Hoş duygulara sahip olma	-1.126	0.260
Emotiv EPOC	*Enerjik olma*	-0.154	0.878
	Hoş duygulara sahip olma	-1.497	0.134

3.2.2 AttrakDiff anketine ait bulgular

Katılımcıların çalışmada kullanılan EEG başlıkları hakkındaki düşüncelerini öğrenmek için görev öncesi ve sonrası uygulanan AttrakDiff anketin bulguları incelenmiştir.

Şekil 11'de NeuroSky MindWave EEG başlığı takılı iken görev öncesi ve sonrasına için AttrakDiff anketinin her bir maddesine ait ortalamalar verilmiştir. Ortalamalar incelendiğinde en düşük ortalama görev sonrasında 1.08 ile öngörülemeyen - tahmin edilebilir boyutunda gözlemlenmiştir. Katılımcılar görev sonrasında EEG başlığının daha tahmin edilebilir olduğunu düşünmektedir. En yüksek ortalama ise görev öncesinde 2.42 ile karmaşık-basit boyutunda elde edilmiştir. Katılımcılar görev öncesi EEG başlığının oldukça basit olduğunu düşünürken görev sonrasında biraz karmaşık olabileceğini belirtmiştir. Ankete ait bulguların tümü incelendiğinde kafa karıştırıcı-teorik, kullanışsız-pratik, donuk-cezbedici, pejmürde-zarif, ucuz-değerli, yaratıcı olmayan-yaratıcı, kötü - iyi, çirkin-güzel boyutlarında görev sonrasında görev öncesine göre olumlu bir artış görülmektedir. Katılımcılar görev sonrasında NeuroSky MindWave EEG başlığını daha pratik, cezbedici ve güzel bulmuştur. Ayrıca kullanım sonrasında EEG başlığının daha değerli ve yaratıcı bir başlık olduğunu düşünmektedir. Öngörülemeyen-tahmin edilebilir ve karmaşık-basit boyutlarında ise görev sonrasında öncesine göre bir düşüş görülmektedir. Bu da katılımcıların kullanım sonrasında EEG başlığının daha öngörülemez ve karmaşık bir başlık olduğunu düşündüklerini göstermektedir.

NeuroSky MindWave EEG başlığı kullanan katılımcılara görev öncesi ve sonrası uygulanan AttrakDiff anketine ait veriler incelendiğinde Z skoru -1.073, p değeri 0.283 hesaplanmıştır, dolayısıyla görev öncesi ve sonrasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. 3. ve 4. maddelerde görev sonrasında puanlamaları anlamlı bir fark oluşturmayacak şekilde olumsuz yönde azalırken, diğerlerinin olumlu yönde artmıştır.

Şekil 12'de Emotiv EPOC EEG başlığı takılı iken görev öncesi ve sonrası için AttrakDiff anketi maddelerinin değerlerine ait ortalamalar verilmiştir. Görev öncesi ve sonrasına ait ortalamalar incelendiğinde en düşük ortalama görev öncesinde -0.5 ile karmaşık-basit boyutunda gözlemlenmiştir. Katılımcılar görev öncesinde EEG başlığının oldukça karmaşık olduğunu düşündükleri söylenebilir. Görev sonrasında ise ortalamalar incelendiğinde katılımcıların tarafsız olduğu görülmektedir. En yüksek ortalama ise görev sonrasında 2.08 ile yaratıcı olmayan - yaratıcı boyutunda elde edilmiştir. Katılımcılar görev önce ve sonrasında oldukça yüksek bir ortalama ile Emotiv EPOC EEG başlığının oldukça yaratıcı olduğunu düşünmektedir. Ankete ait bulguların tümü birlikte incelendiğinde ise maddelerin tümünde, görev sonrasında olumlu yönde bir yükselme görülmüştür. Katılımcılar EEG başlığını görev sonrasında daha teorik, pratik, basit, yaratıcı, iyi, güzel ve cezbedici bulmuştur. Ayrıca görev sonrasında EEG başlığının daha değerli ve tahmin edilebilir olduğunu düşündükleri görülmektedir.

Emotiv EPOC EEG başlığı kullanan katılımcılara görev öncesi ve sonrası uygulanan AttrakDiff ölçeğine ait veriler incelendiğinde, Z skoru -2.812 iken p değeri 0.005 olarak hesaplanmış, yani görev öncesi ve sonrasında anlamlı bir fark elde edilmiştir.

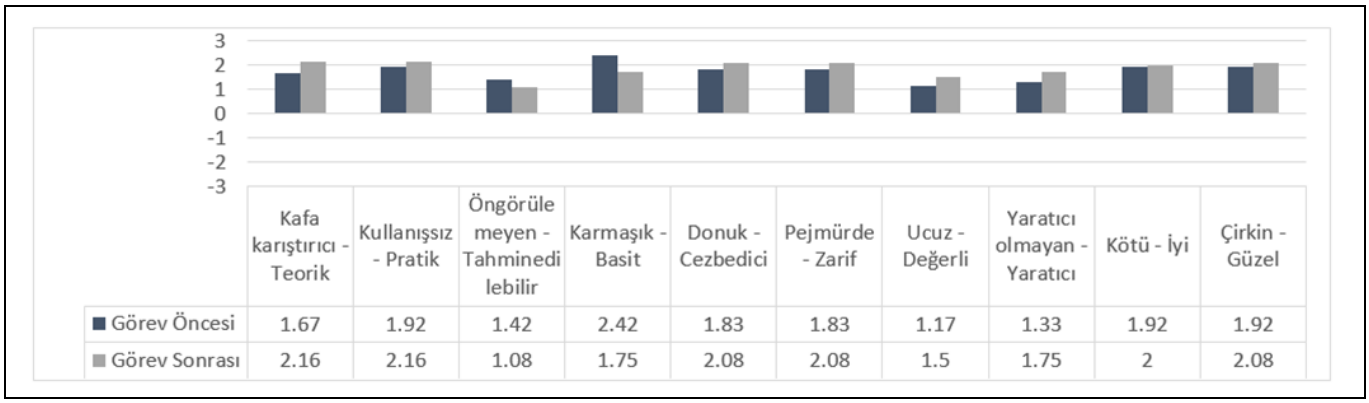
3.3 Kullanılabilirlik

Bu bölümde çalışmada kullanılan cihazların kullanılabilirliğini değerlendirmede kullanılan NASA Zihinsel İş yükü ve SKÖ bulguları raporlanmıştır.

3.3.1 NASA-TLX anketine ait bulgular

Katılımcıların NASA Zihinsel İş Yükü (NASA TLX) anketine ait bulgular Şekil 13'te alt faktör puanlamaları ile verilmiştir.

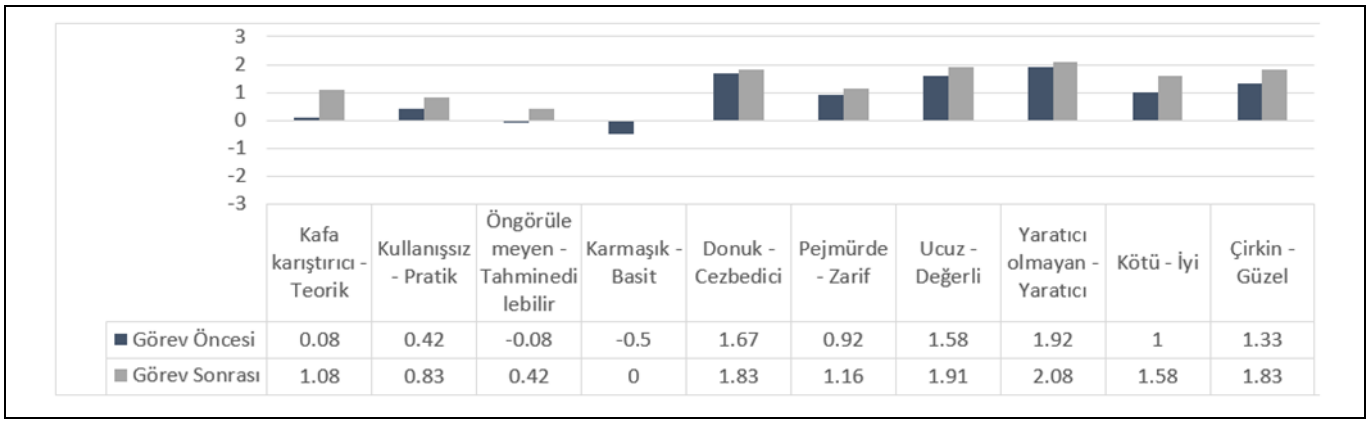
Zihinsel talep alt faktörü bakımından dikkat görevinde her iki EEG başlığı da düşük ve birbirine yakın zihinsel iş yüküne sahip olduğu görülmektedir. Fiziksel talep alt faktörü bakımından zihinsel iş yükü Emotiv EPOC EEG başlığında NeuroSky MindWave EEG başlığına kıyasla daha yüksektir. Bunun da cihazın kalibrasyon süresi ve zorluğu nedeniyle katılımcıları fiziksel olarak daha fazla yorgunluk hissi verdiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



	Kafa karıştırıcı - Teorik	Kullanışsız - Pratik	Öngörülemeyen - Tahminedilebilir	Karmaşık - Basit	Donuk - Cezbedici	Pejmürde - Zarif	Ucuz - Değerli	Yaratıcı olmayan - Yaratıcı	Kötü - İyi	Çirkin - Güzel
Görev Öncesi	1.67	1.92	1.42	2.42	1.83	1.83	1.17	1.33	1.92	1.92
Görev Sonrası	2.16	2.16	1.08	1.75	2.08	2.08	1.5	1.75	2	2.08

Şekil 11. AttrakDiff anketine ait bulguların ortalama değerleri (NeuroSky MindWave).

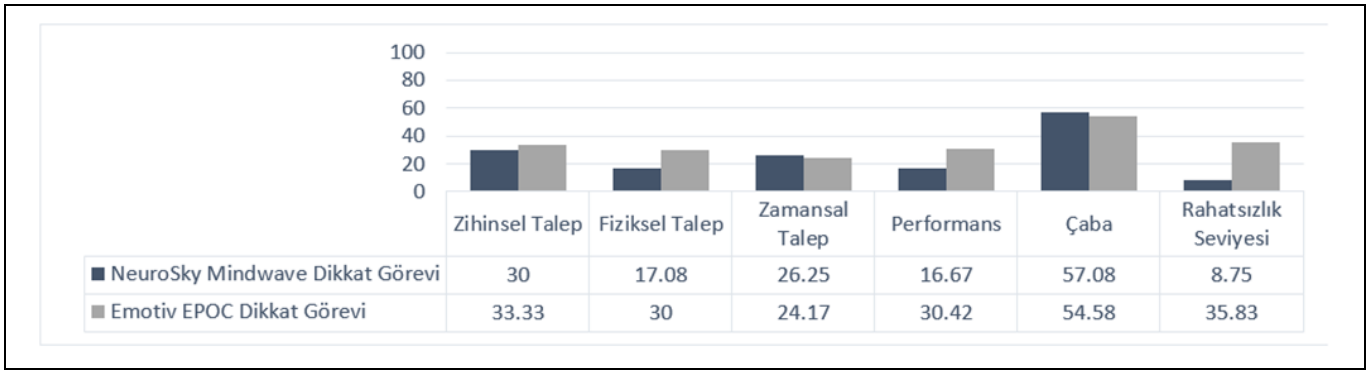
Figure 11. Mean of AttrakDiff questionnaire results (NeuroSky MindWave).



	Kafa karıştırıcı - Teorik	Kullanışsız - Pratik	Öngörülemeyen - Tahminedilebilir	Karmaşık - Basit	Donuk - Cezbedici	Pejmürde - Zarif	Ucuz - Değerli	Yaratıcı olmayan - Yaratıcı	Kötü - İyi	Çirkin - Güzel
Görev Öncesi	0.08	0.42	-0.08	-0.5	1.67	0.92	1.58	1.92	1	1.33
Görev Sonrası	1.08	0.83	0.42	0	1.83	1.16	1.91	2.08	1.58	1.83

Şekil 12. AttrakDiff anketine ait bulguların ortalama değerleri (Emotiv EPOC).

Figure 12. Mean of AttrakDiff questionnaire results (Emotiv EPOC).



	Zihinsel Talep	Fiziksel Talep	Zamansal Talep	Performans	Çaba	Rahatsızlık Seviyesi
NeuroSky Mindwave Dikkat Görevi	30	17.08	26.25	16.67	57.08	8.75
Emotiv EPOC Dikkat Görevi	33.33	30	24.17	30.42	54.58	35.83

Şekil 13. EEG başlıklarına göre alt faktör puanlamaları.

Figure 13. Sub factor scores for each EEG headset.

Zamansal talep alt faktörü bakımından her iki başlıkta da zihinsel iş yükünün birbirine yakın ve düşük olduğu görülmektedir. Bu da katılımcıların dikkat görevini yerine getirirken zaman sıkıntısı çekmedikleri göstermektedir. Performans alt faktörü bakımından zihinsel iş yükü Emotiv EPOC'ta NeuroSky MindWave göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Katılımcılar, dikkat görevde Emotiv EPOC başlığı takılı iken kendi performanslarını daha iyi bulduğu anlamına gelmektedir. Çaba alt faktörü bakımında incelendiğinde diğer faktörlere oranla en yüksek zihinsel iş yükünün bu faktöre olduğu görülmektedir. Her iki başlıkta da yakın değerlere sahip olmasına karşılık, katılımcılar NeuroSky MindWave başlığının daha fazla çaba gerektirdiğini düşünmektedir. Bununla birlikte, Tablo 5'teki verilere bakıldığında çaba alt faktöründe iki EEG başlığı arasında anlamlı farklılık elde edilmiştir ($Z = -2.319, p = 0.020$).

Katılımcılar NeuroSky MindWave EEG başlığı ile görevlerini yerine getirirken daha az çaba harcadıklarını belirtmektedir. Son olarak rahatsızlık seviyesi alt faktörü bakımından incelendiğinde iki cihaz arasında zihinsel iş yükü farkının en fazla burada olduğu görülmektedir. TLX skorları incelendiğinde katılımcıların Emotiv EPOC başlığının daha rahatsız olduğunu düşündükleri görülmektedir. Tablo 5'teki verilere bakıldığında yine anlamlı bir farklılık elde edildiği görülmektedir ($Z = -2.677, p = 0.007$). Katılımcılar NeuroSky MindWave EEG kulaklığının kullanımının oldukça rahat olduğunu, görev esnasında rahatsızlık seviyesinin oldukça düşük olduğunu, güvende hissettiklerini ve cihaz kullanımından memnun olduklarını belirtmektedir.

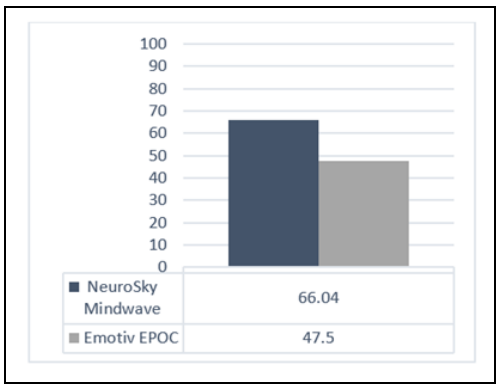
Tablo 5. Test istatistikleri.

Table 5. Test statistics.

	Z skoru	*p değeri*
Zihinsel Talep	-0.509	0.611
Fiziksel Talep	-1.227	0.220
Zamansal Talep	-0.511	0.610
Çaba	-2.319	**0.020**
Performans	-0.509	0.611
Rahatsızlık Seviyesi	-2.677	**0.007**

3.3.2 Sistem kullanılabilirlik ölçeğine ait bulgular

Katılımcıların SKÖ skorlarının ortalamaları alınarak değerlendirilen cihazların SKÖ skorları Şekil 14'te gösterilmiştir. NeuroSky MindWave EEG başlığının SKÖ skoru 66.04 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 14. Her iki EEG başlığı için ortalama SKÖ skoru.

Figure 14. Mean of SUS score for each headset.

D derecesi olarak sınıflanan bu cihazın katılımcılar tarafından kullanılabilirlik performansı zayıf bulunmaktadır. Katılımcı bazlı bakıldığında, 12 katılımcıdan 7'sinin cihazların kullanılabilirliğinden oldukça memnun olduğu görülmektedir. Bununla birlikte 12 katılımcıdan 5'inin, özellikle küçük kafa çapına sahip katılımcıların, cihazda bulunan tek elektrotun tene temas etmesi zorlaştığından kullanılabilirliğini oldukça düşük bulduğu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan Emotiv EPOC EEG kulaklığının SKÖ skoru 47.5 olarak hesaplanmıştır. F derecesi olarak sınıflanan bu cihaz, katılımcılar tarafından kullanılabilirlik performansı olarak çok kötü bulunmaktadır. Katılımcı bazlı bakıldığında cihazın kalibrasyon işlem süresinin SKÖ skorunu oldukça etkilediği görülmektedir. Kalibrasyon süresi kısa süren katılımcılar, cihazın kullanılabilirliğini yüksek bulurken; uzun süren katılımcılar, cihazın kullanılabilirliğini oldukça düşük bulduğu çıkarımı yapılmaktadır.

Tablo 6'da her iki cihazın SKÖ maddelerine ait bulgular raporlanmıştır.

Tablo 6. SKÖ memnuniyet anketi bulguları.

Table 6. Results of system usability scale (SUS).

	Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği **f: katılımcı sayısı*	*NeuroSky Ortalama*	*Katılmıyorum*	*Kararsız*	*Katılıyorum*	*Emotiv EPOC* *Katılmıyorum*	*Kararsız*	*Katılıyorum*	
#	*İfadeler*	*Ort.*	*f*	*f*	*f*	*f*	*f*	*f*	*Ort.*
1	EEG başlığı sıklıkla kullanacağımı düşünüyorum.	3	3	5	4	7	1	4	2.5
2	EEG başlığı gereksiz bir şekilde karmaşık buldum.	1.42	12	0	0	7	1	4	2.83
3	EEG başlığının kolay kullanıldığını düşündüm.	3.75	2	1	9	6	2	4	2.33
4	EEG başlığı için yardıma ihtiyacım olabileceğini düşünüyorum.	2.5	6	4	2	2	1	9	3.83
5	EEG başlığının çeşitli fonksiyonlarını iyi entegre olmuş biçimde buldum.	3.5	1	4	7	2	3	7	3.33
6	EEG başlığı ile ilgili fazla tutarsızlık olduğunu düşündüm.	2.08	9	3	0	9	1	2	2.33
7	Birçok insanın EEG başlığı hızlı bir şekilde kullanabileceğini düşünüyorum.	3.58	2	1	9	8	1	3	2.16
8	EEG başlığının kullanımını çok hantal buldum.	1.92	10	2	0	5	3	4	3
9	EEG başlığı ile kendimi çok güvende hissettim.	3.25	3	2	7	1	6	5	3.33
10	EEG başlığı ile etkileşim içine girmeden önce birçok şeyi öğrenmem gerekiyordu.	2.75	8	0	4	6	2	4	2.67

NeuroSky MindWave EEG başlığına ait her bir maddeye ait ortalamalar incelendiğinde, en yüksek değer "NeuroSky MindWave EEG başlığının kolay kullanıldığını düşündüm." maddesine verilen yanıtlarda gözlemlenmiştir ($\bar{x} = 3.75$). 12 katılımcıdan 9'u NeuroSky MindWave EEG başlığının kolay

kullanılabilir olduğunu düşünmektedir. Ortalamalarda en düşük değer ise 1.42 ile "NeuroSky MindWave EEG başlığı gereksiz bir şekilde karmaşık buldum." maddesinde gözlemlenmiştir. 12 katılımcının tamamının bu düşünceye katılmadıkları, sistemin anlaşılabilir olduğunu düşündükleri görülmektedir. Emotiv EPOC EEG başlığına ait ortalamalar incelendiğinde en yüksek değer "Emotiv EPOC EEG başlığı için yardıma ihtiyacım olabileceğini düşünüyorum." maddesine verilen yanıtlarda gözlemlenmiştir ($\bar{x} = 3.83$). 12 katılımcıdan 9'u Emotiv EPOC EEG başlığını kullanırken yardıma ihtiyacı olabileceğini belirtmiştir. Bu da katılımcıların cihazın kullanımının zor olduğunu düşündüklerini göstermektedir. Ortalamalarda en düşük değer ise 2.16 ile "Birçok insanın Emotiv EPOC EEG başlığı hızlı bir şekilde kullanabileceğini düşünüyorum." maddesinde gözlemlenmiştir. 12 katılımcıdan 8'inin bu düşünceye katılmamakta olduğu ve kullanımının oldukça vakit aldığını düşündüğü görülmektedir.

Son olarak katılımcıların her bir sistem için cevaplamış oldukları SKÖ' nün her bir maddesi arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığı incelenmiştir. Her bir soru için elde edilen ve değerleri Tablo 7'de verilmiştir. Test sonuçlarına göre 2, 3, 4, 7 ve 8. sorularda anlamlı bir farklılık elde edilmiştir (Sırasıyla $Z = 2.388, p = 0.017$; $Z = -2.209, p = 0.027$; $Z = -2.460, p = 0.014$; $Z = -2.579, p = 0.01$; $Z = -2.392, p = 0.017$). Katılımcıların yanıtları incelendiğinde, Emotiv EPOC EEG başlığını karmaşık buldukları ve NeuroSky Mindwave EEG başlığının kullanımının daha kolay olduğunu düşündükleri gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra Emotiv EPOC EEG başlığını birinin yardımı olmadan, hızlı bir şekilde kullanamayacaklarını ve kullanımının çok hantal olduğunu düşünmektedirler.

Tablo 7. SKÖ'ye ait test istatistikleri.

Table 7. Test statistics of SUS.

S: soru	*Z skoru*	*p değeri*
S1	-1.372	0.17
S2	2.388	**0.017**
S3	-2.209	**0.027**
S4	-2.460	**0.014**
S5	-1.00	0.317
S6	-0.736	0.461
S7	-2.579	**0.01**
S8	-2.392	**0.017**
S9	-0.285	0.776
S10	-0.052	0.958

4 Sonuç

Son yıllarda BBA cihazları ve bu cihazlarla gerçekleştirilen uygulamalar ile çalışmalar artsa da bu cihazların kullanılabilirlik ve kullanıcı deneyimini inceleyen çalışmaların sayısı nispeten daha azdır. Bu da geliştirilen sistemlerin hedef kitle tarafından yeterli ilgiyi görmemesine neden olmaktadır [42]. Bu çalışmada da düşük maliyetli NeuroSky MindWave ve Emotiv EPOC EEG başlıklarının dikkat ve rahatlama gerektiren görevlerde performans karşılaştırması yapılmıştır. Bununla birlikte her iki EEG başlığı için görev öncesi ve sonrası kullanılabilirlik ve kullanıcı deneyimi çalışması gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme üç başlık altında yapılmıştır. İlk olarak katılımcılara verilen dikkat ve rahatlama görevleri esnasında alınan EEG verilerine ait bulgular incelenmiştir. Daha sonra kullanıcı deneyimini değerlendirmek için görev öncesi ve sonrası duygu durumu, kullanılan EEG başlıkları hakkında görev öncesi ve sonrası katılımcıların düşünceleri incelenmiştir. Son olarak da görevlerin bilişsel yükü ve sistemin kullanılabilirliğine ait bulgular incelenmiştir.

Önceki çalışmalarda [23],[25] bilişsel yük gerektiren görevlerde Emotiv EPOC EEG başlığının daha iyi sonuçlar verebileceği raporlamıştır. Ancak bu çalışmada elde edilen bulgular incelendiğinde yüksek bilişsel yük oluşturan, dikkat gerektiren görevlerde her iki EEG başlığının da benzer doğrultuda sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra rahatlama gerektiren görevlerde ise NeuroSky MindWave'nin Emotiv EPOC EEG başlığına oranla daha iyi sonuçlar verdiği de [12],[25]' deki çalışmalardan farklı olarak gözlemlenmiştir.

Kullanıcı deneyimi değerlendirmesi göz önünde bulundurulduğunda NeuroSky MindWave EEG başlığının kullanımı sonrasında katılımcılara [24]'te olduğu gibi kullanılabilirlik problemlerinden dolayı yorgunluk verdiği gözlemlenmiştir. Ancak kullanım sonrasında katılımcıların, kullanım öncesine oranla daha fazla hoş duygulara sahip olduğu raporlanmıştır. Bununla birlikte NeuroSky MindWave EEG başlığının kullanımından sonra genel olarak oldukça tahmin edilebilir ve [23]'te belirtildiği gibi basit ve kolay kuruluma sahip bir cihaz olduğunu elde edilen bir diğer bulgulardandır. Ek olarak, katılımcıların görev sonrasında NeuroSky MindWave EEG başlığını daha cezbedici, zarif ve güzel buldukları raporlanmıştır. Emotiv EPOC EEG başlığı kullanımında da katılımcıların enerjik olma durumunda bir düşüş ve hoş duygulara sahip olmasında bir artış görülmektedir. Buradan katılımcıların [23],[27],[30]'da olduğu gibi cihazları kullanmaktan mutlu oldukları ancak cihazlarla etkileşime girdikleri süre boyunca yoruldukları söylenebilir. Emotiv EPOC EEG başlığı için kullanıcı deneyimi değerlendirmelerine bakıldığında, katılımcıların oldukça yaratıcı ve karmaşık bir sistem olduğunu düşündükleri söylenebilmektedir. Ancak yine görev sonrası düşüncelerine bakıldığında görev öncesine oranla daha güzel, zarif ve cezbedici buldukları bulgular arasındadır.

Kullanılabilirlik değerlendirmesi kapsamında görevlerin oluşturduğu iş yükü bakımından incelendiğinde katılımcıların NeuroSky MindWave EEG başlığını, [25],[26],[33]'te olduğu gibi Emotiv EPOC EEG başlığına oranla daha konforlu bulduğu gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra NeuroSky MindWave ile görevleri gerçekleştirirken Emotiv EPOC EEG başlığına oranla daha az çaba harcadıkları raporlanan bulgular arasındadır. Ayrıca zihinsel iş yükü bakımından değerlendirildiğinde her iki cihazın birbirine yakın ve düşük zihinsel iş yüküne sahip olduğu söylenebilmektedir. EEG başlıklarının kullanılabilirliği incelendiğinde ise katılımcıların önceki çalışmada [25]'da olduğu gibi NeuroSky MindWave EEG başlığını kullanırken kendilerini güvende hissettikleri, [23]'te de olduğu gibi kolay kullanımdan dolayı oldukça memnun oldukları ve [25]'te olduğu gibi daha kullanıcı dostu olduğunu düşündükleri gözlemlenmiştir. Emotiv EPOC EEG başlığının kullanımını ise nispeten daha rahatsız buldukları ve kullanım esnasında daha fazla çaba gerektirdiğini düşündükleri görülmektedir. Ek olarak, Emotiv EPOC EEG başlığının kullanımının oldukça hantal olduğu ve uzman birinin yardımı olmadan etkili bir şekilde kullanılamayacağı düşündükleri de raporlanmaktadır.

Emotiv EPOC EEG başlığının her 10 sn.'de bir performans metriği verisi kaydetmesi çalışmanın en önemli kısıtlarından biridir. Görev süreleri 2-4 dk. arası olduğu için EMOTİV EPOC' a ait veri kümesi oldukça dardır. [12],[25] de elde edilen bulgulara göre Emotiv EPOC EEG başlığı dikkat ve rahatlama görevlerinde NeuroSky MindWave oranla daha tercih edilebilir

olduğu çıkarımına karşıt bir sonuç elde edilmesi, bu veri kümesinin oldukça dar olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Gelecek çalışmalarda daha uzun süreli görevler ile daha fazla katılımcıdan EEG verisi toplanarak özellikle Emotiv EPOC EEG başlığından toplanan performans metriklerinin sayısı arttırılabilir. Böylelikle diğer EEG başlıkları ile daha sağlıklı bir karşılaştırma yapılabilir. Bunun yanı sıra göz açıp-kapama ile bir görev daha eklenerek bu görevde her iki EEG başlığının performans karşılaştırması yapılabilir. Örneğin katılımcılara dikkat gerektiren ve göz açıp kapama ile kontrol edebilecekleri bir oyun oynatıldığı esnada EEG verilerinin kaydı alınabilir.

5 Conclusions

Studies on BCI devices and their applications have increased in recent years, but the number of studies examining their usability and user experience of these devices is relatively few. That causes the developed systems not to get enough attention from the target population [42]. In this study, the performance comparison of low-cost EEG headsets, NeuroSky MindWave and Emotiv EPOC, in tasks requiring attention and relaxation was conducted. In addition, user experience evaluation before and after use and usability evaluation was also conducted. The results were reported under three sub-headings. First, the EEG data obtained during the attention and relaxation tasks were examined. Then, in order to evaluate the user experience, the emotional states of participants before and after use were analyzed. Finally, the findings regarding the cognitive load of the tasks as well as the usability of the systems were examined.

Previous studies [23],[25] reported that the Emotiv EPOC EEG header may give better results in tasks requiring attention. However, according to the findings of this study both EEG titles gave similar results in tasks that required high cognitive load and require attention. In addition, it was observed that NeuroSky MindWave gave better results compared to Emotiv EPOC EEG headset in tasks that required relaxation unlike the results of [12],[25].

Considering the findings of the user experience evaluation, it was observed that after using the NeuroSky MindWave EEG headset, it gave users fatigue due to usability problems as in [24]. However, it was reported that users had more pleasant feelings after use than before use. However, the NeuroSky MindWave EEG head was generally quite predictable after use, and it was a simple and easy-to-install device as stated in [23]. In addition, the participants found the NeuroSky MindWave EEG headset more attractive, elegant and beautiful after use. The use of the Emotiv EPOC EEG head also caused a decrease in the energetic state of the users and an increase in pleasant feelings. Based on these, it can be said that the users were happy to use the devices as in [23],[27],[30], but they got tired during when they interacted with the devices. The user experience evaluation findings of Emotiv EPOC EEG headset revealed that the participants thought it was a very creative but complex system. However, after use scores showed that they thought it was more beautiful, elegant and attractive than before use.

Considering the findings of the usability evaluation of the devices, it is revealed that the participants thought that the NeuroSky MindWave EEG headset was more comfortable than the Emotiv EPOC, as in [25],[26],[33]. In addition, participants reported that they made less effort when performing the tasks with the NeuroSky MindWave. Furthermore, according to the participants' task load index scores both devices were similar that they caused a low mental workload. When the usability of the EEG headsets was examined, it was found that the participants felt safe while using the NeuroSky MindWave EEG head, as in [25], and they were quite satisfied with the ease of use as in [23], and they thought it was more user-friendly as in [25]. On the other hand, it was reported that the Emotiv EPOC EEG head was relatively uncomfortable, required more effort, was quite cumbersome to use, and could not be used effectively without the help of a specialist.

One of the most important limitations of the study was that the Emotiv EPOC EEG headset recorded a performance metric sample every 10 seconds. The data set of EMOTIV EPOC was quite narrow, as the task duration was between 2-4 min. The reason of getting opposite findings to previous studies [12],[25] which concluded that the Emotiv EPOC EEG title is more preferable than NeuroSky MindWave in attention and relaxation tasks might be due to the rather narrow data set of this study.

In future studies, the performance metrics collected from the Emotiv EPOC EEG headset can be increased by involving more participants with longer tasks. Thus, more reliable comparison can be made with other EEG headsets. In addition, for the performance comparison of both devices, more tasks like eye blink can be added. For instance, EEG data collection setup can be formed as participants are playing a game that requires attention and can be controlled with the blink of an eye.

6 Teşekkür

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimi FMP-2019-1567 No.lu projesi kapsamında desteklenmiştir.

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Kübra ERAT, tasarımın yapılması, literatür taraması, kullanılan malzemelerin temini, deneylerin hazırlanması ve gerçekleştirilmesi, veri toplama, sonuçların incelenmesi ve makalenin yazımı başlıklarında; Pınar ONAY DURDU, fikrin oluşması, tasarımın yapılması, literatür araştırması, kullanılan malzemelerin temini, eleştirel inceleme, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede belirtilen deneysel çalışmanın gerçekleştirilmesi için Kocaeli Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulu'na başvurularak 10017888-903.99 No.lu etik kurul izni alınmıştır.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

9 Kaynaklar

[1] Çağıltay K. *İnsan Bilgisayar Etkileşimi ve Kullanılabilirlik Mühendisliği: Teoriden Pratiğe*. 1 baskı. Ankara, Türkiye, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, 2011.

[2] Schalk G, McFarland DJ, Hinterberger T, Birbaumer N, Wolpaw JR. "BCI2000: A general-purpose brain-computer interface (BCI) system". *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 51(6), 1034-1043, 2004.

[3] Wolpaw JR, Birbaumer N, McFarland DJ, Pfurtscheller G, Vaughan TM. "Brain-Computer interfaces for communication and control". *Clinical Neurophysiology*, 113(6), 767-791, 2002.
[4] Nam CS, Schalk G, Jackson MM. "Current trends in brain-computer interface (BCI) research and development". *International Journal of Human-Computer Interaction*, 27(1), 1-4, 2011.
[5] Vidal JJ. "Toward direct brain-computer communication". *Annual Review of Biophysics and Bioengineering*, 2(1), 157-180, 1973.
[6] Argunşah AÖ. "Beyinden Bilgisayara Bir Yol: Beyin Bilgisayar Arayüzü". http://www.emo.org.tr/ekler/a130f1dc6f0c829_ek.pdf?dergi=429 (17.05.2020).
[7] Amiri S, Rabbi A, Azinfar L, Fazel-Rezai R. *A review of P300, SSVEP and Hybrid P300/SSVEP Brain-Computer Interface Systems.* Editors: Reza Fazel-Rezai. Brain-Computer Interface Systems-Recent Progress and Future Prospects, 195-213, London, UK, IntechOpen, 2013.
[8] Berger H. "Über das elektroenkephalogramm des menschen". *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 87(1), 527-570, 1929.
[9] Berka C, Levendowski DJ, Cvetinovic MM, Petrovic MM, Davis G, Lumicao MN, Olmstead R. "Real-time analysis of EEG indexes of alertness, cognition, and memory acquired with a wireless EEG headset". *International Journal of Human-Computer Interaction*, 17(2), 151-170, 2004.
[10] Pfurtscheller G, Neuper C, Birbaumer N. *Human Brain-Computer Interface*. Editors: Riehle A. and Vaadia E. In Motor Cortex in Virtual Movements (A distributed System for Distributed Functions ed.), 367-401, Washington, D.C, CRC Press, 2005.
[11] Culau L, Pereira R, "Technical Report: Exploring the usability and acceptance of an EEG headset in game playing". Department of Computer Science, Universidade Federal do Paraná, Paraná, Brasil, Technical Report, 2019.
[12] Maskeliunas R, Damasevicius R, Martisius I, Vasiljevas M. "Consumer-grade EEG devices: Are they usable for control tasks?". *PeerJ*, 2016. https://doi.org/10.7717/peerj.1746.
[13] Bos D0, Reuderink B. "BrainBasher: A BCI Game". In Markopoulos P, Hoonhout J, Soute I, Read J. (Eds.), Extended Abstracts of the International Conference on Fun and Games. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, the Netherlands, 36-39, 2008.
[14] Sourina O, Liu Y, Nguyen MK. "Real-Time EEG-Based emotion recognition for music therapy". *Multimodal User Interfaces*, 5(1-2), 27-35, 2012.
[15] Vecchiato G, Astolfi L, Fallani FD, Toppi J, Alois F, Bez, F. et al. "On the use of EEG or MEG brain imaging tools in neuromarketing research". *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2011. https://doi.org/10.1155/2011/643489.
[16] Biosemi. "Biosemi Active Two EEG Başlığı". https://www.biosemi.com/products.htm (20.05.2020).
[17] Emotiv. "Emotiv EPOC EEG Başlığı". https://www.emotiv.com/ (20.05.2020).
[18] NeuroSky. "NeuroSky MindWave EEG başlığı". http://NeuroSky.com/ (20.05.2020).
[19] Stern RM, Ray WJ, Quigley KS. *Psychophysiological Recording*. 2nd ed. New York, USA, Oxford University Press, 2001.
[20] McFarland DJ, Wolpaw JR. "Brain-Computer interfaces for communication and control". *Communications of the Association for Computing Machinery*, 54(5), 60-66, 2011.
[21] Lin CT, Ko LW, Chang CJ, Wang YT, Chung CH, Yang FS, Duann JR, Jung TP, Chiou JC. "Wearable and wireless brain-computer interface and its applications". *Foundations of augmented cognition: Neuroergonomics and Operational Neuroscience, 5th International Conference, FAC 2009 Held as Part of HCI International 2009*, San Diego, CA, USA, 19-24 July 2009.
[22] Campbell A, Choudhury T, Hu S, Lu H, Mukerjee M K, Rabbi M, Raizada RD. "NeuroPhone: brain-mobile phone interface using a wireless EEG headset". *Proceedings of the Second ACM SIGCOMM Workshop on Networking, Systems, and Applications on Mobile Handhelds-MobiHeld,* 10, 3-8, 2010.
[23] Ekandem JI, Timothy AD, Ignacio A, Melva TJ, Juan EG. "Evaluating the ergonomics of BCI devices for research and experimentation". *Ergonomics* 55(5), 592-598, 2012.
[24] Rebolledo-Mendez G, Dunwell I, Martíne E, Vargas-Cerdán MD, Freitas SD, Liarokapis F, García-Gaona AR. "Assessing NeuroSky's usability to detect attention levels in an assessment exercise". *13th International Conference,* HCI International 2009, San Diego, CA, USA, 19-24 July 2009.
[25] Chatterjee D, Das R, Das D, Sinharay A, Sinha A. "Cognitive load measurement-A comparative study using low cost commercial EEG devices". *ICACCI 2014-International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics*, Noida, India, 24-27 September 2014.
[26] Radüntz T, Meffert B. "User experience of 7 mobile electroencephalography devices: comparative study". *Journal of Medical Internet Research*, 2019. https://doi.org/10.2196/14474.
[27] Nijboer F, Laar BVD, Gerritsen S, Nijholt A, Poel M. "Usability of three electroencephalogram headsets for brain-computer interfaces: a within subject comparison". *Interacting with Computers*, 27(5), 500-511, 2015.
[28] Hairston WD, Whitaker KW, Ries AJ, Vettel JM, Bradford J C, Kerick SE, Mcdowell K. "Usability of four commercially-oriented EEG systems". *Journal of Neural Engineering*, 2014. Doi: 10.1088/1741-2560/11/4046018.
[29] Pan P, Tan G, Wai P, Aung A. "Evaluation of consumer-grade EEG headsets for BCI drone control". *Proceedings of the IRC Conference on Science, Engineering and Technology*, Biopolis, Singapore, 10-11 August 2017.
[30] Izdebski K, Oliveira AS, Schlink BR, Legkov P, Kärcher S, Hairston WD, Ferris DP, König P. "Usability of EEG systems: user experience study". *PETRA '16: 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, Rhodes, Greece, 29 June -1 July 2016.
[31] Nikulin VV, Kegeles J, Curio G. "Miniaturized electroencephalographic scalp electrode for optimal wearing comfort". *Clinical Neurophysiology*, 121(7), 1007-1014, 2010.
[32] Grozea C, Voinescu CD, Fazli S. "Bristle-Sensors-Low-Cost flexible passive dry EEG electrodes for neurofeedback and BCI applications". *Journal of Neural Engineering*, 2011. https://doi.org/10.1088/1741-2560/8/2/025008.

[33] Di Flumeri G, Aricò P, Borghini G, Sciaraffa N, Di Florio A, Babiloni F. "The dry revolution: Evaluation of three different EEG dry electrode types in terms of signal spectral features, mental states classification and usability". *Sensors*, 2019. https://doi.org/10.3390/s19061365.

[34] Russell JA, Weiss A, Mendelsohn G A. "Affect grid: A single-item scale of pleasure and arousal". *Journal of Personality and Social Psychology*, 57(3), 493-502, 1989.

[35] Hassenzahl M, Burmester M, Koller F. *AttrakDiff: Ein fragebogen zur messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer qualität*. Editors: Gerd Szwillus Jürgen Ziegler. Mensch & Computer 2003, 187-196, Wiesbaden, Hessen, Deutschland, Vieweg + Teubner Verlag, 2003.

[36] Hart SG, Staveland LE. "Development of NASA-TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research". *Advances in Psychology*, (52), 139-183, 1988.

[37] Brooke J. *SUS-A Quick and Dirty Usability Scale*. Editors: Jordan PW, Thomas B, Weerdmeester B, McClelland IL. Usability Evaluation in Industry, 189-194, London, UK, CRC Press, 1996.

[38] Hassenzahl M, Monk A. "The inference of perceived usability from beauty". *Human-Computer Interaction*, 25(3), 235-260, 2010.

[39] Das D, Chatterjee D, Sinha A. "Unsupervised approach for measurement of cognitive load using EEG signals". *IEEE 2013 13th IEEE International Conference on BioInformatics and BioEngineering (BIBE)*, Chania, Greece, 10-13 November 2013.

[40] Abdelrahman Y, Khan AA, Newn J, Velloso E, Safwat SA, Bailey J, Schmidt A. "Classifying attention types with thermal imaging and eye tracking". *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 3(3), 1-27, 2019.

[41] Stroop JR. "Studies of interference in serial verbal reactions". *Journal of Experimental Psychology: General*, 121(1), 15-23, 1992.

[42] İnal Y, Güner H. "Yazılım geliştiricilerin kullanıcı deneyimi ve kullanılabilirlik konusundaki farkındalıklarının ve bilgi seviyelerinin belirlenmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(5), 384-389, 2016.