**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

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](#_ENREF_14)). 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 haraketliliğini 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](#_ENREF_9)).

* Sinyal toplama: Beyinden alınan EEG sinyallerinin güçlendirilerek örneklenmesi aşamasıdır.
* Sinyal önişleme-özellik çıkarma: Sinyal toplama işlemi sonrası gürültülerin arındırılması ve beyin sinyalleri dışında kalan istenmeyen sinyallerin çıkarılmasıdır.
* Sinyal işleme-dönüştürme algoritması: Gürültülerden arındırılan sinyaller işlendikten sonra yerine getirdiği zihinsel işleve göre gruplandırılmaktadır.
* Çıktı cihazı: Zihinsel işleve göre gruplandırılan sinyaller kullanılacağı uygulamaya göre bilgisayara gönderilmektedir.
* İşletim Protokolü: Hangi beyin sinyallerinin analiz edileceği ve sistem ile kullanıcı arasındaki etkileşim şekilleri belirlenir.

 Beyindeki sinir hücrelerindeki değişimleri 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 birçoğu EEG üzerinden yürütülmektedir. 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 sağlık riskleri gibi çeşitli özellikler sunmaktadır ([Girase & Deshmukh, 2016](#_ENREF_8)). EEG cihazları ile milisaniyelik hata payıyla güvenilir veriler elde edilebilmektedir. Bu yöntemde cerrahi müdahaleye ihtiyaç (sağlık 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 iletkenliği artırmak için jel ile birlikte kullanılmaktadır. Bunun dışında kuru elektrot kullanan EEG cihazları da bulunmaktadır ([Gürsel Özmen, 2010](#_ENREF_9)). 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 ölçülmektedir ([Constant & Sabourdin, 2012](#_ENREF_3)). Geniş bir frekans aralığına sahip olan EEG sinyallerinin genellikle 0-50 frekans aralığında değiştiği belirtilebilir. EEG yöntemi ile elde edilen frekans bantlarındaki sinyaller çözümlenerek farklı davranış özelliklerine yönelik kestirimler ortaya konulmaktadır ([Dündar, 2013](#_ENREF_7)). Beyin dalgalarının sınıflandırılması işlemi saniyede ortaya çıkan dalga sayısına göre yapılmaktadır (Ildız, 2007). Dalga boylarının sınıflandırılması ve özellikleri şu şekildedir ([Bal, 2020](#_ENREF_2); [Constant & Sabourdin, 2012](#_ENREF_3); [Gürsel Özmen, 2010](#_ENREF_9); [Kurşunet & Sazak, 2018](#_ENREF_13); [Matamoros et al., 2020](#_ENREF_14)):

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

*Theta Dalgası:* 4-8 Hz. aralığındadır. Hüsran, 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, rahatlama 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 görünümleri 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 çalışmaların 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 aktarılarak 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 desteği, 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** |  |  |  |  | DSI 24 Wearable Sensing EEG Headset w/NeuroGuide Gold Bundle |
| **İnternet adresi** | www.neurosky.com | www.emotiv.com/epoc-x | www.biopac.com/product/b-alert-x10-4 | www.emotiv.com/epoc-flex | www.wearablesensing.com/products/dsi-24 |
| **EEG kanal sayısı** | Tek kanallı (FP1 konumu) | 14 kanallı (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4) | 9 kanallı (Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, POz, P3, P4) | 32 kanallı (CMS/DRL referansları) | 21 kanallı (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 | 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** | 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** | * 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 kullanılabilmektedir. 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** | Tabakçıoğlu 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-geribildirimin etkililiğinin 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 sağladığında mavi; pil gücü zayıfladığında ise kırmızı renkte yanmaktadır ([Neurosky, 2018](#_ENREF_1)).

**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 oC 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 edinimini 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 kablosuz 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 güvenirliği ve çeşitliliği konusunda tereddüt oluşturabilir. Bu konuda Erat ve Onay Durdu (2021) yaptıkları araştırmada 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](https://doi.org/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. P*ediatric Anesthesia, 22*(6), 539-552. doi.org/[10.1111/j.1460-9592.2012.03883.x](http://dx.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](https://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.* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ildız, G. (2007). *Ah şu beynimiz “Göz ardı edilemeyen tıbbi gerçekler”*. FSF Priniting 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](https://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/ijicic.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](https://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](https://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](http://dx.doi.org/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](http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2016.12.003)

Tabakçıoğlu, 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., Tabakcıoğlu, M. B., Çizmeci, 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](https://doi.org/10.1093/iwc/iwz014)