

Beyin Dalgalarının Analizinde NeuroSky MindWave Aracının Kullanılabilirlik Özelliklerinin İncelenmesi

By FATİH BALAMAN

Beyin Dalgalarının Analizinde NeuroSky MindWave Aracının Kullanılabilirlik Özelliklerinin İncelenmesi

Fatih Balaman¹, 0000-0003-2175-0778, fatihbalaman2010@gmail.com
Şenol Saygıner², 0000-0002-5280-3847, senolsayginer@gmail.com
Sevil Hanbay Tiryaki³, 0000-0003-4780-9715, sevilhanbay90@gmail.com

8

¹ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, ² Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi,
³ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi

Özet

İnsan beyni milyarlarca nöronun birbirine bağlanmasıyla oluşmuştur. Nöronlar arasında kurulan her etkileşim beyinde çok sayıda ve çeşitlilikte elektriksel aktivite meydana getirmektedir. Bu aktiviteler yapılan eyleme veya uyanıklık-uyku durumlarına göre farklı frekanslarda sinyallere dönüşmektedir. Beyin dalgaları farklılaşan bu frekanslar kullanılarak ayırt edilebilmektedir. Alanyazında böyle bir analizi gerçekleştirebilmek için Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme (fMRI), Elektrokortikogram (ECoG), Elektromiyografik (EMG) ve Elektroensefalogram (EEG) gibi çeşitli sistemlere başvurulmaktadır. Bu sistemler içinde EEG diğerlerine kıyasla ulaşılabilirlik, taşınabilirlik, maliyet ve pratik kullanım açısından öne çıkmaktadır. EEG sisteminde elektriksel aktivite kafatasına yerleştirilen alıcılar kullanılarak anlık kaydedilebilmektedir. Burada önemli olan nokta yapılacak göreve en uygun niteliğe sahip EEG aracını seçmek ve kullanmaktır. Doğru aracı seçmek ve kullanmak özellikle sağlık alanından olmayan araştırmacılar için beraberinde çeşitli zorluklar getirmektedir. Örneğin, beynin hangi bölgesine yönelik veri toplanacaksa o bölgeye yönelik ölçüm özellikleri sunan aracı bilme ve kullanma; farklılaşan dalga türlerini ve bu dalgaları işlemek üzere kullanılabilecek yazılımları ayırt edebilme gibi durumlar belirtilen zorluklar arasında gösterilebilir. Zorlukları azaltmak amacıyla bu çalışmada NeuroSky MindWave sisteminin kullanılabilirlik özellikleri karşılaştırmalı şekilde incelenmiş; eğitimsel sinirbilim araştırmalarından örnekler sunulmuş; aracın teknik özellikleri, veri toplama ve analiz süreçleri açıklanmıştır. Elde edilecek bilgilerin, eğitim amaçlı EEG sistemlerinin kullanımı konusunda zorluk yaşayan araştırmacılara rehberlik sağlayacağı ön görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektroensefalogram, beyin-bilgisayar arayüzü, NeuroSky MindWave.

Giriş

Günlük aktivitelerimizin tamamı vücudumuzdaki biyolojik sistemlerle gerçekleşmekte ve bu aktiviteler beyin tarafından yönetilmektedir. Beyin, milyarlarca sinir hücresine sahip bir organdır (Matamoros et al. 2020). Beynin işlevini yerine getirmesi sinir hücrelerinin birbiri ile olan etkileşimi sayesinde olmaktadır. Sinir hücreleri biyoelektrik sinyaller aracılığı ile birbirleriyle etkileşim halindedir. Hücreler arası bağlantı sinapslar aracılığı ile gerçekleşir ki sinapslar mesaj iletimi amaçlı özelleşmiş yapılar olarak bilinmektedir.

Sinir hücrelerinin hareketliliğini inceleyerek çıkarımlar yapmak ve yorumlarda bulunmak için makine verilerine ihtiyaç vardır. Makine verilerini elde etmek için beyin sinyallerini bilgisayar diline dönüştürebilecek, veri akışını sağlayabilecek arayüzler gerekmektedir. Bu arayüzler "Beyin Bilgisayar Arayüzü (BBA)" olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde beyin sinyallerinin elde edilmesi amaçlı kullanılan modern BBA sitemlerinin beş alt boyutu vardır (Gürsel Özmen, 2010).

- Sinyal toplama: Beyinden alınan EEG sinyallerinin güçlendirilerek örneklenmesi aşamasıdır.

- Sinyal önışleme-özellik çıkarma: Sinyal toplama işlemleri sonrası gürültülerin arındırılması ve beyin sinyalleri dışında kalan istenmeyen sinyallerin çıkarılmasıdır.
- Sinyal işleme-dönüştürme algoritması: Gürültülerden arındırılan sinyaller işlendikten sonra yerine getirdiğı zihinsel işleme göre gruplandırılmaktadır.
- Çıktı cihazı: Zihinsel işleme göre gruplandırılan sinyaller kullanılacağı uygulamaya göre bilgisayara gönderilmektedir.
- İşletim Protokolü: Hangi beyin sinyallerinin analiz edileceğı ve sistem ile kullanıcı arasındaki etkileşim şekilleri belirlenir.

Beyindeki sinir hücrelerindeki değışimleri inceleyerek bilgisayar diline dönüştüren farklı BBA yöntemleri vardır. Bunlar Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI), Magnetoencephalography (MEG), Pozitron Emisyon Tomografisi (PET), tek nöron kaydı (mikroelektrotlar ile) ve Electroencephalography (EEG) olarak belirtilebilir. Bu yöntemlerden MEG, manyetik korumalı bir odada büyük cihaz kullanımını gerektirmesi açısından kullanışlı değildir. Tek nöron kaydı ise elektrotların kafatası içine yerleştirilmesini gerektirir. Bu nedenle BBA yöntemlerinin birçoğı EEG üzerinden yürütölmektedir. EEG; nöronlardaki dentritlerin sinaptik uyarımları esnasında oluşan elektrik akımından ortaya çıkan elektriksel aktivitelerdir. Bu yöntem benzerlerine kıyasla kullanıcılarına yüksek zamansal çözünürlük, nispeten düşük maliyet, kolay taşınabilirlik, düşük sağılık riskleri gibi çeşitli özellikler sunmaktadır (Girase & Deshmukh, 2016). EEG cihazları ile milisaniyelik hata payıyla güvenilir veriler elde edilebilmektedir. Bu yöntemde cerrahi müdahaleye ihtiyaç (sağılık araştırmaları dışında) bulunmamaktadır. Bu özellik EEG sistemlerinin avantajları arasındadır. Veriler, kafatasının dış kısmına yerleştirilen elektrotlar ile toplanmaktadır. Bazı EEG elektrotları kaliteli sinyal almak ve gürültüyü azaltarak iletkenliğı artırmak için jel ile birlikte kullanılmaktadır. Bunun dışında kuru elektrot kullanan EEG cihazları da bulunmaktadır (Gürsel Özmen, 2010). Burada öne çıkan durum, yapılacak işlemin niteliğine uygun EEG aracını seçmek ve kullanmaktır.

Beyin kortekslerindeki nöronların elektriksel aktivitelerini yansıtan EEG sinyalleri, farklı frekanstaki dalgaların karışımından oluşmaktadır. Bu dalga boyları Hertz (Hz) olarak ölçölmektedir (Constant & Sabourdin, 2012). Geniş bir frekans aralığına sahip olan EEG sinyallerinin genellikle 0-50 frekans aralığında değıştiğı belirtilebilir. EEG yöntemi ile elde edilen frekans bantlarındaki sinyaller çözömlenerek farklı davranış özelliklerine yönelik 7 testimler ortaya konulmaktadır (Dündar, 2013). Beyin dalgalarının sınıflandırılması işlemi saniyede ortaya çıkan dalga sayısına göre yapılmaktadır (İldız, 2007). Dalga boylarının sınıflandırılması ve özellikleri şu şekildedir (Bal, 2020; Constant & Sabourdin, 2012; Gürsel Özmen, 2010; Kurşunet & Sazak, 2018; Matamoros et al., 2020):

Delta Dalgası: 0,5-4 Hz. arası dalgalardır. Genellikle derin uyku ve koma anında gözlenmektedir. Uyanık durumda gözlenmesi halinde beyinde fiziki kusur olabileceğı düşünölmektedir. Delta dalgası deri yüzeyine çok yakın olmasından dolayı boyun ve çene kaslarından kaynaklanan artefaktlarla karıştırılabilmektedir. Bu sebeple veri toplama ve analiz süreçleri dikkati daha fazla yoğunlaştırmayı gerektirmektedir.

Theta Dalgası: 4-8 Hz. aralığındadır. Hüsrân, hayal kırıklığı gibi duygusal durumlar anında gözlenebilir. Uyanık halde yetişkinlerde gözlenmesi normal karşılanmamaktadır. Bilinç dışı hal, yoga ve meditasyon hali ile ilişkilendirilmektedir.

Alpha Dalgası: 8-13 Hz. aralığındadır. Duyusal uyaranlarda, motor becerilerinin kullanımında, hafızanın kullanımında, rahatlatma esnasında veya meditasyon yapanlarda yüksek alfa dalgası ile karşılaşılabilmektedir.

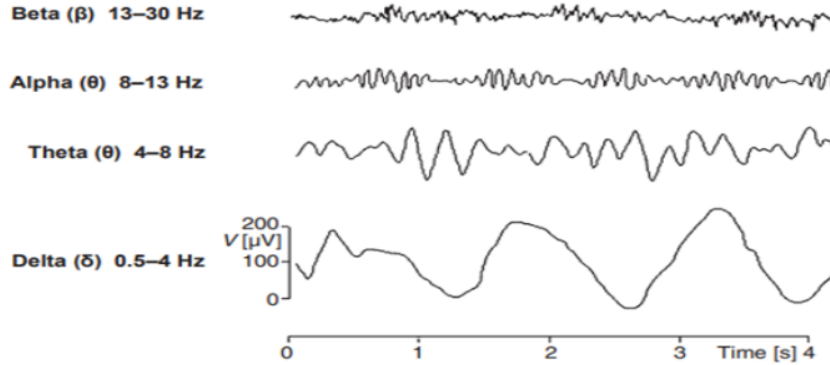
Beta Dalgası: 13-30 Hz. aralığındadır. Beta dalgası çoğunlukla aktif düşünme adında, dikkat ve odaklanma gerektiren durumlarda ve problem çözme gibi bilişsel ağırlıklı

eylemler sırasında gözlenmektedir. Beta dalgaları düşük-orta-yüksek beta dalgaları olarak sınıflandırılabilir.

Şekil 1’de EEG ile ölçülen dalga türlerinin örnek görünüşleri sunulmuştur.

Şekil 1

EEG dalgalarının sınıflandırılması



Şekil 1’de gösterilen beyin dalgalarının elde edilmesinde çeşitli araçlar kullanılmaktadır. Beyin sinyallerini okuyabilen ve işleyebilen bu araçlar maliyet, elektrot sayısı, performans metrikleri, kullandığı teknoloji gibi özelliklerine göre farklılıklar göstermektedir. Bu durumun, yapılacak araştırmaya en uygun olacak aracı seçme, bu araçla veri toplama ve toplanan verileri analiz etme süreçlerinde zorluklar oluşturduğundan söz edilebilir. Bu zorluklara çözüm getirmek amacıyla yapılan çalışmada,

1. Eğitim amaçlı kullanılabilecek EEG araçlarının teknik özelliklerine göre karşılaştırmalı incelemesi,
2. NeuroSky MindWave aracının kullanıldığı eğitimsel sinirbilim araştırmalarının karşılaştırmalı incelemesi,
3. NeuroSky MindWave aracının teknik bileşenlerinin incelenmesi,
4. NeuroSky MindWave aracıyla veri toplama sürecinin yapılandırılması,
5. NeuroSky MindWave aracıyla toplanan verilerin analizi ve yorumlanması konularına yer verilmiştir.

Yöntem

NeuroSky MindWave sistemi özelinde eğitimsel sinirbilim konusunun irdelendiği bu çalışmada elde edilen veriler betimsel analize bağlı kalınarak incelenmiştir. Bu kapsamda EEG araçlarının karşılaştırmalı analizi ile Neurosky MindWave aracının eğitim bağlamında kullanıldığı bilimsel çalışmanın analizi önceden belirlenen temalara göre yapılmıştır. Veri toplama süreci araştırmacılar tarafından geliştirilen “EEG araçlarının karşılaştırmalı analiz formu” ve “Eğitimsel sinirbilim araştırmaları inceleme formu” kullanarak yapılmıştır. Formlarda yer alan temaların belirlenmesi sürecinde Neurosky MindWave aracını kullanarak eğitimsel sinirbilim alanında çalışmalar yapan iki uzmanın görüşlerine başvurulmuştur. Dönüt ve düzeltmelerin ardından inceleme formlarına sok şekli verilmiştir. Verilerin analizi üç araştırmacı tarafından ayrı ayrı yapılmıştır. Her bir araştırmacının inceleme formlarına yazmış olduğu ifadeler diğer araştırmacılar tarafından da kontrol edilmiş ve olası belirsizlikler tartışılarak karara bağlanmıştır. Eğitimsel Sinirbilim alanında yapılan çalışmalar Web of Science veritabanında “NeuroSky MindWave, education, educational neuroscience” anahtar kelimeleriyle yapılan tarama sonucu belirlenmiştir. Bu kapsamda araştırmaya NeuroSky MindWave aracının kullanıldığı 13 çalışma dahil

edilmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde elde edilen veriler tablo ve grafiklere aktararak sunulmuştur.

Bulgular

EEG Araçlarının Karşılaştırmalı Analizine İlişkin Bulgular

EEG ile beyin sinyalleri elde etmek üzere kullanılabilecek NeuroSky MindWave, Emotiv EPOC X, Biopac B-Alert X10, Emotiv EPOC FLEX ve DSI-24 Wearable EEG araçları incelenmiştir. Bu araçlar, görseli, internet adresi, EEG kanal sayısı, verileri kayıt hızı, kullanım alanları, performans metrikleri, yazılım gereksinimi, mobil özelliği, kapsama alanı, elektrot türü, işletim sistemi desteği⁵, bağlantı türü, enerji gereksinimi ve fiyat değişkenlerine göre karşılaştırılarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 1 de sunulmuştur.

Tablo 1

EEG araçlarının karşılaştırmalı incelemesi

	NeuroSky MindWave	Emotiv EPOC X	Biopac B-Alert X10	Emotiv EPOC FLEX	DSI-24 Wearable EEG
Görseli					
İnternet adresi	www.neurosky.com	www.emotiv.com/epoc-x	www.biopac.com/product/b-alert-x10-4	www.emotiv.com/epoc-flex	www.wearableensing.com/products/dsi-24
EEG kanal sayısı	Tek kanallı (FP1 konumu)	14 kanallı ¹ (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4)	9 kanallı ⁹ (Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, POz, P3, P4)	32 kanallı (CMS/DRL referansları)	21 kanallı ² (Fp1, Fp2, Fz, F3, F4, F7, F8, Cz, C3, C4, T7/T3, T8/T4, Pz, P3, P4, P7/T5, P8/T6, O1, O2, A1, A2)
Verileri kayıt hızı	512 Hz ⁶	128-256 Hz	256 Hz	128 Hz	300 Hz
Uygulama alanları	• Sağlık, • Nöro-pazarlama, • Oyunlar, • Eğitim • Bilimsel araştırma vb.	• Sinirbilim araştırmaları, • Nöro-feedback, • Beyin-bilgisayar arayüzü çalışmaları, • Nöro-pazarlama, • Eğitim, • Bilimsel araştırmalar vb.	• Beyin-bilgisayar arayüzü çalışmaları, • Nöro-pazarlama, • Ergonomi, • Eğitim, • Bilimsel araştırmalar vb.	• Sinirbilim araştırmaları, • Nöro-feedback, • Beyin-bilgisayar arayüzü çalışmaları, • Nöro-pazarlama, • Eğitim, • Bilimsel araştırmalar vb.	• Sinirbilim araştırmaları, • Nöro-feedback, • Beyin-bilgisayar arayüzü çalışmaları, • Nöro-pazarlama, • Eğitim, • Bilimsel araştırmalar vb.

Performans metrikleri	- Dikkat, - Meditasyon	- Heyecan, - Bilişsel çaba, - Rahatlama, - İlgi, - Stres, - Odaklanma	- Bilişsel çaba, - Uyuklama, - Rahatlık hissi, - Dikkat dağınıklığı, - Stres	- Heyecan, - İlgi, - Stres, - Dikkat - Meditasyon	- Dikkat, - Odaklanma, - Stres, - İlgi
Yazılım gereksinimi	- Think Gear - Brainwave Visualizer	- Emotiv Pro - Emotiv BCI	Acq Knowledge	- Emotiv Pro - Emotiv BCI	- DSİ API - DSI-Streamer - Brain Neuroguide
Mobil özellik	Kablosuz/ Mobil	Kablosuz/ Mobil	Kablosuz/ Mobil	Kablosuz/ Mobil	Kablosuz/ Mobil
Kapsama alanı	1 10 metre	10 metre	10 metre	10 metre	10 metre
Elektrot türü	Kuru (Jel sürme gereksinimi yoktur)	Kuru (Jel sürme gereksinimi yoktur)	Kuru (Jel sürme gereksinimi yoktur)	Islak	Kuru (Jel sürme gereksinimi yoktur)
İşletim sistemi desteği	3 - Windows, - Mac, - iOS, - Android	- Windows, - MAC, - iOS, - Android	- Windows, - Mac	- Windows, - MAC, - iOS, - Android	- Windows, - Mac, - Linux
Bağlantı	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth
Enerji kullanımı	1 adet değiştirilebilir pil	Şarj edilebilir Lityum Polimer batarya	Şarj edilebilir batarya	Şarj edilebilir LiPo pil	Çalışırken değiştirilebilir Li-ion piller sürekli çalışmaya izin verir
Fiyatı	293 \$	849 \$	9.950 \$	1.699 \$	20.560 \$

İncelenen EEG araçlarının çoğunluğu kafaya takılıp çıkarılabilecek şekilde pratik kullanıma sahiptir. Kanal sayısı bakımından yapılan incelemede Emotiv araçlarının öne çıktığı görülmektedir. Kanal sayısının artması, beynin daha geniş bir bölümünden eş zamanlı şekilde veri toplama olanağı sunmaktadır. Bu durum, elde edilecek sonuçların daha detaylı yorumlanmasına katkı sağlayabilir. Diğer taraftan, NeuroSky MindWave aracı tek kanala sahip olmasına rağmen diğerlerine kıyasla daha yüksek veri kayıt hızına sahiptir.

Uygulama alanları bakımından yapılan incelemede Emotiv araçlarının (EPOC X ve EPOC Flex) daha geniş bir kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir. Bunun yanında incelenen tüm araçlar eğitimsel araştırmalarda kullanılabilir. Performans metriği verileri her bir araç ile hangi değişkenlere yönelik veri toplanacağını ortaya koymaktadır. Bu kapsamda incelenen araçların sınırlı sayıda değişkeni ölçülebildiği görülmüştür. Örneğin NeuroSky MindWave ile yalnızca dikkat ve meditasyona yönelik veriler; Emotiv EPOC ile odaklanma, stres, ilgi ve bilişsel çaba gibi değişkenler ölçülebilmektedir. Tüm bu değişkenlerin analizi sırasında kullanılacak yazılımlar da farklılık göstermektedir. Her bir firmaya ait ürünlerde o firmanın tanımladığı yazılımları kullanmak gerekmektedir.

Bütün araçlar kablosuz bağlantı özelliğine sahiptir ve bağlı olduğu cihazlara 10 metre mesafeye kadar veri aktarabilmektedir. EEG araçları için kablosuz bağlantı özelliği veri toplama sürecini kolaylaştırmaktadır. Bu yönüyle önemli bir avantaj sağladığından söz edilebilir. Kablosuz bağlantı özelliğine sahip tüm ürünlerin bağlantısı ise Bluetooth sistemi üzerinden sağlanmaktadır.

Ürünlerden EPOC FLEX jel ile kullanılırken haricindekiler kuru elektrot özelliğine sahiptir. Kuru elektrotlar veri toplama esnasında daha temiz ve kullanışlıdır. Jel gerektiren elektrotlar ise dış gürültülerin yalıtılması, beyin sinyalleri haricindeki seslerin veri setine dâhil edilmemesinde avantajlıdır. Veri setinde beyin sinyallerine karışan gürültülerin olması durumunda bu gürültülerin filtreleme yapılarak beyin sinyallerinden temizlenmesi gerekmektedir.

İşletim sistemi desteği, enerji ve fiyat konuları da EEG araçlarının tercih edilmesinde belirleyici unsurlardandır. İncelenen EEG araçlarının tümü Windows ve Mac işletim sistemlerinde kullanılabilmektedir. Bu araçların enerji gereksinimleri daha çok pil ile karşılanmaktadır. Ürünler arasında en düşük fiyata sahip olanı ise NeuroSky MindWave aracıdır.

Neurosky Mindwave Aracının Kullanıldığı Eğitimsel Sinirbilim Araştırmalarına İlişkin Bulgular

Neurosky MindWave aracının eğitimsel sinirbilim alanında kullanımına ilişkin çalışmalar yayın yılı, bağımlı değişken ve kullanım amacı bağlamlarında incelenmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2

Neurosky MindWave aracının kullanıldığı eğitimsel sinirbilim araştırmalarının karşılaştırmalı incelemesi

Ç. No	Araştırmacı bilgisi	Yayın yılı	EEG aracıyla toplanan veriler	Aracın kullanım amacı
1	Pajk vd.	2021	Dikkat süresi ve yoğunluğu	Performans odaklı karşılaştırma.
2	Lancheros-Cuesta vd.	2019	Dikkat	Öğrenme güçlüğü çeken öğrencilerin dikkat düzeylerinin incelenmesi.
3	Eloy vd.	2019	Meditasyon ve dikkat	Programlama etkinlikleri sırasında gösterilen bilişsel parametrelerin incelenmesi.
4	Nugroho & Harnadi	2019	Meditasyon ve dikkat	Mobil tabanlı bir sanal gerçeklik oyun deneyiminin meditasyon ve dikkat değişkenlerine etkisinin incelenmesi.
5	Vasiljevic & Miranda	2019	Meditasyon ve bilişsel çaba	Neurofeedback tabanlı oyun oynayan deneklerde işitsel uyaranların etkisinin incelenmesi.
6	Liao vd.	2019	Dikkat düzeyi	KAÇD ve geleneksel öğretim yöntemleriyle öğrenen öğrencilerin dikkat düzeylerinin karşılaştırılması.
7	Tabakçioğlu vd.	2016	Dikkat, meditasyon	Öğrencinin sonraki konuya geçişine karar verme.
8	Ülker vd.	2017	Dikkat, meditasyon	Programlama öğrenimi sırasındaki dikkat ve meditasyonun incelenmesi.
9	Sun & Yeh	2017	Dikkat	Biyo-geribildirim etkinliğinin belirlenmesi.

10	Kadar vd.	2017	Bölünmüş dikkat	Geliştirilen test ortamının etkililiğinin belirlenmesi.
11	Sezer vd.	2017	Dikkat	Öğretmen adaylarının derse katılımlarıyla dikkat seviyeleri arasındaki ilişkinin incelenmesi.
12	Lin & Kao	2018	Zihinsel çaba	E-öğrenme ortamında eğitsel videonun izlenmesi sırasındaki zihinsel çabanın belirlenmesi.
13	Ma & Wei	2015	Odaklanma	Farklı medya türleriyle desteklenmiş kitapların odaklanma performansına etkisinin incelenmesi.

Tablo 2’de sunulan çalışmalardan hareketle Neurosky MindWave aracının eğitsel sinirbilim alanında kullanımının yaygın olduğu görülmektedir. Eğitimsel sinirbilim alanında yapılan araştırmalarda çoğunlukla dikkat ve meditasyon değişkenlerine odaklanılması bu aracın performans metriklerinin sınırlılığından kaynaklandığı belirtilebilir. Diğer taraftan eğitimsel sinirbilim alanında yapılan çalışmaların son yıllarda yoğunluk kazandığı görülmektedir.

NeuroSky MindWave Aracının Teknik Bileşenlerinin İncelenmesi

NeuroSky MindWave aracına ilişkin teknik açıklamalar ve aracın görünümü Şekil 2’de sunulmuştur.

Şekil 2

Neurosky MindWave aracının teknik bileşenleri



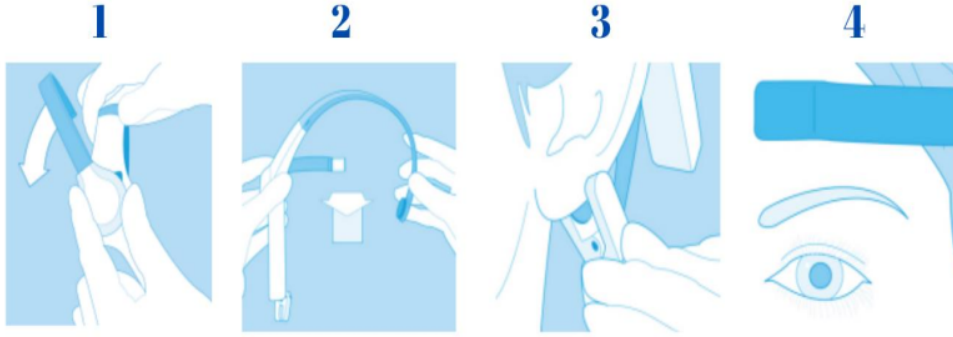
Neurosky MindWave aracı, kullanıcının kafa yapısına veya saç yoğunluğuna göre ayarlanabilir bir banda sahiptir. Araç kafaya takıldıktan sonra alın bölgesine gelen sensör verilerin toplanmasını sağlamaktadır. Bir adet şarj edilebilir kumanda pili ile çalışan araç, kullanıcılara 8 saat boyunca kesintisiz kullanım olanağı sunmaktadır. Kulak bağlantı yeri kulak memesine takılarak referans noktası oluşturulmaktadır. Araç, esnek bağlantı klipsi sayesinde hemen her türlü kulak yapısına takılabilmektedir. Araca enerji sağlandığında ve güç düğmesine basıldığında bir led ışık yanmaktadır. Bu ışık sistem açık veya başka cihaza bağlantı sağlandığında mavi; pil gücü zayıfladığında ise kırmızı renkte yanmaktadır (Neurosky, 2018).

NeuroSky MindWave Aracıyla Veri Toplama Sürecinin Yapılandırılması

NeuroSky MindWave aracı kullanılarak yapılacak veri toplama işlemleri sırasıyla Şekil 3'te sunulmuştur.

Şekil 3

NeuroSky MindWave aracıyla veri toplama süreci



NeuroSky MindWave aracıyla veri toplama işlemleri dört başlık altında sınıflandırılmıştır. Bu işlem adımları şu şekildedir:

- 1. Adım:** Öncelikle aşağı-yukarı yönde hareket edebilen sensör ucunun alın bölgesine uygun olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir.
- 2. Adım:** Ayarlanabilir panel kullanıcının kafa yapısına göre genişleyip daralabilen özelliğe sahiptir. Panel, kullanıcıya göre ayarlandıktan sonra kullanıcının kafasına takılmalıdır. Ardından, EEG sinyallerini yakalayacak olan sensörün alın bölgesine teması sağlanmalıdır. Sensörün alın bölgesine teması kesilmesi halinde veri kaybı oluşacağından mutlaka temas edip etmediği kontrol edilmelidir.
- 3. Adım:** İçi kauçuk olan ve referans elektrodu olarak da adlandırılan kulak klipsi sol kulak memesine takılır. Kulak klipsi takılırken kulakta küpe, piercing vb. aksesuarların olmaması gerekmektedir.
- 4. Adım:** Veri toplama süresince sensör alın bölgesinde sabit kalmalı, hareket etmemelidir. Makyaj, cilt rahatsızlıkları, kabarık saç gibi durumlar sensörün alın bölgesine temasını engelleyebilir. Ayrıca veri toplanırken katılımcının konuşması veya durmadan hareket etmesi de sinyal kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir.

Bu dört adım dışında NeuroSky MindWave aracının kullanımı sırasında şu hususlara da dikkat edilmesi gerekmektedir:

- EEG aracından verimli sinyaller elde etmek için alına temas eden sensörün ve kulağa takılan referans elektrodunun düzenli aralıklarla alkol veya nemli bezle silinmesi sağlanabilir.
- EEG aracı uzun süre kullanılmayacaksa üzerindeki pilin çıkarılması önerilebilir.
- Araç içindeki sensörlerin bozulmaması için 60 °C üzerinde sıcaklığa maruz bırakılmaması önemlidir.

NeuroSky MindWave Aracıyla Toplanan Verilerin Analizi ve Yorumlanması

Bu aşamada öne çıkan sistemler arasında ThinkGear, eSense ve Brainwave Visualizer uygulamalarından söz edilebilir.

ThinkGear: Bilgisayar ile EEG aracı arasında arayüz görevi görerek kullanıcının zihinsel durumuna ilişkin verileri elde etmektedir. Kullanıcının eSense ölçümleri bu çipte hesaplanmaktadır. Bu çip beyin sinyallerini ve diğer gürültü sinyallerini yükselterek

sunmaktadır. Daha sonra sinyaller arasından gürültü sinyallerini ve kas hareketlerini filtreleyerek salt beyin sinyallerinin elde edimini sağlamaktadır.

eSense: Zihinsel durumları tespit etmede kullanılan özel bir algoritmadır. eSense algoritması, ThinkGear tarafından temizlenen sinyallere uygulanmaktadır. eSense, dikkat ve meditasyon değişkenlerini ölçmektedir ve iki özellik için de ayrı ayrı 0-100 aralığında değer üretmektedir. 0-20 aralığı çok düşük, 21-40 aralığı düşük, 41-60 aralığı orta düzey, 61-80 aralığı yüksek, 81-100 aralığı ise çok yüksek olarak kabul edilerek yorumlanmaktadır.

Brainwave Visualizer: Beynin etkinliğinin grafiksel bir temsilini gösteren renkli ve etkileşimli bir uygulamadır. Dikkat ve meditasyon ölçümlerine yönelik veriler beyin dalgalarının hareketliliğine bağlı olarak şekil ve renk değiştirir. Uygulama, tüm NeuroSky MindWave modelleriyle uyumlu şekilde çalışmaktadır.

Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada beyin dalgalarının analizinde kullanılan beş EEG aracı karşılaştırmalı şekilde incelenmiş; Neurosky MindWave aracının kullanılabilirlik özellikleri alanyazındaki çalışmalarla da desteklenerek açıklanmıştır.

NeuroSky MindWave aracının kuru kullanıma izin vermesi, uygun maliyeti, benzerlerine kıyasla en yüksek veri kayıt hızına sahip olması avantaj olarak belirtilebilir. Aynı zamanda bu aracın diğerlerine göre daha basit ve sade bir tasarıma sahip olması deneye katılacakların muhtemel çekincelerini azaltabilir. Nitekim yapılan çalışmalarda katılımcılar NeuroSky MindWave aracını kullanırken kendilerini güvende hissettiklerini ve bu aracın kullanıcı dostu olduğunu düşündüklerini belirtmişlerdir (Chatterjee vd., 2014). Bir başka çalışmada ise katılımcılar bu aracın kullanımının kolay olmasından dolayı memnuniyetlerini dile getirmişlerdir (Ekandem vd., 2012).

NeuroSky MindWave aracının kablolu kullanıma izin vermesi, Android, IOS, Windows, MacOS gibi işletim sistemleriyle uyumlu olması, entegre veri toplama yazılımlarının kullanımının kolay olması gibi durumlar bu aracın pratik kullanıma sahip olduğuna işaret etmektedir. Nitekim yapılan çalışmalarda NeuroSky MindWave aracının basit-kolay kurulum ve kullanıma sahip olduğu belirtilmektedir (Ekandem vd., 2012).

Diğer taraftan, benzerleriyle karşılaştırıldığında NeuroSky MindWave aracıyla yalnızca bir kanaldan veri toplanabilir olması toplanabilecek verilerin güvenilirliği ve çeşitliliği konusunda tereddüt oluşturabilir. Bu konuda Erat ve Onay Durdu (2021) yaptıkları çalışmada yüksek bilişsel yük oluşturan ve dikkat gerektiren görevlerde EPOC EEG aracı ile NeuroSky MindWave aracının benzer sonuçlar ürettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, aynı çalışmada meditasyon verisine ihtiyaç duyulan görevlerde NeuroSky MindWave aracının Emotiv EPOC aracına göre daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır (Erat ve Onay Durdu, 2021).

Araştırmadan elde edilen sonuçlardan hareketle şu öneride bulunulabilir:

Alanyazında Neurosky MindWave aracının özellikle eğitim araştırmaları için geliştirildiği belirtilmektedir (Neurosky, 2018). Yapılan çalışma bu durumu destekler niteliktedir. Eğitim araştırmalarında deneysel odaklı çalışmalar için bu aracın kullanılabilir özellikler sunduğu ve buradan hareketle kullanılması halinde yapılacak araştırmayı güçlü kılacağı önerisinde bulunulabilir.

Kaynakça

- Bal, F. (2020). Beyin Dalgalarının depresyon üzerindeki etkisinin incelenmesi. *Humanistic Perspective*, 2(3), 252-270. doi:10.47793/hp.797133
- Chatterjee, D., Das, R., Das D., Sinharay A., & Sinha A. (2014). *Cognitive load measurement-Acomparative study using low cost commercial EEG devices*. ICACCI 2014, International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, Noida, India.
- Constant, I., & Sabourdin, N. (2012). The EEG signal: a window on the cortical brain activity. *Pediatric Anesthesia*, 22(6), 539-552. doi.org/10.1111/j.1460-9592.2012.03883.x
- Dündar, S. (2013). *Öğrencilerin beyin dalgalarının problem çözme sürecinde incelenmesi*. [Yayınlanmamış doktora tezi]. Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Ekandem, J. I., Davis, T. A., Alvarez, I., James, M. T., & Gilbert, J. E. (2012). Evaluating the ergonomics of BCI devices for research and experimentation. *Ergonomics*, 55(5), 592-598. doi.org/10.1080/00140139.2012.662527
- Eloy, J., Teixeira, A. R., Gomes, A., & Mendes, A. J. (2019). *Understand and characterize mental effort in a programming-oriented task*. In 2019 IEEE 6th Portuguese Meeting on Bioengineering (ENBENG). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8692570>
- Erat, K., & Onay Durdu, P. (2021). Düşük maliyetli EEG başlıklarının kullanıcı deneyimi değerlendirmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(4), 1-14. doi: 10.5505/pajes.2021.78910
- Girase, P. D., & Deshmukh, M. (2016). MindWave device wheelchair control. *International Journal of Science and Research*, 5(6), 2172-2176. <http://dx.doi.org/10.21275/v5i6.NOV164722>
- Gürsel Özmen, N. (2010). *Beyin bilgisayar arayüzü tasarımı için farklı zihinsel aktiviteler esnasında oluşan EEG işaretlerinin analiz edilmesi ve sınıflandırılması*. [Yayınlanmamış Doktora Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ildız, G. (2007). *Ah şu beynimiz "Göz ardı edilemeyen tıbbi gerçekler"*. FSF Printing House.
- Kadar, M., Borza, P. N., Romanca, M., Iordachescu, D., & Iordachescu, T. (2017). Smart testing environment for the evaluation of students' attention. *Interaction Design and Architecture(s) Journal*, 32, 205-217. mifav.uniroma2.it/inevent/events/idea2010/doc/32_13.pdf
- Kurşunet, D. D. K., & Sazak, N. (2018). Tetha, Alpha, SMR, beyin dalgalarının müzik türleriyle olan etkileşimi: Bir Nexus-10 EEG çalışması. *Sciences*, 3(1), 149-165. doi.org/10.31811/ojomus.435201
- Lancheros-Cuesta, D. J., Carrillo-Ramos, A., & Lancheros-Cuesta, M. (2019). Evaluation of content adaptation: Case study with NeuroSky MindWave in children with learning difficulties. *International Journal of Web Information Systems*, 15(4), 474-488. DOI 10.1108/IJWIS-11-2018-0078
- Liao, C. Y., Chen, R. C., & Tai, S. K. (2019). Evaluating attention level on MOOCs learning based on brainwaves signals analysis. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 15(1), 39-51. DOI: 10.24507/ijic.15.01.39
- Lin, F. R., & Kao, C. M. (2018). Mental effort detection using EEG data in E-learning contexts. *Computers & Education*, 122(2018), 63-79. doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.020
- Matamoros, O. M., Escobar, J. J. M., Tejeida Padilla, R., & Lina Reyes, I. (2020). Neurodynamics of patients during a dolphin-assisted therapy by means of a fractal intraneural analysis. *Brain Sciences*, 10(6), 403. doi:10.3390/brainsci10060403
- Ma, M. Y., & Wei, C. C. (2016). A comparative study of children's concentration performance on picture books: age, gender, and media forms. *Interactive Learning Environments*, 24(8), 1922-1937. doi.org/10.1080/10494820.2015.1060505

- Neurosky (2018). *MindWave Mobile 2: User guide*. <http://download.neurosky.com/public/Products/MindWave%20Mobile%202/MindWave%20Mobile%202%20User%20Guide%20.pdf>
- Nugroho, E. W., & Harnadi, B. (2019, July). *The method of integrating virtual reality with brainwave sensor for an interactive math's game*. In 2019 16th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE) (pp. 359-363). IEEE.
- OECD. (2007). *Understanding the brain: the birth of a learning science*. Paper presented at the OECD/CERI International Conference "Learning in the 21st Century: Research, Innovation and Policy", 15-16 May 2008 Paris, France.
- Pajk, T., Van Isacker, K., Aberšek, B., & Flogie, A. (2021). Stem education in eco-farming supported by ict and mobile applications. *Journal of Baltic Science Education*, 20(2), 277. doi.org/10.33225/jbse/21.20.277
- Sezer, A., Inel, Y., Seçkin, A. Ç., & Uluçinar, U. (2017). The relationship between attention levels and class participation of first-year students in classroom teaching departments. *International Journal of Instruction*, 10(2), 55-68. doi:10.12973/iji.2017.1024a
- Sun, J. C. Y., & Yeh, K. P. C. (2017). The effects of attention monitoring with EEG biofeedback on university students' attention and self-efficacy: The case of anti-phishing instructional materials. *Computers & Education*, 106(2017), 73-82. doi:10.1016/j.compedu.2016.12.003
- Tabakçioğlu, M., & Ülker, B. (2018). Neurosky biyosensör kullanarak beyin dalgaları, dikkat ve meditasyon değerlerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 7(1), 25-33. doi.org/10.18100/ijamec.265371
- Ülker, B., Tabakçioğlu, M. B., Çizmeçi, H., & Ayberkin, D. (2017, June). *Relations of attention and meditation level with learning in engineering education*. In 2017 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI) (pp. 1-4). Ieee.
- Vasiljevic, G. A. M., & de Miranda, L. C. (2019). The effect of auditory stimuli on user's meditation and workload in a brain-computer interface game. *Interacting with Computers*, 31(3), 250-262. doi:10.1093/iwc/iwz014

Beyin Dalgalarının Analizinde NeuroSky MindWave Aracının Kullanılabilirlik Özelliklerinin İncelenmesi

ORIGINALITY REPORT

4%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	www.yumpu.com Internet	35 words — 1%
2	arxiv.org Internet	25 words — 1%
3	www.vpngids.nl Internet	15 words — 1%
4	paperity.org Internet	13 words — < 1%
5	bccabe38-a5ce-4482-964d-2c4c9b023c94.filesusr.com Internet	11 words — < 1%
6	T. R. Henderson. "A Search for ELF/VLF Emissions Induced by Earthquakes as Observed in the Ionosphere by the DE 2 Satellite", Journal of Geophysical Research, 1993 Crossref	8 words — < 1%
7	dergipark.org.tr Internet	8 words — < 1%
8	Elif Tugba Sarac, Merve Ozbal Batuk, Mehmet Yarali, Mehmet Karadag, Songul Aksoy, Ertap	7 words — < 1%

- 9
- Sarune Baceviciute, Aske Mottelson, Thomas Terkildsen, Guido Makransky. "Investigating Representation of Text and Audio in Educational VR using Learning Outcomes and EEG", Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2020
- 6 words — < 1%
- Crossref