

TEKNOFEST**HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ****ENGELSİZ YAŞAM TEKNOLOJİLERİ YARIŞMASI
PROJE DETAY RAPORU****PROJE ADI: DÜŞÜNÜYORUM YAZIYORUM****TAKIM ADI: NÖROGRUP****Başvuru ID: 430838****TAKIM SEVİYESİ: Üniversite-Mezun**

İçindekiler

	Sayfa No
1. Proje Özeti	3
2. Problem Durumunun Tanımlanması	3
3. Çözüm	4
4. Yöntem	4
5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü	10
6. Uygulanabilirlik	10
7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması	10
8. Proje Fikrinin Hedef Kitlesi (Kullanıcılar)	11
9. Riskler	11
10. Kaynaklar	12



1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Beyin bilgisayar arayüzü (BBA) sistemleri özellikle felçli insanların hayatlarını kolaylaştırabilecek çok önemli teknolojik bir gelişmedir (Zisk vd., 2022). Bu sistemlerde doğruluk, hız ve uygulanabilirlik çok önemlidir. En popüler elektroensefalografi (EEG) tabanlı BBA sistemlerinden biri P300 tabanlı heceleme modelidir (Farwell ve Donchin, 1988). Diğer bir deyişle; EEG sinyalleri ile yazı yazabilmektir. Bu model, bir matriste yer alan harflere ait satır ve sütunların rastgele flaşlanmasıyla birlikte hedef karaktere ait satır ve sütun flaşlandığında kullanıcının ortaya çıkan P300 sinyallerinin yakalanması esasına göre çalışır. Bu projede yazdırılmak istenen kelimenin olasılığı veri tabanında var olan sözlükten hesaplanarak sıradaki harfin belirlenen olasılığa göre daha fazla flaşlanmasını sağlayan olasılıksal ve P300 genliğinin büyük olmasını sağlayan 3 boyutlu sütun uyaran sunum paradigması gerçekleştirilmiştir. Önerilen bu yöntemle kişiden bağımsız ve yüksek performanslı olarak nitelendirilebilecek en az %92 sınıflandırma doğruluğuna sahip bir düşünce ile yazı yazma imkanı sağlayan bir P300 heceleme modeli üretilmiştir.

2. Problem Durumunun Tanımlanması:

Önerilen bu projenin kapsamı tamamen felçli kişilerin sadece düşünceleri ile yazı yazarak çevreleri ile iletişim kuracakları bir BBA tasarımı ile ilişkilidir. Konuyu detaylandırarak olursak; insanlar makinelerle iletişim kurmak için çeşitli araçlardan faydalanır. Örneğin; klavyeler, bilgisayar faresi, joystickler, dokunmaya duyarlı yüzeyler (bazı banka bankomatlarının ekranları, dizüstü bilgisayarlarda imleci yönlendirmek için dokunmatik yüzey, akıllı telefonlar), özel eldivenler ve mikrofonlar. Tüm bu komut verme araçları kullanıcının kas sistemini kontrol edebildiği varsayımına dayanır. Ancak, durum her zaman böyle olmayabilir. Çünkü söz gelimi motor nöron hastalıklarından biri olan, amiyotrofik lateral sklerozis (ALS) binlerce kişiyi etkilemekte ve insanların istemli hareketlerini engellemektedir (Tajmirriahi vd., 2022). ALS, beyin ve omurilikteki motor nöronlara saldırmakta ve kısa sürede hasta hiçbir kasını hareket ettiremez hale gelmektedir. Benzer duruma yol açan motor nöron problemleri arasında beyin kökü travması, beyin ya da omurilik yaralanması, serebral palsy, kas distrofileri ve çoklu skleroz gibi hastalıkların da birçok hastayı etkilediği bilinmektedir. Kamuoyunda kısaca düşünce gücü ile elektronik cihazların kontrolü olarak adlandırılrsa da literatürde beyin-bilgisayar arayüzleri (*ing.* Brain Computer Interface, BCI), olarak isimlendirilen bu teknoloji beynin nöral aktivitesini dijital komutlara çevirerek insan beyni ile bilgisayar gibi elektronik cihazlar arasında iletişim kurmaya yarayan sistemlerdir. Bu sistemler temelde yine kamuoyunda “*Fenerbahçeli Sedat Hastalığı*” olarak bilinen ALS gibi beyni sağlıklı olan ancak kas sistemini kullanamayan kişilerin hayatlarını kolaylaştırmak çevreleri ile iletişim kurmalarını sağlamak için geliştirilmektedir. BBA sistemlerinin en büyük sınırlamalarından biri, kişiye özgü modelin geliştirilmesinin uzun sürmesi, böylelikle de hasta bireylerin tak-çalıştır konforundan yararlanamamasıdır. Yapılan bu çalışma ile geliştirilen üç boyutlu sütun flaşlanma paradigması kullanılarak kişiden bağımsız çalışan (tak-kullan özelliği) BBA sınıflandırma modeli geliştirildi. Bu sayede ALS gibi engelli kişiler kas sistemlerini kullanmadan sadece düşünceleri ile çevresindeki insanlarla iletişim kurabilecek ve isteklerini onlara iletebilecektir. Bu sayede hem bu tür felçli insanların hem de bakıcı ya da onlarla ilgilenen yakınların hayatları son derece kolaylaşmış olacaktır.

3. Çözüm

Önerilen proje ile gerçel zamanlı P300 heceleme modeli sadece sağlıklı bireylerin değil aynı zamanda ALS hastalarının da kullanabileceği biçimde tasarlanmıştır. Tasarlanan model ön bir eğitim ve kalibrasyon aşamasına ihtiyaç duymadan “**Tak-Kullan**” mantığına uygun olup, kullanıcıyı yormayan 3 boyutlu (3B) bir görsele ve hecelenecek kelimeyi veri tabanında saklanan sözlükten kontrol ederek olasılıksal bir görsel uyaran sayısı üreten bir paradigmaya sahiptir. Tüm bu özellikleri ile literatürde var olan P300 tabanlı uygulamalardan çok daha üstün özelliklerde olan kişilerin kas sistemlerini kullanmadan sadece düşünceleri ile bilgisayar ekranında yazı yazmalarına imkan verecek bir BBA sistemi üretilmiştir. Üretilen modelin detaylı anlatımlı görsel videosuna (yaklaşık 6 dk) şu linkten erişim sağlanabilir:

<https://www.youtube.com/watch?v=rBf7faGLqwE&feature=youtu.be>

Bu videonun ilk 2 dakikasında EEG elektrotlarının yerleşim aşaması gösterilirken, özellikle 2. dakikasından sonra katılımcının düşüncesi ile yazı yazma aşaması izlenebilir. Bu videonun 2 dk'lık bir versiyonuna ise şu linkten erişim sağlanabilir:

https://www.youtube.com/watch?v=GTxZwdmc2ic&ab_channel=%C3%96nderAydemir

Geliştirilen bu proje finale kalması halinde tüm ekipman yarışma alanına getirilerek istenilmesi halinde jürinin de kullanımına sunulacaktır. Ya da jürinin istediği bir kelime takım üyelerinden biri tarafından sadece düşünce ile yazdırılacaktır. Geliştirilen projenin kullanımı esnasında çekilen bir fotoğraf Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Üretilen düşünce ile yazı yazma projesinin kullanımı esnasından çekilen bir fotoğraf

4. Yöntem

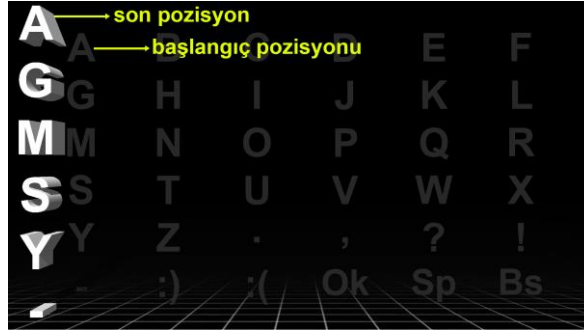
Önerilen projeye ait yöntem aşağıda alt başlıklar halinde verilmektedir.

4.1. Katılımcılar

Önerilen projenin başarısı yaşları 20-35 arasında değişen 10 erkek ve 5 bayan olmak üzere 15 sağlıklı gönüllü ile test edilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli etik izinler ve katılımcılardan onam belgesi de alınmıştır.

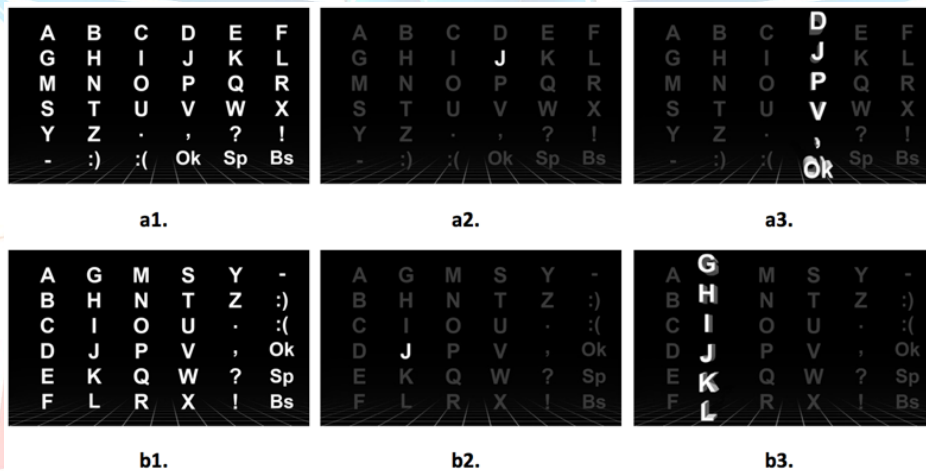
4.2. Paradigma

Önerilen projede 3 boyutlu sütun paradigmasına ait bir görsel Şekil 2'de gösterilmektedir. Her karakterin 3B perspektif görünümle yeniden konumlandırıldığı şekilden açıkça görülmektedir. Örneğin, “A” karakterinin başlangıç ve son konumları farklıdır ve bu şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2. Üç boyutlu görsel paradigma

3 boyutlu animasyon efekti üç adımda gerçekleştirilir. İlk adımda, 75 milisaniye (ms) (ara uyarın aralığı, AUA) (ing. interstimulus interval, ISI) boyunca arka plan karakter seti görüntülenir. Ardından, yanıp sönen sütun, ön planda 100ms boyunca 3 boyutlu bir şekilde görüntülenir. Son olarak, arka plan karakter seti 75ms boyunca tekrar görüntülenir. Bu 3 adımlı animasyon Şekil 3'te gösterilmektedir.

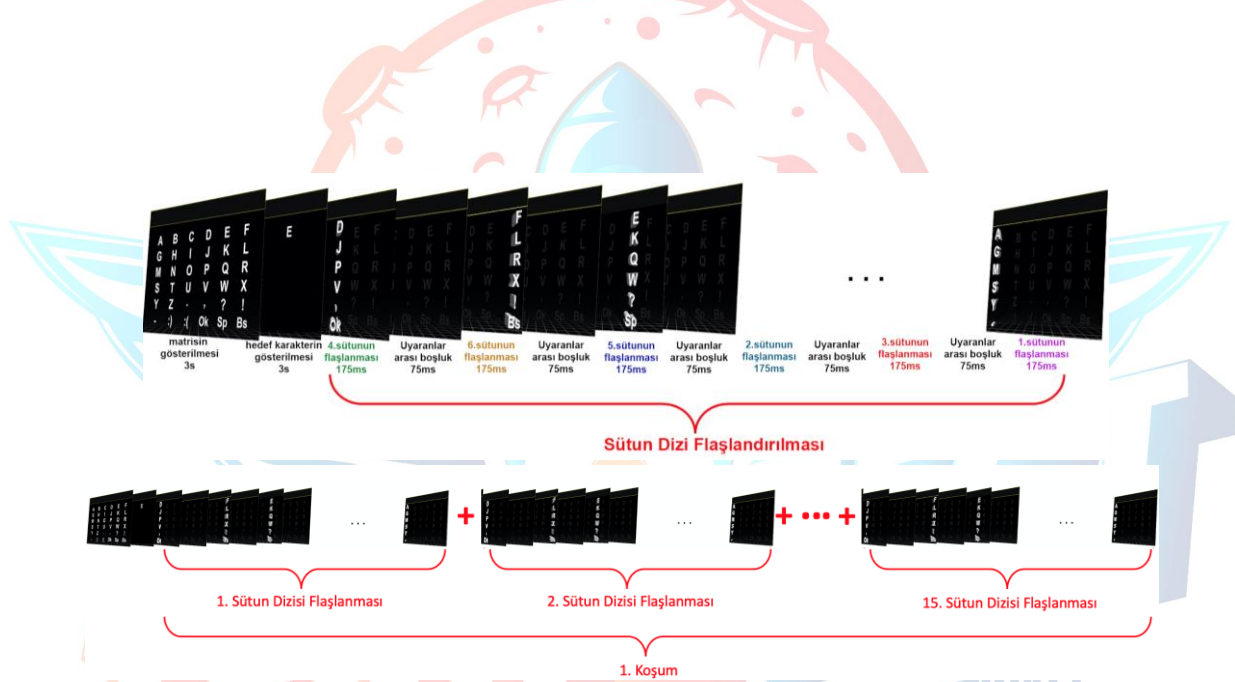


Şekil 3. Üç boyutlu animasyon efekti

4.3. Deney Prosedürü

Katılımcılar ekrandan 1 metre uzaklıkta bulunan rahat bir koltukta otururken kendilerine P300 yazım paradigması kullanılarak 1920 x 1080 çözünürlüklü bir LED ekranda hedef uyarınlar gösterilmiştir. 10 kişilik birinci grup ile sınıflandırma modelinin geliştirildiği çevrimdışı oturum gerçekleştirilecektir. Bu oturumda katılımcılara ‘NEURON’, ‘FUNCTION’ ve ‘FEATURE’ kelimelerini harf harf odaklanarak yazdırmaları istenmiştir. Daha önce modelin geliştirildiği oturuma katılmamış farklı 15 kişi ile de modelin test edildiği çevrimiçi (gerçek zamanlı) oturum gerçekleştirilmiştir. Test aşamasında da oturuma katılan kişilerden ‘NEURON’, ‘FUNCTION’ ve ‘FEATURE’ kelimelerini yazdırmaları istenmiştir. Katılımcıların düşüncelerinden harfler P300 sinyallerinin ileri sayısal işaret işleme metotları ile kestirilmesiyle tespit edilmiştir. Şöyle ki;

çevrimdışı oturumda katılımcıya hedef karakter gösterilerek (Şekil 3.a2) 6 sütunun tamamı rastgele flaşlandırılır. Bu durum sütun dizisi flaşlandırılması olarak tanımlanır. Bir hedef karakter için toplam 15 sütun dizisi flaşlandırılması gerçekleştirilir. Bu durum da bir koşum olarak tanımlanır (Şekil 4). Bir hedef karakter için gerçekleştirilen 15 koşum sütun flaşlanması sonucunda toplam 90 flaşlanma (6x15) gerçekleştirilmektedir. Daha sonra satırların transpozunu (satur^T) alınarak hedef karakterin yeni konumu gösterilip, satur^T'lar için de aynı prosedür tekrarlanmıştır. Dolayısıyla bir hedef karakter için 90 sütun ve 90 satur^T flaşlanması olmak üzere toplam 180 flaşlanma gerçekleştirilmektedir. Bu oturumda her bir katılımcıya toplam 60 harf hedef karakter olarak gösterilip EEG kaydı alınmıştır. Vurgulamak gerekir ki, kişiden bağımsız “TAK-KULLAN” modelin oluşturulabilmesi amacıyla gerçekleştirilen çevrimdışı oturumda olasılıksal yaklaşım kullanılmamıştır. Çevrimdışı deneyler sırasında deneklere, göz kırpmaya dahil gereksiz hareketlerden kaçınmaları, hedef karaktere dikkat etmeleri ve hedef karakterin flaşlanma sayısını sessizce saymaları talimatı verilmiştir. Deneklerin dinlenmesi için her 15 hedef karakterden sonra 3 dakikalık ara verilmiştir.

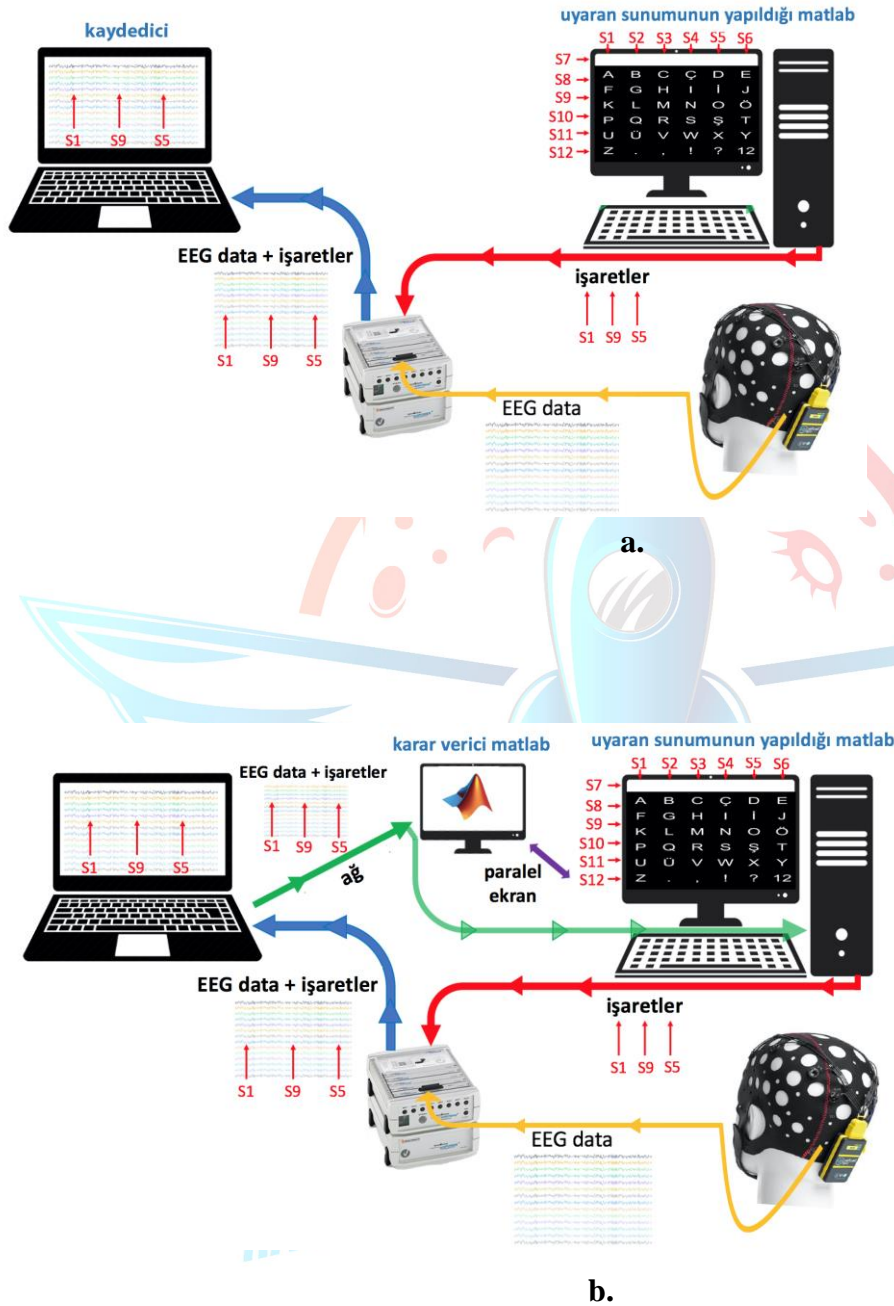


Şekil 4. Deney prosedürü.

Çevrimiçi oturumda ise katılımcıya ‘NEURON’, ‘FUNCTION’ ve ‘FEATURE’ kelimelerinin her bir harfi hedef karakter olarak söylenmiştir. Bu defa satur ve sütunlar 15 kez değil yazdırılmak istenen kelimenin veri tabanında tutulan sözlüğe göre bir sonraki harfin olasılığına göre belirlenen miktarda flaşlanması otomatik olarak sağlanmıştır. P300 paradigmasının bozulmaması amacıyla flaşlanma sayıları satur ve sütunun her birinde 5-14 arasında değiştirilmekte olup toplam flaşlanma sayısının 84 olması sağlanmıştır.

Çevrimdışı oturumda veri toplama düzeneği ise Şekil 5.a'da gösterilmiştir. Sistem, biri uyarın sunumunun yapıldığı diğeri ise veri kaydının yapıldığı iki bilgisayar ve uyarın sunumunun yapıldığı esnada beynin verdiği tepkilerin ölçüldüğü EEG cihazından oluşmaktadır. Uyarın sunumunun yapıldığı bilgisayardan gelen hangi sütun ya da satur^T'un flaşlandığına dair indis bilgisi ile, elektrotlardan gelen beynin elektriksel aktivitesi EEG cihazı tarafından birleştirilerek kayıt bilgisayarına gönderilmektedir. Böylece, EEG verileri ve görsel uyarın indeksi, zaman kilitli olarak kaydedilir. Çevrimiçi oturumda bu sisteme ilaveten EEG ve indis bilgileri yerel ağ aracılığıyla uyarın sunumunun yapıldığı bilgisayarda arka planda çalışan ikinci bir MATLAB (karar verici)

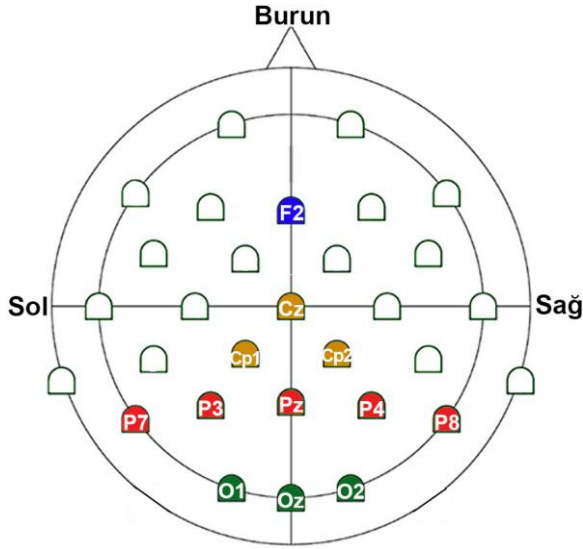
yazılımına gönderilmektedir. Gelen bilgilerden hedef karakter belirlenerek uyarı sunumunun yapıldığı diğer MATLAB yazılımına aktarılmaktadır. Uyarı sunumu yapıldıktan sonra verilerin arka planda çalışan karar verici MATLAB'a gönderilmesi ve hedef karakterin tespit edilmesi süreci yaklaşık 3-4 saniye (s) sürmektedir.



Şekil 5. Veri toplama prosedürü a. çevrimdışı b. çevrimiçi.

4.4. Veri Kaydı

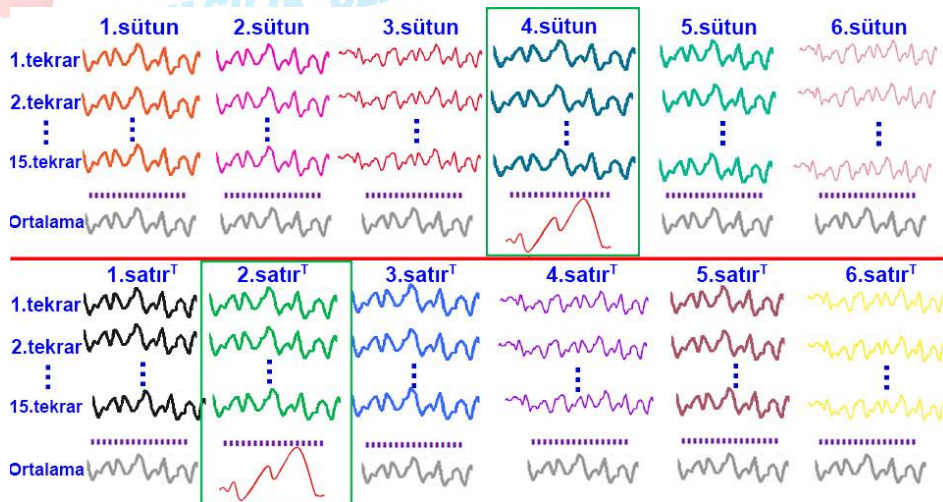
EEG verileri actiCHamp (Brain Products GmbH, Gilching, Almanya) cihazıyla uluslararası 10-20 yerleşim sistemine göre 250Hz örnekleme frekansı, 'Fz' referans elektrotu ve oksipital bölgeye yerleştirilen 11 elektrotla kaydedilmiştir. Deney boyunca tüm elektrotların empedansı $5k\Omega$ 'un altında tutulurken, elektrotların dizilimi Şekil 6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 6. Uluslararası 10-20 sistemine göre yerleştirilmiş elektrotu

4.5. Veri İşleme ve Analizi

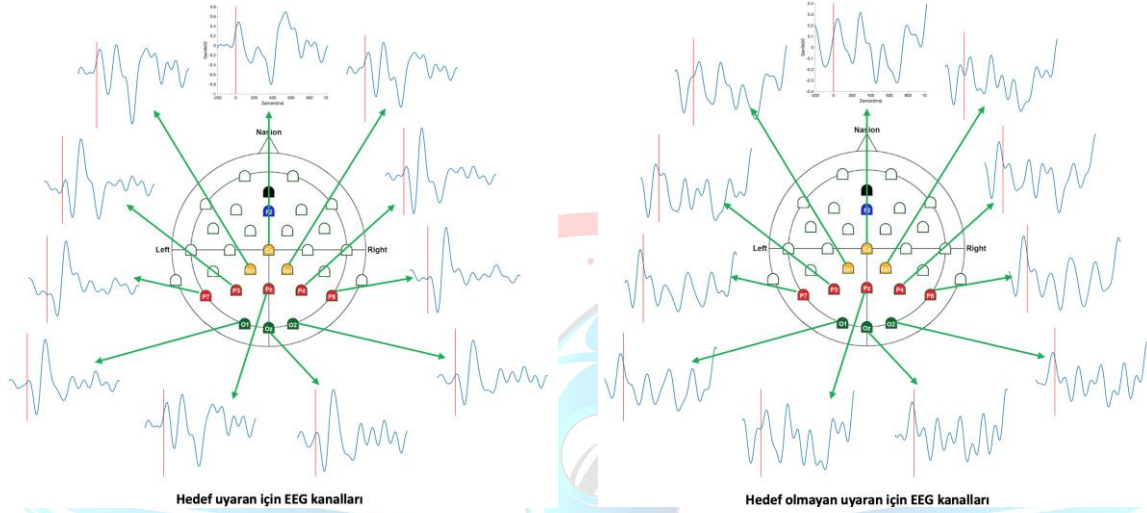
Elde edilen EEG sinyallerine ön işleme, parçalama, taban hattının temizlenmesi ve ortalama alma olmak üzere dört aşamalı veri işleme adımı uygulanmıştır. Ön işleme adımı, 11 kanaldan elde edilen EEG verileri, P300 dalgaları düşük frekans bileşenlerine sahip olduğundan gürültüyü gidermek için önce 0.1-10 Hz bant geçiren filtreden geçirilmiştir. Parçalama adımı, sütun ya da satır^T flaşlandıktan sonraki 1000ms'lik ve önceki 200ms'lik EEG verisi tüm kanallar ve sütun-satır^T indisleri için ayrı ayrı elde edilir. Şekil 7'de bir kanal için tüm sütun ve satır^T'larına ait 15 flaşlanma sonrası 1.2s'lik (1000ms + 200ms) EEG parçalarının temsili görüntüleri görülmektedir. Taban hattının temizlenmesi aşamasında ise 1.2s'lik her bir EEG parçasına temel gürültü giderme işlemi uygulanır. Bunun için hedef uyarın gelmeden önceki 200ms uzunluğundaki EEG verisi taban çizgisi olarak belirlenir ve uyarıdan sonraki 1000ms veri bu taban hattına göre düzenlenir. Ortalama alma aşamasında ise her bir kanal için tüm sütun-satır^T'larına ait parçaların ortalaması alınarak olay ilişkili potansiyeller (OİP) elde edilir ve bu durum Şekil 7'de görülmektedir. Şekilde örnek olarak hedef karakterin 'J' olduğu durumda 4.sütun ve 2.satır^T'una ait ('J' harfinin 4.sütun ve 2.satır^T'da olduğu Şekil 3.a2'de görülmektedir) EEG parçalarının ortalaması alındığında P300 sinyali elde edilirken diğer sütun veya satır^T'ların ortalamasında P300 sinyali elde edilemeyecektir.



Şekil 7. Bir kanal için sütun ve satır^T'ları flaşlanmalarından sonra elde edilen EEG parçaları

4. 6. Sınıflandırma

Örnek olması açısından sağlıklı bireylerden alınan EEG verilerine göre hedef (P300-Olan) ve hedef olmayan (P300-Olmayan) uyarılara ait tüm denemelerin ayrı ayrı kanallar bazında ortalamaları alınarak (*ing.* grand average) elde edilen grafikler ise Şekil 8’de görülmektedir. Analizde kullandığımız tüm kanallarda (Cz, Cp1, Cp2, Pz, P3, P4, P7,P8, Oz, O1 ve O2) P300 ve P300-Olmayan EEG datalarının birbirinden ayrıldığı bu grafikten açıkça görülmektedir. Grafiklerde yatay eksen ms cinsinden zamanı, dikey eksen ise milivolt (mV) cinsinden genliği göstermektedir.



Şekil 8. Hedef ve hedef olmayan uyarılara ait tüm denemelerin kanal bazında ortalamaları.

Analizde kullanılan kanallara ait uyarı sonrası 1000ms’lik (250 zaman noktası) ve uyarı öncesi 200ms’lik (50 zaman noktası) EEG parçaları yan yana eklenerek sınıflandırılacak veri seti oluşturulmuştur. Analizde kullanılan 11 adet kanala ait 1200ms’lik EEG parçası (300 zaman noktası) yan yana eklenerek 3300 zaman noktalık veri elde edilecektir. Veri seti her defasında rastgele %60 eğitim, %20 doğrulama ve %20 test olmak üzere üç parçaya ayrılarak toplam 50 kez sınıflandırma işlemi gerçekleştirilerek model oluşturulmuştur. Bu amaçla, tek çıkış nöronlu iki katmanlı yapay sinir ağı (YSA) modeli kullanılacaktır. Gizli katmanların sayısı ve nöronların sayısı, sinir ağının karmaşıklığını tanımladığından, bu projede 50 nöronlu tek bir gizli katmana sahip YSA modelini kullanılacaktır. Tek çıkış nöronlu ve iki katmanlı sinir ağı modeli aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\hat{y} = \tilde{g}\left(\sum_{j=1}^M w_{1j}^{(2)} * g\left(\sum_{i=1}^d w_{ji}^{(1)} * x_i + w_{j0}^{(1)}\right)\right) + w_{11}^{(2)} \quad (1)$$

Burada x_i , i’inci girişi, $w_{ji}^{(k)}$ k’ncü katmandaki i’inci nöronu j’inci nörona bağlayan katman ağırlığını, g tan-sigmoid fonksiyonunu ve \tilde{g} lineer fonksiyonu ifade etmektedir. Ayrıca, d giriş vektörünün boyutunu ($d=300$) ifade etmektedir. Tüm veri seti için toplam hata ise;

$$J(w) = -\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [y_n \log \hat{y}_n + (1 - y_n) \log (1 - \hat{y}_n)] \quad (2)$$

Burada N veri setindeki toplam örnek sayısını, \hat{y}_l sinir ağı modeli tarafından hesaplanan tahmini değerdir ve y_l ise örneğin etiketini ifade etmektedir.

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Önerilen bu projenin yenilikçi yönleri maddeler halinde aşağıda verilmiştir:

- ALS gibi felçli bireylerin sadece düşünceleri ile yazı yazmalarına olanak veren bir sistem tasarlanmıştır.
- Kullanıcılarını zihinsel olarak benzerlerine göre çok daha az yoran 3 boyutlu görsele sahiptir.
- Kullanıcının yazmakta olduğu kelimenin olasılığını hesaplayarak olasılığı yüksek olanın daha fazla flaşlanması ile daha yüksek sınıflandırma doğruluğu sağlamaktadır.
- Benzerlerine göre kullanım öncesinde bir adaptasyon, eğitim ve kalibrasyon aşamasına gerek olmadan, kişiden bağımsız (subject-independent) ve “Tak-Kullan” kolaylığı özellikleri ile önemli bir avantaja sahiptir.
- Ülkemizde bu kapsamda ilk ve tek olması, diğer özellikleri ile de dünya literatürüne katkı sağlamaktadır.

6. Uygulanabilirlik

Geliştirilen yazılım sadece ALS hastalarının değil aynı zamanda sağlıklı bireylerinde kullanabilmelerine imkan verecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, bilgisayar ekranında bir harfin düşünce ile belirlenmesi aynı zamanda her türlü elektronik cihazın da bu sisteme adapte edilebileceği anlamına gelmektedir. Mesela, “A” harfinin bulunduğu hücre bir klimanın açılması için bir komut haline de dönüştürülebilir. Bu açıdan düşünüldüğünde sadece yazı yazmak değil her türlü elektronik cihazın ALS’li ya da sağlıklı birey tarafından kullanılmasına imkan verecek hale de dönüştürülebileceği açıktır. Son zamanlarda dünya gündeminden düşmeyen iş adamı Elon Musk elindeki finansal kaynağın önemli bir kısmını beyin bilgisayar arayüzü teknolojisine yatırmıştır. Bu yatırımı haberlerde NeuroLink olarak tanıtılmaktadır. Bu yönü ile teknofest kapsamında sunduğumuz bu projenin ülkemiz geleceği için ne kadar isabetli olduğunu göstermektedir. Yarışma kapsamında elde edilecek bir başarı bizleri fazlasıyla motive ederek bu teknolojinin sanayiye taşınması yönünde teşvik edecektir. Diğer taraftan, final aşamasına davet edilmesi ve istenilmesi halinde sağlıklı bireylere yönelik geliştirilen bu ürün kullanılacaktır ve projenin rahatlıkla uygulanabilir olduğu bu şekilde gösterilebilecektir.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Bu metinde açıklanan proje 12 ayda gerçekleşmiş olup, tahmini maliyet ve proje zaman çizelgesi aşağıda tablo halinde verilmiştir.

İş Paketi	Ay	Maliyet
Deney Ortamının (cihazlar, deney paradigması) hazırlanması	İlk 3 ay (1-3. aylar)	Bilgisayar: 15.000 TL EEG cihazı: 250.000 TL
Çevrim Dışı EEG kayıtlarının alınması	4-6. aylar	Sarf malzeme gideri: 1000 TL
Kişiden bağımsız modelin oluşturulması	7-9. aylar	0 TL
Olasılıksal deney paradigmasının hazırlanması	10. ay	0 TL
Gerçel zamanlı (çevrimiçi) testlerin yapılması	11-12. aylar	Sarf malzeme gideri: 1000 TL

Toplam Maliyet: 267.000 TL'dir.

Bu tablodan da görüldüğü gibi geliştirilen bu teknolojiye esas bilimsel katkı yazılımsal aşamada olmasına rağmen kullanılan ithal EEG cihazı ana gider kalemini oluşturmaktadır. Bu teknolojiye yerli ve milli olan tam bir sistem için VESTEL firması ile işbirliği kurup bu ithal ürünün 20.000 TL'ye üretilbileceği düşünülmektedir. Böylece maliyet 37.000 TL'ye kadar düşürülecektir. **Bu proje hali hazırda iç imkanlarımızla gerçekleştirildiği için Teknofest yarışması kapsamında projenin gerçekleştirilmesi için donanımsal bir maddi destek talebimiz yoktur.**

8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):

ALS'li bireylerin yaşamları hem kendileri hem de yakınları açısından oldukça trajiktir. Bu hastalıktan mustarip bireyler sağlıklı insanlar gibi düşünebilme yetenekleri olmasına rağmen kas sistemlerini kullanamadıklarından çevreleri ile hiçbir şekilde iletişim kuramazlar. Susadıklarını, acıktıklarını, ilaca ihtiyaç duyduklarını veya tuvalet ihtiyaçları olduklarını yakınlarına ya da bakıcılarına bildiremezler. İki harfli hayati bir ihtiyaç olan "SU" kelimesini dahi anlatamazlar. Her ne kadar boş gözlerle karşılına bakıyor gibi görünseler de aslında çevrelerine iletmek istedikleri çok farklı istekleri olabilir. Önerilen bu proje ile ALS gibi kas sistemini kullanamayan felçli bireylerin çevreleri ile iletişim kurabilecekleri bir sistem kurulmuştur. Böylece bu bireylerin hayatlarına bir ışık tutulmuş olacak hem kendileri hem de yakınları bir nebze olsun mutlu olacaklardır. Şunu da belirtmek gerekir ki; dünyaca ünlü NeuroLink şirketi de herkesin kullanabileceği BBA teknolojisi üzerine çalışırken ülkemizin de bu teknolojik gelişimden geri kalmaması açısından önerilen bu projenin önemi daha da artmaktadır. Özellikleri bakımından gerçel zamanlı bir BBA uygulaması olarak ülkemizde tek iken önerilen 3 boyutlu ve olasılıksal paradigma özellikleri ile literatürdeki uygulamalara göre de üstünlükleri sağlık alanına önemli katkılar sunulmuştur.

9. Riskler

Bu projenin gerçekleştirilmesinde EEG sinyallerinin kaydı için kullanılan cihaz Almanya menşelidir. Bu cihazın yerli üretimi sağlanırsa tamamen yerli ve milli BBA sistemleri dünya piyasasına sunulabilir. Şu anda ülkemiz piyasasında yerli EEG cihazı üretilmiyor olması tamamen yerli bir BBA ürünü üretilmesi için bir risktir. Ancak, yakın zamanda VESTEL firması yerli bir EEG cihazı üretmiştir. Dolayısıyla, benzer yaklaşımla VESTEL'in EEG cihazı üretmesi durumunda bu yerli donanım kullanılarak tamamen yerli BBA modelleri üretililebilecektir.

10. Kaynaklar

Farwell, L. A., & Donchin, E. (1988). Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 70(6), 510-523.

Tajmirriahi, M., Amini, Z., Rabbani, H., & Kafieh, R. (2022). An Interpretable Convolutional Neural Network for P300 Detection: Analysis of Time Frequency Features for Limited Data. *IEEE Sensors Journal*.

Zisk, A. H., Borgheai, S. B., McLinden, J., Deligani, R. J., & Shahriari, Y. (2022). Improving longitudinal P300-BCI performance for people with ALS using a data augmentation and jitter correction approach. *Brain-Computer Interfaces*, 9(1), 49-66.

