



Alınış tarihi (Received): 19.08.2024

Kabul tarihi (Accepted): 16.01.2025

## İnsan Makine Etkileşimi için EEG Sinyallerinin İstatistiksel Özellik Çıkarımına Dayalı Olarak Offline Beyin Bilgisayar Arayüzünün Gerçeklenmesi

Mehmet DEMİR<sup>1,\*</sup>, Raşit KÖKER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hibrit ve Elektrikli Taşıtlar Teknolojisi, Arifiye MYO, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.

<sup>2</sup>Elektrik Elektronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.

\*Sorumlu Yazar: mehmetdemir@subu.edu.tr

**ÖZET:** Günümüz teknolojisi insan etkileşimi ile hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu etkileşimin artmasında insanların makinelere olan ilgisi önemli bir durumdur. Düşünebilen bir varlık olan insan, makine ve cihazlarla düşünme yapısını ve uzuvlarını kullanarak etkileşim kurar. Bu çalışmanın temel amacı insan beyni ve elektriksel aktiviteleri incelenerek insanın düşünce aktiviteleri tespit edilmeye çalışılmak ve bu tespitlerle temel düzeyde offline Beyin Bilgisayar Arayüzü(BBA) geliştirmektir. İnsan beyninde oluşan bilişsel(zihinsel) aktivite işlemlerinin gerçekleşmesinde beynin hangi kısımlarının aktif olarak kullanıldığı hakkında literatür araştırması yapılmıştır. Beynin vücut uzuv kontrollerini gerçekleştirirken Elektroensefalogram (EEG) elektriksel verilerin(potansiyellerin) oluştuğu anlaşılmıştır. Beyinde oluşan elektriksel verilerin incelenmesi için 10 sağlıklı insandan alınan 1 dakikalık EEG verileri physionet ortamından ham veri(dijital sinyal) olarak alınan (EEG Signals RSVP) veri seti incelenmiştir. EEG sinyallerinin alt bantlarının karmaşıklığı ve lineer olmayışı tespit edilmiştir. Bu tespitin anlaşılması amacıyla MATLAB Grafik arayüz tasarımı yapılmıştır. EEG sinyallerinin özellik çıkarımı ve seçimi için istatistiksel metotlardan yararlanılmış elde edilen bulgular MATLAB grafik arayüzüne eklenmiştir. Sınıflama amacıyla kullanılan yapay zekâ algoritmalarından olan Yapay Sinir Ağları (YSA) hızlı sonuç üretmesi amacıyla kullanılmıştır. Sınıflama sonucunda YSA aracılığı ile EEG alt bantlarından olan insanların bilişsel aktivitelerinin anlaşılması için kullanılan Alfa ve Beta sinyalleri ayırt edilmiştir. Bu durum kişi bazlı, minimum %57, maksimum %93 ve 10 kişinin genel de %85 olarak tespit edilmiştir. Özgün olarak ayırt edilen Alfa ve Beta sinyalleri bilişsel aktivite için grafik arayüz de görselleştirilmiştir. Elde edilen %85 doğruluk durumu kullanılarak insan bilişsel aktivitelerinin gelişmiş teknolojik cihazlar(makineler) ile iletişim kurması için MATLAB grafik arayüz geliştirilerek temel düzeyde BBA tasarımlarına olanak oluşturulmuş ve offline BBA geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – EEG, YSA, Biyoistatistik, BBA-İnsan Makine Etkileşimi, MATLAB

## Implementation of an Offline Brain Computer Interface for Human Machine Interaction Based on Statistical Feature Extraction of EEG Signals

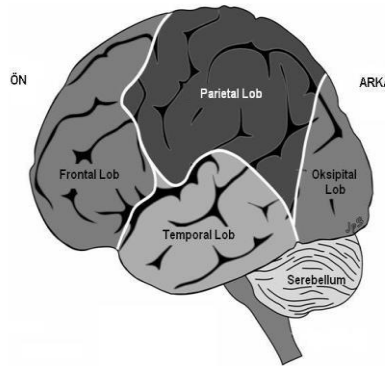
**ABSTRACT:** Today's technology is increasing rapidly with human interaction. People's interest in machines is an important factor in the increase of this interaction. Being a thinking being, humans interact with machines and devices by using their thinking structure and limbs. The main purpose of this study is to analyze the human brain and its electrical activities in order to determine the human thought activities and to develop a basic offline Brain Computer Interface (BCI) based on these findings. Literature research has been conducted on which parts of the brain are actively used in the realization of cognitive (mental) activity processes occurring in the human brain. It was understood that Electroencephalogram (EEG) electrical data (potentials) occur while the brain performs body limb controls. In order to examine the electrical data generated in the brain, 1-minute EEG data from 10 healthy people were analyzed as raw data (digital signal) from the physionet environment (EEG Signals RSVP) data set. The complexity and nonlinearity of the sub-bands of the EEG signals were detected. MATLAB Graphical interface design has been done to understand this determination. Statistical methods were used for feature extraction and selection of EEG signals and the findings were added

to the MATLAB graphical interface. Artificial Neural Networks (ANN), one of the artificial intelligence algorithms used for classification, was used to produce fast results. As a result of the classification, the ANN distinguished the Alpha and Beta signals, which are used to understand the cognitive activities of people with EEG sub-bands. This was determined as minimum 57%, maximum 93% and overall 85% for 10 people. The uniquely distinguished Alpha and Beta signals were visualized in a graphical interface for cognitive activity. Using the 85% accuracy obtained, a MATLAB graphical interface was developed for human cognitive activities to communicate with advanced technological devices (machines), enabling basic level BCI designs and offline BCI was developed.

**Keywords** – EEG, ANN, Biostatistics, BCI-Human Machine Interaction, MATLAB

## 1. Giriş

Günümüzde insan makine etkileşimi artmaktadır. Bu etkileşimin artmasında insan vücudunun özelliklerinin araştırılması önemli bir etkidir. İnsan vücudunda araştırılan temel bölümlerin en başında beyin yapısı gelmektedir beynin insan vücudunu kontrol eden bir merkez olduğu, karmaşık bir biyolojik yapıya sahip olduğu bilinmektedir. Bu yapı günümüzde araştırılarak farklı canlılar üzerinde deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Tülay E.'nin yapmış olduğu çalışmada, insan vücudunun kontrol merkezi olan beyin yapısının değerli bölümlerinden serebral korteks (beyin kabuğu) ve hemisfer olan iki bölüm ile oluştuğunu belirtmiştir. Bu yapılarda birçok algısal faaliyetlerden olan dokunma, duyma, görme vb. durumların gerçekleştirildiğini bildirmiştir. Her bir hemisfer yapı oksipital (O), frontal (F), temporal (T) ve parietal (P), olarak adlandırılan 4 ayrı loba ayrılabilmesini belirlemiştir. Bu lobların beyindeki bölümleri Şekil 1'de gösterildiği gibi verilmiştir.



Şekil 1. Beynin 4 Ana Lobu. (Tülay, 2009)  
Figure 1. The 4 Main Lobes of the Brain. (Tülay, 2009)

Beyin yapısını incelendiğinde Parietal lob kısmında görsel ve dokunsal algılama, tanıma ile yönlendirme yapmaktadır. Frontal lob kısmında karar verme, problem çözme, duyguları kontrol etme, gibi konularda işlem yapmaktadır. Oksipital lob genel olarak görsel algılama konusunda; Temporal lob kısmında işitme, uzun dönemli hafıza ve konuşma gibi konularda görev yapabildiğini ortaya koymuştur (Tülay, 2009). Teo'nun yapmış olduğu çalışmada beynin temel vücut fonksiyonlarından olan solunum, açlık hissi, kalp atış hızı, kan basıncı ve uyku döngüsü vb. düzenlemelerinin ötesinde olduğunu belirtmişlerdir. Dış çevredeki fiziki durumları algılayıp anlamlandırmamızı (duyusal bütünleşme) ve dışsal uyarılara uygun bir şekilde yanıt verme ile adapte olma yeteneğimizi (yürütme fonksiyonu) sağlayan merkezi bir yapı olduğunu anlatmaya çalışmıştır (Teo, 2018). Herculano-Houzel yapmış olduğu çalışmada beyin ile sinir sisteminin anatomik olarak fonksiyonel temel birimlerini oluşturan özelleşmiş hücrelerin nöronlar olduğunu belirlemiştir. Nöronların çeşitli önemli hayati işlevleri yerine getirerek kas hareketlerinin koordinasyonundan duyusal algılama süreçlerine, düşünsel faaliyetlerden sonraki hafıza oluşumuna kadar işleve giren ve faaliyet gösteren hücreler olduğunu yaklaşık 100 milyar olarak bilinen bu hücre sayılarınının 86

milyar olduğunu ileri sürmüştür (Herculano-Houzel , 2009). Toppr yapmış olduğu çalışmada duyuşsal nöronlar aracılığı ile çevresel uyarıcıları algılayarak içsel uyarılara dönüştürüp bilgiyi sinir sistemi içinde ileten nöronlar olduğunu belirlemiştir. Bu nöronların duyuşsal uyarılarla etkileşime girerek faaliyete geçebildiklerini ve duyuşsal bilgileri merkezi sinir sistemi olan beyin veya omurilik boyunca ileterek diğer sinir sistemi bileşenlerine yönlendirdiklerini ileri sürmüştür. (Toppr,2021). Güven' nin yapmış olduğu çalışmada insan vücudunda bulunan gözler, beyin, kalp ve kas grupları gibi bazı organların işlevleri sırasında elektriksel aktivite üretebildiklerini belirlemiştir. Bu elektriksel aktivitelerin aynı zamanda biyopotansiyeller olarak da adlandırmıştır. Bu potansiyellerin gürültülerden arındırılarak filtrelenip yükseltilerek bilgisayar ortamına alınabilen cihazları incelemiştir (Güven,2012). Bu literatür araştırmalarından elde edilen bilgiler sentezlenerek karar verme, problem çözme ve duyguları kontrol etme gibi konularda frontal lobda oluşan Elektroansefalogram (EEG), sinyali sinir hücre gruplarının elektriksel aktivitesi (Başar, 1980, D.P. Subha ve ark. 2010) sonucunda oluştuğı anlaşılmıştır. Bu elektriksel potansiyeller kendi içerisinde farklı frekanslardaki alt sinyallerin birbiri üzerine binmesi ile oluştuğı tespit edilmiştir. Birbiri üzerine binen sinyallerin ayırt edilerek karar verme, duyguları kontrol etme vb. hangi bilişsel durumda oluştuğı, hangi genlik ve frekans değerine sahip oldukları incelenerek Tablo 1' de gösterildiğı gibi verilmiştir. Tabloda verilen bu EEG alt bantları 5 tipten oluşmaktadır (Başar 2004, Walther ve, ark. , 1944, Niedermeyer ve ark. , 1993 ). Bu alt bantların frekans durumları ile genlik değerleri ayrıntılı şekilde tabloda verilmiştir.

**Tablo 1.** Beş Tip EEG Sinyali ve Özellikleri  
**Table 1.** Five Types of EEG Signals and Their Characteristics

EEG Sinyali	Genlik (uV)	Frekans Hz	Oluşum Durumu
Delta	20-200	0,6 -4	Uyku durumu, hızlı olmayan göz hareketlerinde
Teta	5-100	4-8	Sinirli durumlarda
Alfa	2-10	8-13	Dinlenme sırasında gözlerin kapanmasından sonra
Beta	1-6	13-30	Düşünme durumunda
Gama	<2	30-100	Beynin kısa sürede hızlı çalışma durumunda

Tablo 1 de gösterildiğı gibi beş tip EEG sinyali ve özellikleri düşünme durumunun beta dalgasında oluştuğı anlaşılmaktadır. Bu beta sinyalinin beyin ön lobu üzerinden alınması için yapılan literatür araştırması sonucunda L. Badillo ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada biyomedikal uygulamalar amacıyla taşınabilir düşük gürültü sağlayabilen çok kanallı elektrot sistemine sahip bir EEG sistem tasarımı yapmışlardır. Bu çalışmada kullanılan elektronik devrelerde sinyal kuvvetlendirici katı için AD620 enstrümantasyon kuvvetlendiricisi seçilerek kullanılmış daha sonra OP77 opampları tercih edilerek bu kuvvetlendiricinin kuplajı yapılmıştır. Çalışmalar kapsamında elde edilen biyosinyalleri bilgisayar ortamına aktararak incelemiştir (L. Badillo ve ark. 2003, Q. Wang ve ark.,2010). Bilgisayar ortamına alınan bu sinyallere Aydemir ve Kayıkçıoğlu'nun yapmış olduğu çalışmada ön işleme çalışmaları, öznelik çıkarma işlemleri ve sınıflandırma aşamaları üzerinde durularak geliştirme yapılmıştır (Aydemir ve Kayıkçıoğlu 2009). Aygun ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada beyin sinyallerinin sınıflandırılması amacıyla özellik çıkarımlarına ve sınıflanmalara değinilmiştir. Sınıflama çalışmalarında özellik çıkarımının ve sınıflanmanın değerlerini tablo olarak vermiştir. Özelliklerin tekli kalması ve Yapay Sinir Ağı (YSA) denenmediğı anlaşılmıştır (Aydoğan ve ark.,2021). EEG işaretlerinin sınıflandırılması amacıyla daha çok başvurulan sınıflandırma algoritmalarından k-en yakın komşuluk (kNN) ile birlikte kullanılan destek vektör makineleri (DVM) üstünlükleri göz önünde bulundurularak kritik noktaları baz alıp karşılaştırılmalı olarak incelemiştir (Aydemir ve Kayıkçıoğlu 2009). Coşkun ve arkadaşının yapmış olduğu çalışmada, anestezi altında bulunan bir hastadan alınan EEG

verileri; biyosinyal işlemede çok sık kullanılan; güç spektral yoğunluğu, dalgacık dönüşümü, Fourier dönüşümü (FFT), ve band geçiren filtre vb. farklı yöntemler aracılığı ile incelenmiştir. İnceleme sonuçlarına göre elde edilen bilgiler yardımıyla daha sonra yapılacak yeni çalışmalar için önerilerde bulunmuşlardır (Coşkun ve İstanbullu, 2012). Bu kapsamda özellik çıkarımlarının sinyal tanımlamada önemli bir işlem olduğu anlaşılmıştır. Aydemir'in yapmış olduğu çalışmada beyin yapısının henüz yeterince keşfedilemediğinden mühendislik, eğitim, spor ve finans alanlarına kadar birçok disiplinde araştırmaların olduğundan bahsetmişlerdir. Düşünce gücü olarak değerlendirilen BBA'nın geleceğin teknolojisi olarak görmüş elektronik cihazları ve neroprotezleri kontrol edilebileceğinden bahsetmiştir (Aydemir 2022). E. Lopetegui ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada EEG sinyallerini kullanarak tenis bilgisayar oyununu oynamak için çalışma yapmışlardır. (E. Lopetegui ve ark.,2011). A.S. Royer ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada sanal helikopter kontrolü için çalışma yapmışlardır. (A.S. Royer ve ark.,2011).Ergün ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada BBA'nin karar verme noktasında yeterince gelişmediğine değinerek avantaj ve dezavantaj durumlarını ortaya koymuşlardır. EEG sinyallerine ek olarak yakın kızılötesi spektroskopisi(YKS) birleştirmeyi denemişlerdir. Bu iki durumun birleştirilmesi ve ayrı ayrı kullanılması durumunu değerlendirmişlerdir (Ergün ve ark. 2024). M. Rajya Lakshmi ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada BBA için beyin sinyali işleminin her aşamasında uyarlanması gereken çeşitli metodolojileri ele almayı amaçlamış bu düzeyde çalışma geliştirmişlerdir (M. Rajya Lakshmi ve ark. , 2014). Peksa ve Dmytro'nun yapmış olduğu çalışmada BBA'nin TIP, Eğitim ve diğer alanlarda ilişkili olduğunu yenilik ve gelişmede önemli olduğunu açıklamışlardır ( Peksa ve Mamchur, 2023). Wang ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada 2 tip BBA geliştirmesi yapmışlardır. Özellik çıkarma işlemlerinde korelasyon analizini kullanarak frekans değerlerine odaklanmışlardır. Sınıflama için DVM kullanarak doğruluk oranlarının arttığını tespit etmişlerdir (Wang ve ark.,2018).

Bu çalışma kapsamında beyin genel yapısı göz önünde bulundurularak literatür araştırmasından elde edilen bilgilerle frontal lob bölümü ana başlıkta incelenmiştir. Frontal lob üzerinden alınan sinyallerin genlik değerlerine ve frekans aralıklarına göre ayrıldığı bu sinyallerden Beta sinyalinin odaklanma durumunda olduğu anlaşılmıştır. Bu sinyallerin bilgisayar ortamına alınırken birçok yöntemin olduğu en çok kullanılan sistemin elektrot sistemleri olduğu belirlenmiştir. Bu sinyallerin bilgisayar ortamında yükseltilerek alınabildiği tıp, mühendislik ve eğitim gibi alanlarda kullanıldığı tanımlanmıştır. Elde edilen bu sinyallerin üst üste bindiği ve ayrıştırılarak alınması gerektiği belirlenmiştir. Literatüre bakıldığında bu sinyallerin ayrıştırılması için frekans ve genlik bazlı özelliklerinin çıkarılmasının önemli olduğu tespit edilmiştir. Bu sinyallerin karmaşık ve lineer olmaması nedeniyle özellik çıkarımlarında genellikle tekli ayrıştırmalar yapılarak sınıflama yapıldığı ve sınıflanmasında genelde makine öğrenmesi kullanıldığı yapay zekâ algoritmalarının nadir olarak kullanıldığı belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda genelde özellik çıkarımlarının ve sınıflamanın doğrudan sonuç olarak verildiği ayrıntıların görselleştirilmediği tespit edilmiştir. Sınıflama sonucunda oluşturulan BBA'nin temel düzeyde kaldığı ve geliştirilmesi için çalışmaların yapılması gerektiği benimsenmiştir. Bu doğrultuda ilerlenerek elde edilen EEG sinyallerinden BBA çalışmalarında kullanılması için bu sinyalinin görsel ve sinyal değerlerinin bilinmesinin gerekli olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle Beta sinyalinin frekans aralığı çok yakın olan alfa sinyalinden ayrıştırılması adına gerekli olan EEG verileri incelenmiştir. EEG verileri için yapılan çalışmaların BBA geliştirme konusunda önemli bilgilerde yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda birçok denek üzerinde düşünme durumunda ortaya çıkan EEG sinyalinin algılanması için çalışma yapan physionet web sitesi belirlenmiştir. Physionet web sitesinin veri bankası kısmından EEG verileri özel

ortamlarda filtrelenmiş ortamda alınan ham veriler ele alınarak MATLAB ortamında analiz edilmiştir. (Matran-Fernandez ve Polo, 2017; Demir, 2019). BBA tasarlanması amacıyla alınan veriler MATLAB ortamında merkezi eğilim ve dağılım ölçülerine göre istatistiksel metotlar ile incelenmesi, özellik çıkarımlarının yapılması ve sınıflandırmak için planlanmıştır. MATLAB grafik arayüzü tasarlanırken literatür çalışmalarına ek olarak gerçek zamanlı çalışan sistem tasarımları düşünülerek sinyal ve özelliklerinin tüm özellik çıkarımları ve sonuçları ile verilmesi planlanmıştır. Sinyalin sınıflandırılması amacıyla literatürde az kullanılan yapay sinir ağları ile aktif olarak çalışabilen offline bir BBA tasarlanması planlanmış günümüzde aktif olarak kullanılan derin öğrenme sonuçları ile kıyaslaması için çalışma yapılmıştır. Yapılması planlanan BBA nün düşünce gücünü kullanarak hazırda gelişmekte olan insansız sistemlerin kullanımının kolaylaştırılması ile insan makine etkileşiminin artırılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda düşünce gücü olan beta sinyalinin sınıflamasının en yüksek oranda tespit edilmesi için çalışma yapılmıştır. Çalışma verilerinin daha sonra gelecekte insansız hava araçları, kara araçları ve deniz araçları vb. araçların kontrolünü sağlamak amacıyla kullanılabileceği düşünülmüş offline olarak tasarlanan BBA yüzünün gerçek zamanlı çalışması için planlama yapılarak çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalar, **Materyal ve Yöntemler bölümünde**; sinyallerin (verilerin) elde edilmesi ile özellikleri, nasıl oluşturulduğu, özellik çıkarımında nelerin kullanıldığı ve bunların BBA aktarılma durumu hakkında çalışma planlanmıştır. **Bulgular ve Sınıflama Bölümünde**; elde edilen bulgular ile sinyalin sınıflandırılması ve anlamlandırılması için gerçekleştirilen YSA modeli yapısının tasarlanarak geliştirilmesinin yapılmasıyla BBA anlık olarak aktarılması planlanmıştır. **Sonuçlar ve Karşılaştırmalar bölümünde**; elde edilen sonuçların değerlendirilerek iyileştirmelerin yapılması ve en iyi sonuçları elde edilmesi için denemelerin yapılması planlanmıştır. Derin öğrenme yöntemlerinden biri olan Convolution Neural Networks (CNN) sonuçlarının karşılaştırılmasının yapılması konusunda çalışmalar yapılarak tartışmaya açılmıştır

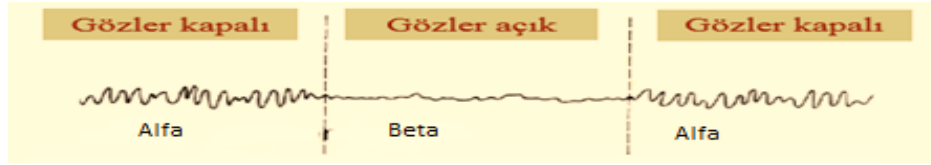
## 2. Materyal ve Yöntem

Bu bölüm kapsamında EEG sinyallerinin elde edilmesi, sinyal aralıklarının belirlenmesi ile insan düşünme durumundaki sinyallerin net tespit edilerek özellik çıkarımlarının yapılması ve bu sinyallerin BBA aktarılması yapılmıştır. Bu kapsamda gerçek zamanlı çalışabilen insan makine etkileşimlerinin oluşturulması adına yararlı olabilecek bilgi birikiminin oluşturulması ve uygulama geliştirilmesine olanak sağlanması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda çalışmalar i5 işlemci desteğine, 8 GB Ram kapasitesine sahip bir bilgisayar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yapılması planlanan sistem tasarlanarak Şekil 2'de gösterildiği gibi verilmiştir.



Şekil 2. Sistem Tasarımı  
Figure 2. System Design

Sistem tasarımı Şekil 2 de gösterildiği gibi planlanmıştır. EEG verileri (sinyaller) literatür araştırmalarına göre tespit edilip physionet web sitesi aracılığı ile araştırmacılara sunulan ortamdaki istatistiksel yöntemler için alınmıştır. Daha sonra alınan verilerin Matlab BBA de aktararak aktif olup olmadığı kontrol edilerek varsa bir hata veya eksik veri doğrulanarak giderilmesi sağlanmıştır. Gelen verilerin aktif olduğu anlaşıldıktan sonra istatistiksel analiz çalışmaları yapılmıştır. İstatistiksel çalışmalar da tüm kanal ve sinyal değerleri BBA de görselleştirilmiştir. Görselleştirilen tüm sinyaller sınıflama amacıyla daha önceden hazırlanan YSA verilerle değerler BBA görselleştirilmiştir. Bu sistem tasarımının ayrıntılı olarak açıklamak için Şekilsel olarak incelenen sinyal değerleri EEG alt bantlarının teoride bulunan bilgileri ile aynı aralıkta olduğu anlaşılmıştır. Şekil 3'te gösterildiği gibi beta sinyallerinin alfa sinyallerine göre görsel olarak birbirinden farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Bu alt bantlardaki sinyaller ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde göz kapaklarının açık kalma veya kapalı kalma durumlarında alfa ile beta sinyallerinin net bir şekilde yer değiştirdiği görülmüştür. Bu değişim alfa sinyalinin genliğinin fazla frekansının az olmasından ve beta sinyalinin genliğinin düşük frekansının fazla olmasından dolayı birbirinden ayrılarak tespit edileceğini ve konut oluşturacağını göstermektedir.



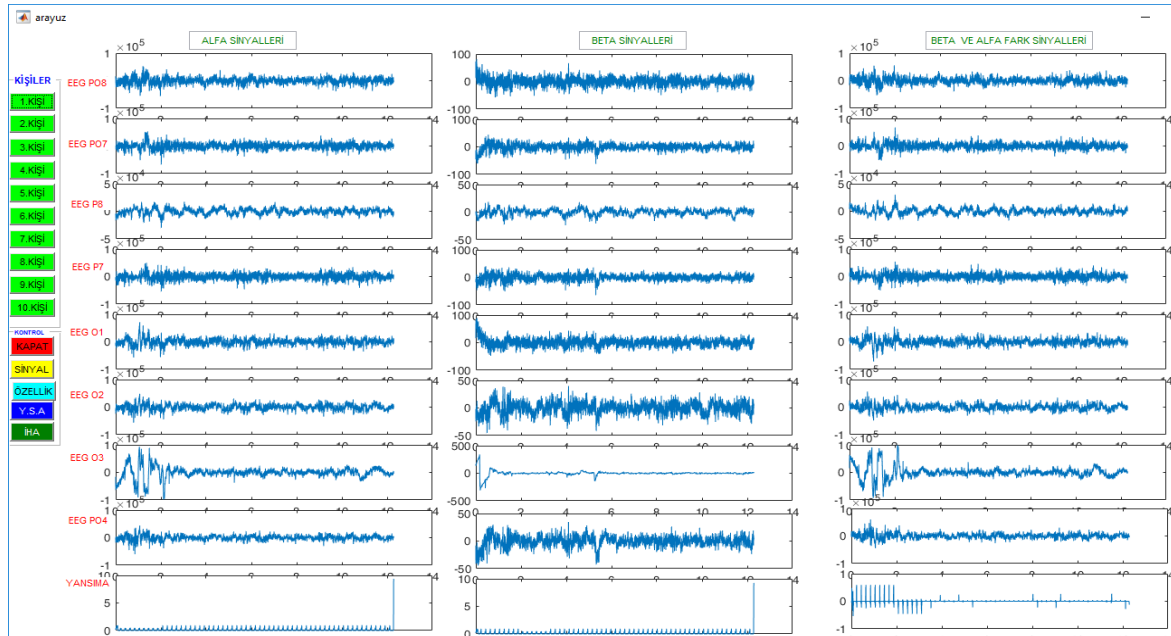
Şekil 3. Göz Açık Kaldığında Alfa Dalgasındaki Değişim  
Figure 3. Change in Alpha Wave when the Eye is Open

Physionet web site kaynağından alınan ham veri setinde bulunan verilerin alfa ile beta sinyalleri 10 sağlıklı bireyin 10-20 elektrot sistemi tarafından 2048 Hz örnekleme frekansı ile kayıt altına alınmıştır. Bu kayıt işlemi sırasında deneklerin fiziki ortamdan gelen etkileri tamamen absorbe edilmiştir. Sinyal 0.15-28 Hz aralığında filtrelenerek yalıtılmış bir fiziki ortamda elde edildiği çalışmada belirtilmiştir. Alfa sinyalleri alınırken deneklerin rahatlamış bir durumda gözleri (göz kapakları) kapalı durumda iken kayıt alınmaktadır. Beta sinyalleri alımı sırasında ise aynı deneklere yeterli düzeyde uzun bir süre ara verilmiştir. Daha sonra Londra şehrini havadan göreceği şekilde tasarlanmış 11,5x11,8 derecelik görsel ve bu görseldeki fotogerçekçi bir şekilde üst üste bindirilmiş, rastgele döndürülmüş ve konumlandırılmış bir uçak gösterilmiş bu resmi incelemeleri istenerek kayıt alındığı anlaşılmıştır (Matran-Fernandez ve Polo, 2017; Demir, 2019). Bu kayıtlar Physionet web sitesindeki veri tabanından hızlı seri görsel sunum (RSVP) görevi sırasında 5,6 ve 10 Hz göre gösterilen görseller üzerinden alınmıştır. Her sunum oranı ve katılımcı için iki dosya bulunmaktadır. Bunlar "a" veya "b" olarak belirlenmiştir hangisinin önce çekildiğini göstermektedir. Bu dosyaların her biri, dosya adında belirtildiği gibi bir katılımcının sürekli EEG kaydını ve sunum hızını içerdiği ve numunelerin mikroVolt cinsinden ölçüldüğü belirtilmiştir. Her görüntünün başlangıcını ve hedef olup olmadığını (T=1) ve (T=0) belirlenerek kayıtlar alınmıştır. Görüntünün bir hedef içermesi durumunda, ağırlık merkezinin x koordinatı (piksel cinsinden ölçülen 0-640 aralığında) da verilmiştir. T=1 ve T=0 anında Alfa ve Beta sinyallerinin üst üste bindiği düşünülerek özellik çıkarımlarına, özellik seçimlerine ve sınıflamalar dikkatlice incelenmiştir.

**Tablo 2.** Sinyal Durum ve Özellikleri  
**Table 2.** Signal Status and Characteristics

Sn	SİNYAL	ÖZELLİKLERİ	Sn	SİNYAL	ÖZELLİKLERİ
1	Veri kaynağı	Physionet	8	Fiziki koşullar absorbe edildi mi?	Evet
2	Ham veri	Evet	9	Uyartım var mı?	Evet
3	Elektrot sistemi	10-20	10	RSVP uygulandı mı?	Evet
4	Format(Dosya uzantısı)	.mat	11	Genlik değeri	uV(mikrovolt)
5	Sağlıklı insan	Evet	12	RSVP değerleri	5hz,6hz ve10hz
6	Örnekleme frekansı	2048	13	Çalışmaya uygun mu?	Evet
7	Filtreleme frekansı	0.25-28 Hz.	14	İnsan Sayısı	10

Bu veriler MATLAB dosya uzantısı olan .mat uzantılı dosya formatı ile alınıp MATLAB programı aracılığı ile düzenlenerek özellik çıkarma işlemi için hazır hale getirilmiştir. Şekil 4. de gösterildiği gibi temel düzeyde BBA GUI tasarımı aracılığı ile incelenmiştir. Alfa ve Beta sinyalleri ve değerleri görselleştirilerek anlamlı hale getirilmiştir. Sinyaller arasındaki farklar alınarak kanallardaki farklılıklar gözlemlenerek doğrulanmıştır.

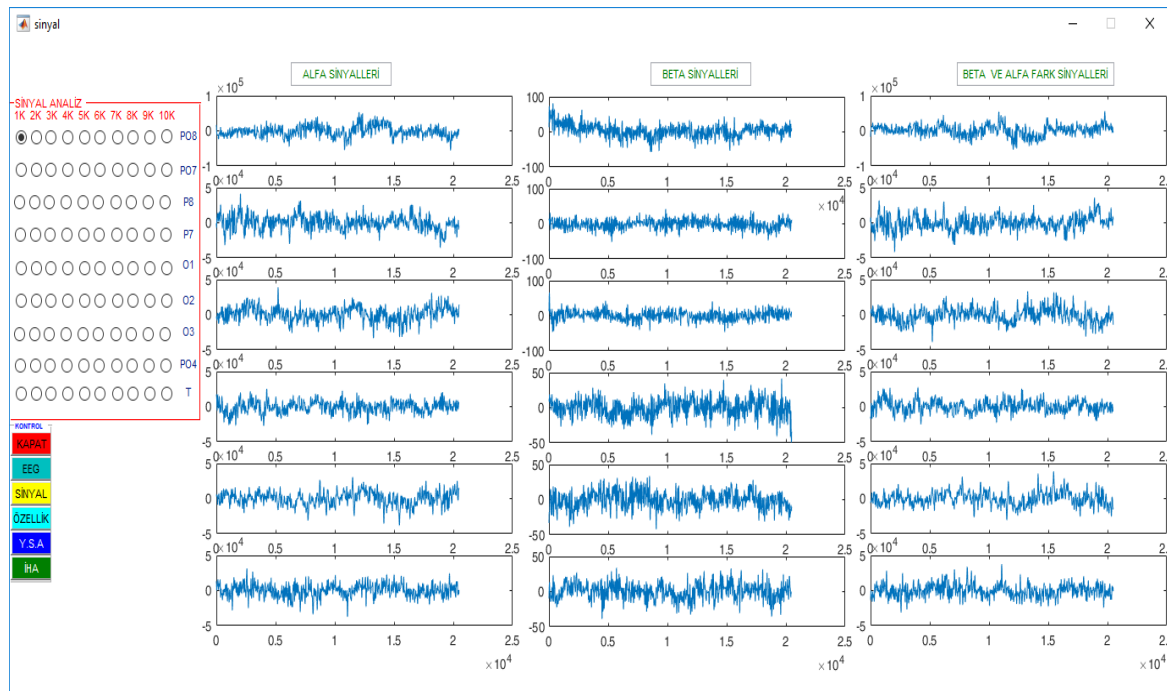


**Şekil 4.** 1 Dakikalık EEG Sinyal Durumu.

**Figure 4.** 1 Minute EEG Signal Status.

Doğrulan veriler offline olarak MATLAB ortamında alınarak temel düzeyde BBA GUI yardımıyla istatistiksel metotlar ile özellik çıkarımı yapılmıştır. İstatistiksel özellik çıkarımı için merkezi eğilim ölçüleri ile dağılım ölçüleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. İstatistiksel metotların tercih edilmesi literatür araştırmaları ile EEG sinyalleri gibi büyük verileri bu metotlar sayesinde küçük bilgiler ile temsil edilmesini sağladığından önemli olmuştur. Biyosinyallerin işlemede band geçiren filtre, dalgacık dönüşümü, Fourier dönüşümü (FFT), ve güç spektral yoğunluğu gibi istatistiksel metotlardan özellik çıkarımı için yararlanılmıştır. Merkezi eğilim ölçüleri bir değer veya veri çevresinde toplanan merkezi olan bir değeri gösterirler. Dağılım ölçüleri ise değişkenin alabileceği değerlerin birbirinden ne kadar farklı veya uzak olduğunun gösterir. Bu nedenle istatistiksel analizlerde tercih edilen merkezi eğilim ölçüleri; tepe değer, aritmetik ortalama, ortanca, geometrik ortalama ve çeyrekliklerdir. Dağılım ölçüleri ise sırasıyla varyans, standart sapma, değişim genişliği, çeyrek sapma, standart hata ile değişim katsayısıdır. Bu metotlara ek olarak EEG sinyalinin alt bantlarının olması her alt bant da farklı anlamlı bilgilerin

bulunduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu durum ile öncelikle bant geçiren filtre kullanılarak sinyalin temizlenmesi, temizlenen sinyallerden alt bantlarda bulunan bilgilerin belirlenmesi amacıyla Fourier dönüşümü (FFT) uygulanması yapılmıştır. EEG sinyalinin lineer olmaması nedeniyle Dalgacık dönüşümü sayesinde sinyalin ve alt bantlarının başlangıç ve bitiş noktalarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Bunun yanısıra özellikle zaman ölçek dilimlerinin belirlenerek bunun tüm alt bantlara uygulanmasının yapılmasında sinyalin tanımlanması sağlamıştır. Güç spektral yoğunluğu ise sinyalin frekans başına düşen watt değerini bize vererek sinyalin alfa ve beta doğruluğunun belirlenmesinde büyük önem arz ettiği göstermiştir. Bu sebeplerle Sağlıklı 10 bireyin her birinin 1 dk. Sinyallerin öncelikle her bir 10 saniyelik(Tancı ve ark.,2023) kısımlardaki sinyallerin grafiksel değerleri GUI ortamında Şekil 5’de gösterildiği gibi verilmiştir. Bu Alfa ve Beta sinyalleri incelenerek arasındaki değişimler gözlemlenmiştir. Sinyaller arasındaki farklar alınarak 1 dk. tüm sinyal 10 sn lik sinyaller olarak ayrıntısı ile incelenmiş ve doğrulanmıştır.

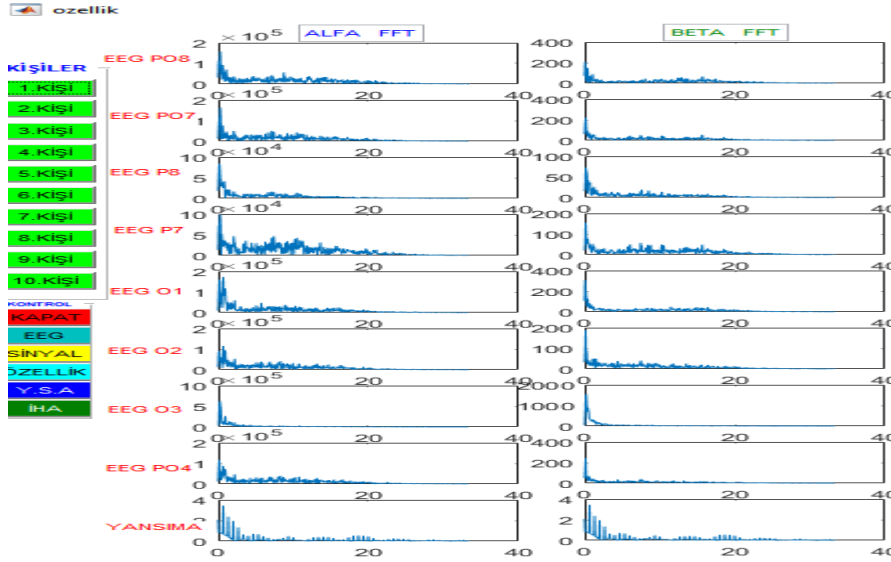


Şekil 5. 10 Sn. EEG Sinyal Durumu.

Figure 5. 10 Sec. EEG Signal Status.

Şekil 5’de gösterilen bu değerler istatistiksel metotlarla incelenerek özellik çıkarımları yapılmıştır. Özellik çıkarımları yapılırken literatürde yapılan çalışmalarda bu metotların birkaçının kullanıldığı tüm değerlendirmenin yapılmadığı anlaşılmıştır. Bu eksik olan metotların zaman ve frekans domain de olanları tespit edilmiş ve kullanılması için çalışma yapılmıştır. Özellik çıkarımı ve seçimi için istatistiksel metotlardan olan mutlak sapma, veri adeti entropi, FFT, güç analizi, Min, moment, max, dağılım genişliği, ortalama, toplam, standart sapma, varyans, ortanca, kovaryans, çarpıklık, basıklık, interquarter, percentel kullanılmıştır. Bu belirlenen özellikler ham olarak alınan büyük EEG verilerini daha küçük veriler ile temsil edebilmemizi sağlamıştır. Özellik çıkarımı ve seçimi için belirlenen istatistiksel metotlar MATLAB temel düzeyde BBA GUI arayüz yazılımı ile gerçekleştirilerek her 1 dakikalık sinyallerin sayısal değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu sayısal değerler deneklerin deney sırasında rahatlamaları ve odaklanmaları hakkında bilgi içermesinden dolayı gözlemlenerek incelenmiş önemli bilgiler elde edilmiştir. Aldığımız veriler 9 kanaldan toplandığından verileri incelerken sinyallerin üst üste binme durumları göz önünde bulundurularak istatistiksel metotlardan merkezi dağılım ölçüleri ve

merkezi eğilim ölçüleri ile özellik seçimi ve çıkarımları literatür ayrıntılarına göre yapılmıştır. Özellikle alfa ve beta sinyalleri arasında FFT ve Güç analizleri arasındaki farkların belirgin olduğu bu durumların her ayrı kanalda farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. Şekil 6’de gösterildiği gibi Alfa(Mavi) ile Beta(Yeşil) sinyalinin özelliklerinin anlık olarak çıkarılması sağlanmış MATLAB temel düzeyde BBA GUI ortamında verilmiştir.



Şekil 6. BBA Özellik Çıkarımı.  
Figure 6. BBA Feature Extraction.

Şekil 6 da gösterildiği gibi alınan sinyallerin özellik çıkarımları yapılarak daha küçük anlamlı veriler ile gösterilmesi sağlanmıştır. Bu veriler sinyal gibi büyük verilerin daha küçük veriler ile temsil edilmesi için önemlidir. Bu anlamlı verilerden BBA ve YSA tasarımı için özellik seçimi yapılan alfa ve beta sinyallerinin istatistiksel özellikleri tablolar halinde verilmiştir. Tablo 3 de gösterildiği gibi alfa sinyali istatistiksel özellik seçimi yapılarak verilmiştir.

Tablo 3. Alfa Sinyal Özellik Seçimi  
Table 3. Alpha Signal Feature Selection

İstatistiksel Özellikler	Alfa Özellik Seçimi								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Max	52938	52907	17250	50032	71376	48313	93157	44094	0,939
Min	-55594	-67313	-30094	-54313	-56344	-56501	-98751	-59845	0
Ortalama	-148,4604862	-47,755475	-140,6817	-119,213	-122	-156,21	-554,726	-130,735	0,082787
Ortanca	0,094	0,188	0,063	0,031	-0,094	0,063	0,313	-0,031	0
Standart Sapma	10584,30785	10143,4826	5224,7206	9991,314	11194,2	10238,54	20226,23	8598,154	0,189101
Varyans	112027572,8	102890239	27297705	99826364	1,3E+08	1,05E+08	4,09E+08	73928252	0,035759
Toplam	-18242824,55	-5868192,8	-17286968	-1,5E+07	-1E+07	-1,9E+07	-6,8E+07	-1,6E+07	10172,85
Kovaryans	112027572,8	102890239	27297705	99826364	1,3E+08	1,05E+08	4,09E+08	73928252	0,035759
Çarpılık	-0,100328289	0,02566224	-0,275634	-0,08794	0,14975	-0,07217	-0,66736	-0,11984	2,519552
Başlık	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Percentil	-6531	-6188	-3406	-6375	-7000	-6813	-6438	-5563	0
Dağılım Genişliği	108532	120220	47344	104345	127720	104814	191908	103939	9,374947
Mutlak Ortalama Sapma	8069,153435	7666,78611	4049,759	7709,999	8491,62	8044,209	12569,07	6598,757	0,132819
Veri Adeti	122880	122880	122880	122880	122880	122880	122880	122880	122880
İnterquater	12937	12219	6750	12563	13813	13501	14032	10844	0
Monent	-1,59E+20	6,49E+19	-1,45E+19	-1,01E+20	1,11E+21	-7,73E+19	-3,25E+22	-1,72E+20	0,572753
Entropi	1,406928389	1,4298932	1,6856056	1,407625	1,38039	1,384002	1,385739	1,446161	1,471892
FFT	16281	-0,375	-4344	-2688	-2750	-6063	-15781	-0,719	0,376
Güç Analizi	112048693,5	102891419	27317265	99839572	1,3E+08	1,05E+08	4,09E+08	73944525	0,043328
Kanal Adı	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tablo 4 de gösterildiği gibi verilen Beta özellik seçimi yapılarak verilmiştir. Bu özellikler sınıflandırılarak komut sistemi oluşturulacağından en belirgin özellikler dikkate alınarak sıralanmıştır.

**Tablo 4.** Beta Sinyal Özellik Seçimi  
**Table 4.** Beta Signal Feature Selection

İstatistiksel Özellikler	Beta Özellik Seçimi								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Max	81,095	44,376	18,563	40,938	90,064	39,782	339,786	34,594	0,956
Min	-57,22	-61,907	-23,844	-64,063	-47,876	-45,563	-310,567	-44,407	0
Ortalama	0,503132625	-0,611586	-0,131941	-0,28982	0,81109	-0,36952	-0,46427	-0,54548	0,083462
Ortanca	0,5	0,094	0,219	0,094	0,594	0,063	0,344	0,063	0
Standart Sapma	13,32555261	10,8489612	5,2015586	10,0354	13,4548	10,16008	46,79759	9,423129	0,191773
Varyans	177,5703525	117,699959	27,056211	100,7093	181,031	103,2272	2190,014	88,79536	0,036777
Toplam	61824,937	-75151,69	-16212,97	-35613,5	99666,7	-45406,8	-57050	-67029,2	10255,81
Kovaryans	177,5703525	117,699959	27,056211	100,7093	181,031	103,2272	2190,014	88,79536	0,036777
Çarpılık	0,118471527	-0,6990922	-0,360767	-0,37521	0,80097	-0,21383	-0,07865	-0,68529	2,513964
Başlık	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Percentil	-7,906	-6,469	-3,219	-6,156	-7,5	-6,906	-6,875	-5,531	0
Dağılım Genişliği	138,315	106,283	42,407	105,001	137,94	85,345	650,353	79,001	9,252708
Mutlak Ortalama Sapma	10,30535637	8,12978176	4,0705828	7,651787	9,98847	8,050032	19,49249	7,04186	0,134292
Veri Adeti	122880	122880	122880	122880	122880	122880	122880	122880	122880
İnterquaiter	16,875	12,688	6,563	12,125	15,75	13,531	15,125	10,844	0
Moment	1589796,011	-1760346,5	-12210,56	-622708	9856820	-197455	3,03E+09	-719130	0,536847
Entropi	1,315584369	1,40554522	1,7328826	1,411354	1,34868	1,394956	1,376383	1,453642	1,487301
FFT	13	-12,188	1,188	-5,594	16,344	-2,625	167,158	-8,344	0,376
Güç Analizi	177,8221872	118,073256	27,073437	100,7926	181,686	103,3624	2190,216	89,09217	0,044439
Kanal İsimleri	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tablo 3 ve Tablo 4 de gösterildiği gibi Alfa ve Beta sinyallerinden elde edilen özellikler önemli bulgular içerdiğinden BBA içerisinde YSA ile sınıflandırılması için girdi değerlerini oluşturmaktadır.

### 3. Bulgular ve Sınıflandırma

Bu bölüm kapsamında bulgular verilmiş ve sınıflandırma için çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda özellik seçimi yapılan bu verilerin sınıflandırmak amacıyla yapay zekâ tabanlı sınıflamalardan biri olan YSA, günümüzde aktif olarak kullanılan derin öğrenme metodlarının temelini oluşturması ve kısa sürelerde hızlı sonuçları yüksek doğruluk oranı ile vermesi nedeniyle tercih edilmiştir. Planlama doğrultusunda sınıflama aşamalarının ayrıntılı olarak anlaşılması için YSA tasarımlarının aşamaları şekil olarak verilmiştir.

	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544
1	5940	29.6570	35.8750	22.0630	0.9100	0.9390	0.9390	0.9390	0.9390	81.0950	42.0630	66.5320	41.2820
2	2820	-23.5940	-34.0940	-31.6570	0	0	0	0	0	-57.2200	-51.6260	-45.7510	-49.3130
3	3065	-0.0671	0.2201	0.2840	0.0915	0.0817	0.0819	0.0814	0.0825	0.0820	3.5374	-1.0047	0.6842
4	4380	0	0.2500	0.4060	0	0	0	0	0	0	3.6250	-0.7190	0.7500
5	1983	8.7373	8.8655	8.0274	0.1905	0.1900	0.1902	0.1897	0.1910	0.1904	17.8699	12.6916	13.0193
6	6090	76.3408	78.5967	64.4392	0.0363	0.0361	0.0362	0.0360	0.0365	0.0363	319.3327	161.0767	169.5026
7	e+03	-1.3738e+03	4.5068e+03	5.8155e+03	1.8737e+03	1.6741e+03	1.6770e+03	1.6674e+03	1.6903e+03	1.6796e+03	7.2447e+04	-2.0576e+04	1.4013e+04
8	6090	76.3408	78.5967	64.4392	0.0363	0.0361	0.0362	0.0360	0.0365	0.0363	319.3327	161.0767	169.5026
9	1955	-0.0366	-0.0986	-0.1412	2.1237	2.5751	2.5696	2.5873	2.5439	2.5641	0.1671	-0.1612	0.0322
10	2796	2.8363	3.5998	3.4086	7.0202	9.6745	9.6332	9.7440	9.4707	9.5949	3.9834	3.2238	3.7877
11	3130	-5.9690	-5.3130	-4.6880	0	0	0	0	0	0	-7.4380	-9.2500	-7.8440
12	8760	53.2510	69.9690	53.7200	0.9100	0.9390	0.9390	0.9390	0.9390	138.3150	93.6890	112.2830	90.5950
13	1583	7.0052	6.9794	6.2293	0.1421	0.1318	0.1321	0.1313	0.1331	0.1323	13.6923	9.9994	10.2619
14	0480	20480	20480	20480	20480	20480	20480	20480	20480	20480	20480	20480	20480
15	5320	12	11.4070	10.0320	0	0	0	0	0	21.5630	16.8130	17.1250	16.1880
16	e+05	1.1099e+04	-3.3473e+04	-7.8468e+04	0.0062	0.0096	0.0096	0.0096	0.0096	5.0221e+06	-6.4665e+05	7.9630e+05	-5.4190e+05
17	4710	1.4433	1.3865	1.5685	1.6426	1.3266	1.3600	1.3731	1.3851	1.3635	1.2217	1.3200	1.3099
18	0310	4.5630	21.6570	1.4380	0.3760	0.3840	0.3920	0.4000	0.4080	0.4150	13	10.4060	12.9380
19	6988	76.3415	78.6413	64.5167	0.0446	0.0428	0.0429	0.0426	0.0433	0.0430	331.8307	162.0782	169.9625

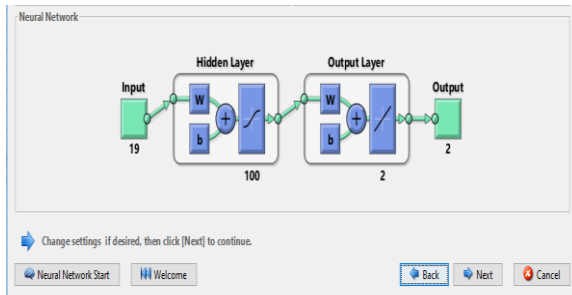
Şekil 7. Girdi Verilerinin MATLAB Ortamına Aktarılması  
Figure 7. Transfer of Input Data to MATLAB Environment

Düzenlenmiş verilerin her biri 1 dk. sinyal değerlerini içermektedir. Bu verilerin daha ayrıntılı anlaşılması adına her 1 dk. sinyal 10 sn lik sinyale ayrılıp istatistiksel analiz yapılmıştır. 10 sn lik 6 adet sinyalin her birinden elde edilmiş 19 adet özellik (anlamli veri) bulunmaktadır. Bu özellikler Şekil 7’de gösterildiği gibi verilen 10 sn sinyal hakkında bize anlamlı bilgiler verdiği için YSA girdi seti oluşturmak için önemli parametreler olarak belirlenmiştir. Eğitim aşamaları sonucunda alfa ile beta sinyallerinin sınıflandırmak amacıyla verileri kontrol etmek için binary (0,1) değerinde çıktılar oluşturulmuştur. Bu çıktıların daha kapsamlı anlaşılması için Şekil 8’de gösterildiği gibi oluşturulan binary değerlerinin sınırları belirlenmiştir. Bu sınırlar 1 kişinin 1 dk lik sinyal değerinin 10 sn lik sinyal değerlerine bölünerek her 10 sn lik sinyalden 19 adet özellik çıkarılıp seçilmiştir.

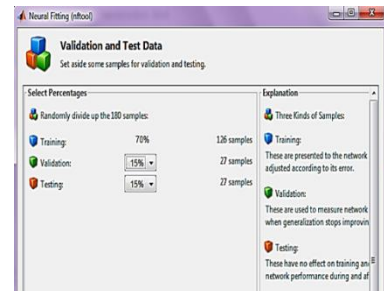
	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Şekil 8. YSA İçin MATLAB Ortamına Çıktı Verilerinin Alınması  
Figure 8. Importing Output Data into MATLAB Environment for ANN

Girdi ve Çıktı Veri setleri hazır hale getirildikten sonra eğitim işlemi için MATLAB ortamında bulunan nntool hazır olarak kullanılmıştır. Veri girişi için her 10 sn lik sinyalin özellik çıkarma işlemi 19 adet olarak belirlenmiştir. Sinyalde bulunan toplam 9 kanal için 10 sn lik veriler girdi seti oluşturularak YSA eğitime sunulmuştur.



Şekil 9. Yapay Sinir Ağı Topoloji Yapısı  
Figure 9. Artificial Neural Network Topology Structure



Şekil 10. Verilerin Paylaşılması  
Figure 10. Sharing of Data

Şekil 9’da gösterildiği gibi tasarlanmış olduğumuz YSA topolojisi giriş katmanı, ara katman ve çıkış katmanı ile 3 katmandan oluşmaktadır. Eğitim işlemi için belirlenen 100 neuron sayısı verimli öğrenme yapılabilmesi için deneme-yanılma ile tespit edilmiştir. YSA eğitim işlemi için Levenberg-Marquardt eğitim algoritması kullanılarak eğitim sağlanmıştır. Elde ettiğimiz veriler Şekil 10’da gösterildiği gibi eğitim, test ve öğrenme durumları için nntool uygulamasında belirlenen Test %15, Eğitim %70 ve doğrulama %15 oranlara göre girdi seti içinden random olarak ayırmaktadır. Random olarak seçilen veriler Şekil 10’da gösterildiği gibi her bir farklı denemede farklı sonuçlar oluşacağı için en iyi eğitim sonucuna ulaşana kadar veriler sürekli olarak denenerek en iyi sonuç elde edilmeye çalışılmıştır.

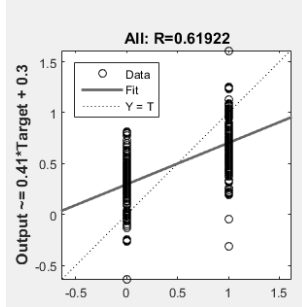
#### 4. Sonuçlar ve Karşılaştırmalar

EEG sinyallerinin incelenmesinde en önemli etkenlerden biride veri setiyle ilgili olası sorunlar veya bulguların genellenabilirliğidir. Bu kapsamda veriler incelendiğinde sinyallerin çok küçük volt değerinde(uV) olması ve EEG sinyallerinin alt bantlarının olmasından dolayı bu sinyallerin ayırt edilerek yükseltip bilgisayar ortamlarına alınmasında verilerin bozulmaması veya en az gürültü ile temsil edilmesi olası sorunlar olarak bilinmektedir. Yapılan bu çalışmada bu durumlar en aza indirildiğinden veriler anlamlı bir şekilde analiz edilebilmiştir. Ayrıca da buna ek olarak verilerin genellenebilirliği için verilerin(sinyallerin) kendisi değil 1 kişinin 1 dk lik sinyal değerinin 10 sn lik sinyal değerlerine bölünerek her 10 sn lik sinyalden 19 adet özellik çıkarılıp bu özellikler değerlendirilerek geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu sebeple uzun ve karmaşık sinyaller küçük ve anlamlı verilerle temsil edilerek geliştirilmiştir. Bu 19 özellik literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda belirlenerek genel ve geçerlilik durumu korunmuştur. Elde edilen özelliklerin sınıflandırılması amacıyla günümüz yapay teknolojilerinden derin öğrenme modelinin temelini oluşturan YSA kullanılmıştır. YSA kullanılmasında kısa sürede CNN modeline göre daha iyi sonuçlar vermesi neden olmuştur. Şekil 9 da gösterildiği gibi verilen YSA topoloji yapısı değiştirilmeden elde edilen ilk sonuç % 61 bandında sınıflandırılarak alfa ve beta sinyallerini ayırt etmiştir fakat bu sınıflandırma BBA tasarımı için yeterli görülmemiştir. Bu nedenle veriler tekrar gözlemlenmiştir. EEG sinyallerinin sınıflandırılması açısından daha önceki literatürler ayrıntılı şekilde, incelenerek eğitim işlemlerinin doğruluğunu artırmak amacı ile MATLAB ortamında bulunan nntool kullanılarak topoloji yapısı sabit tutulup eğitim parametleri (epoch, min, max hata durumu) değiştirilmiştir. Değişim sonucunda tek etkenin bunlar olmayıp YSA sonuçları ve hız durumunun donanıma bağlı olduğu anlaşılmıştır. Bu sebeple eğitim parametrelerinin verilerek geliştirme yapmak isteyenlerin çalışmalarına temel oluşturacağı düşünülmüş Tablo 5 de gösterildiği gibi verilmiştir.

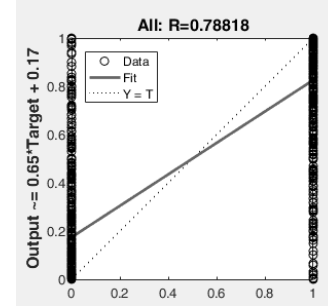
**Tablo 5.** YSA Eğitim Topoloji Parametreleri  
**Table 5.** ANN Training Topology Parameters

Topoloji Parametreleri	Deneme 1	Deneme 2	Düşük	Yüksek
Girdi katmanındaki sinir hücresi sayısı	19	19	19	19
Çıktı katmanındaki sinir hücresi sayısı	2	2	2	2
Aktivasyon fonksiyonu	Tanjant sigmoid	Tanjant sigmoid	Tanjant sigmoid	Tanjant sigmoid
Gizli katman sinir hücresi sayısı	10	50	100	100
Epok sayısı	20	20	500	1000
Öğrenme setinde bulunan veri sayısı	756	756	756	756
Doğrulama setinde bulunan veri sayısı	162	162	162	162
Test setinde bulunan veri sayısı	162	162	162	162
Öğrenme seti MSE hata değerleri	0.3695	0.287	0.0715	0.0548
Doğrulama seti MSE hata değerleri	0.6543	0.432	0.1083	0.0370
Test seti MSE hata değerleri	0.9853	0.712	0.1741	0.0602

Bu sınıflamada temel kısıt eğitim sonucunun süresidir. Bu süre en hızlı ve en iyi sonucu vermesi önemli bir etkidir. Bunun yanı sıra parametre sonuçları incelendiğinde gizli katman ve epok sayısının hata değerlerinde büyük etki yaptığı anlaşılmaktadır. Şekil 11 de gösterildiği gibi verilen düşük değerlerdeki doğruluk oranlarının BBA için komut oluşturulmasında yetersiz olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 11. Düşük Eğitim Sonuçları  
Figure 11. Low Education Results



Şekil 12. Yüksek Eğitim Sonuçları  
Figure 12. Higher Education Outcomes

Parametrelerin değişimi ile elde edilen eğitimin sonuçları Şekil 12’de gösterildiği gibi grafiksel olarak verilmektedir. Eğitim işleminin en iyi şekilde yapılabilmesi amacıyla birçok farklı deneme yapılarak en iyi doğruluk oranları sağlanmaya çalışılmıştır. Şekil 12 de gösterildiği gibi eğitim sonuçlarında verilerin gerçekte eğitilip eğitilmediği grafikler de bulunan değerlere bakılarak karar verilebilir olduğu anlaşılmaktadır. YSA çıktılarının Test %75, Eğitim %78 ve Doğrulama %85 genel YSA çıktısının %78 geçtiği anlaşılmaktadır. YSA Eğitim sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla Tablo 6 de gösterildiği gibi verilmiştir.

Tablo 6. YSA Sonuçları  
Table 6. ANN Results

DURUM/DENEME	Düşük.	Yüksek.
ÖĞRENME	71.39	78.07
EĞİTİM	56.68	85.26
TEST	30.36	75.80
GENEL	61.92	78.81

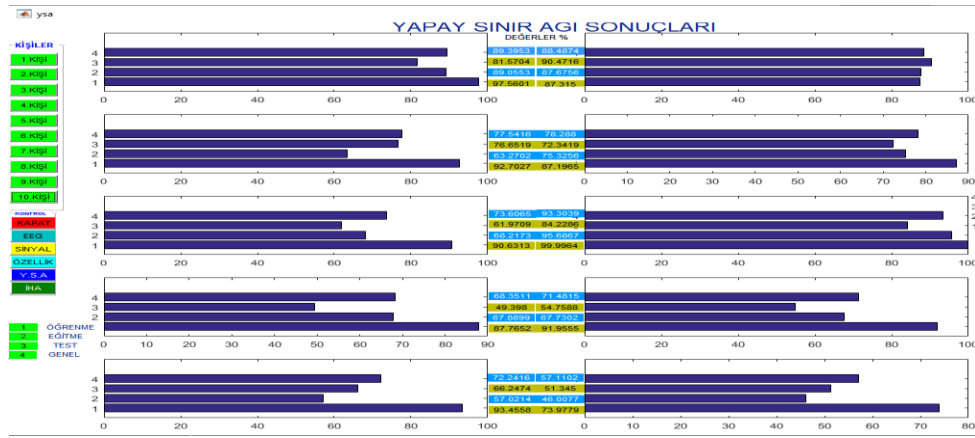
Eğitim işlemleri tamamlandıktan sonra max doğruluk değerleri elde edilmiş ve nntool kullanılarak çıktı değerleri dışarıya aktararak elde edilen veriler sayısal olarak değerlendirilmeye alınmıştır. Bu değerlendirme ile ilk eğitim sonucu genel başarı %61.92 iken nntool aracılığı ile eğitim parametreleri değiştirilerek en uygun öğrenme algoritmaları seçilerek başarı %78.81 çıkarılmıştır. Tablo 6 gösterildiği gibi YSA Sonuçları incelendiğinde eğitim sonuçlarının %56.68 den %85.26 kadar arttığı anlaşılmaktadır. Bu sebeple eğitim işlemlerinin doğruluk oranları üzerinden değerlendirildiğinde karar verme işlemlerinde kullanılmak üzere yeterli olduğu anlaşılmıştır.

alfabetaoz												ciktil												network3_outputs												network3_errors															
2x1080 double																																																			
667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678				
1	0.7647	0.4691	0.7661	0.5941	0.4311	0.5488	0.9881	0.7917	0.9998	0.7318	0.7871	0.7382	1	0.7647	0.4691	0.7661	0.5941	0.4311	0.5488	0.9881	0.7917	0.9998	0.7318	0.7871	0.7382	1	0.7647	0.4691	0.7661	0.5941	0.4311	0.5488	0.9881	0.7917	0.9998	0.7318	0.7871	0.7382	1	0.7647	0.4691	0.7661	0.5941	0.4311	0.5488	0.9881	0.7917	0.9998	0.7318	0.7871	0.7382
2	0.3201	0.6053	0.3483	0.4607	0.6263	0.5432	0.0154	0.3993	8.3679e-05	0.4005	0.3448	0.4119	2	0.3201	0.6053	0.3483	0.4607	0.6263	0.5432	0.0154	0.3993	8.3679e-05	0.4005	0.3448	0.4119	2	0.3201	0.6053	0.3483	0.4607	0.6263	0.5432	0.0154	0.3993	8.3679e-05	0.4005	0.3448	0.4119	2	0.3201	0.6053	0.3483	0.4607	0.6263	0.5432	0.0154	0.3993	8.3679e-05	0.4005	0.3448	0.4119

Şekil 13. Eğitim Sayısal Sonuçları  
Figure 13. Education Numerical Results

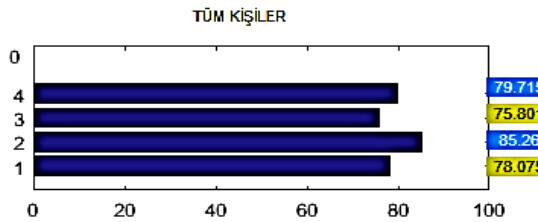
Ağın çıktılarında Şekil 13 de gösterildiği gibi eğitimin sayısal sonuçlarından alfa sinyallerini yeterli düzeyde tanıdığı görülmektedir. Bu sayısal veriler ham veri olarak kullanılan 10 bireyin tüm kanal verilerinden elde edilmiştir. Verilerin kişisel olarak incelenmesi için MATLAB ortamında temel düzeyde BBA GUI kullanılarak her bir bireyin

9 kanal verileri eğitim işlemi için belirlenen topoloji yapısı(eğitim algoritması) sabit tutularak YSA ile sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma işlemleri GUI aracılığı ile hem grafiksel hem de sayısal değer olarak Şekil 14 de gösterildiği gibi verilmiştir.

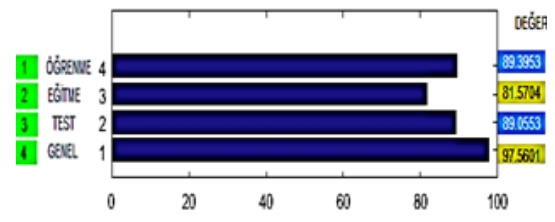


Şekil 14. 10 Kişiye Ait YSA Sonuçları  
Figure 14. ANN Results for 10 People

Şekil 14 de gösterildiği gibi MATLAB GUI aracılığı ile YSA ile sınıflandırma sonuçları verilmiştir. Sol üst köşeden başlanarak 1. Kişiden 10. Kişiye kadar sıralanmıştır. Şekil 14'te gösterildiği gibi 10 kişinin her birinin YSA sonucunda birinci, altıncı, yedinci ve sekizinci kişinin YSA'daki öğrenme, eğitim, test ve genel durumlarının sayısal değerlerine bakıldığında diğer kişilere göre denek sırasında daha iyi odaklandıkları anlaşılmaktadır. Bu kişilerin YSA sonuçlarının diğerlerine göre yüksek olması kişilerin yaş, cinsiyet, psikolojik vb. nedenleri etkili oldukları tartışılmalıdır. Bu çalışma kapsamında elde edilen 10 kişinin YSA sonuçları Şekil 15 de gösterildiği gibi topoloji yapısı sabit tutularak incelendiğinden sınıflamaya sınırlayıcı bir etken getirmiştir. Ayrıca EEG verilerinin her bir bireyde anlık olarak çevresel etkenler ve psikolojik(ruhsal) durumlar ile değişebileceği unutulmamalıdır.



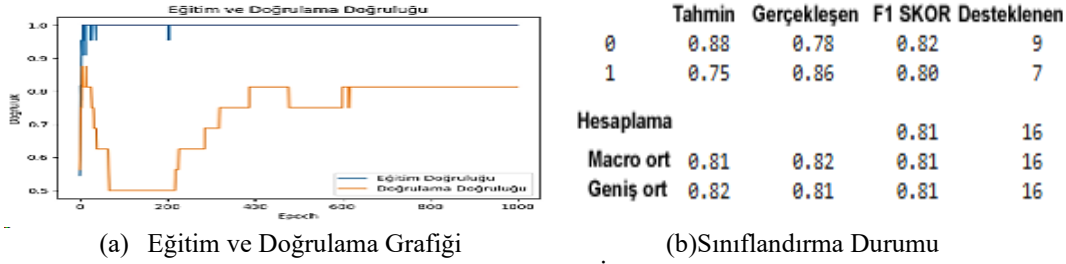
Şekil 15. 10 Kişinin Genel YSA Sonuçları  
Figure 15. Overall ANN Results For 10 People



Şekil 16. 1 Kişinin Genel YSA Sonuçları  
Figure 16. Overall ANN Results for 1 Person

Şekil 15 de gösterildiği gibi tüm kişilerin genel sonuçları eğitim durumları %85.26 üzerine çıktığı anlaşılmaktadır. BBA oluşumunda her denek bireysel olarak bilişsel aktivite oluşturduğundan bireysel olarak değerlendirmek çalışma kapsamında daha doğru olacağı anlaşılmış bu durum Şekil 16'da gösterildiği gibi verilmiştir. Bu EEG verilerinin sınıflandırma sonuçları insanların görsel uyaranlara karşı nasıl tepki verdiklerini bize göstermektedir. Bu verilerden yararlanılarak insanların görsel uyaranlara karşı verdikleri zihinsel aktiviteler gelişmiş donanımsal ekipmanlar kullanılarak dış çevre ile iletişim kurulacağı anlaşılmıştır. Literatür araştırmalarında elde edilen %85 öğrenme durumlarını denek üzerinden alınan EEG sinyalinin YSA sonucunun Şekil 16 da gösterildiği kıyasladığımızda öğrenme işleminin %97.56 ya kadar arttığı anlaşılmaktadır. Sınıflandırma sonucunda elde edilen %97.56 öğrenme değerinin BBA kullanımı için uygun olduğu karar verme işlemleri için %89.39 genel sonucun kullanılmasının uygun olduğu

anlaşılmaktadır. Bu sonucun offline olarak oluşturulan BBA de anlık olarak işlenebilmekte ve komut oluşturulması sağlanmıştır. Geliştirilen bu BBA planlanan çalışma kapsamında insansız sistemleri kontrol eden insanların bilişsel aktivite işlemlerinde aktif bir şekilde kullanılması için uygun olacağı düşünülmektedir. BBA offline olarak kullanılan bu anlamlı verilerin daha da artırılarak günümüzde YSA geliştirilmesi sayesinde oluşturulan Derin Öğrenme Modellerinden biri olan CNN ile sonuçların karşılaştırılmasının önemli olacağı düşünülmüştür. Bu kapsamda genelde görüntü tanıma da kullanılan CNN modelinin sinyal işleme için yazılım geliştirmesi yapılmıştır. Bu geliştirme de aynı özellik verileri kullanılarak sonuçlar gözlemlenmiştir. CNN modelinden elde edilen eğitim ve doğrulama doğruluğu grafiği ile ilgili sonuçlar Şekil 17 de gösterildiği gibi verilmiştir.



(a) Eğitim ve Doğrulama Grafiği

(b) Sınıflandırma Durumu

Şekil 17. Eğitim İle Doğrulama Durumu  
Figure 17. Education and Verification Status

Tablo 7. YSA Sonuçları

Table 7. ANN Results

DURUM/DENEME	Düşük.	Yüksek.	CNN
ÖĞRENME	71.39	78.07	67
EĞİTİM	56.68	85.26	25
TEST	30.36	75.80	33
GENEL	61.92	78.81	41.6

CNN modeli 3 boyutlu görüntülerin tespit edilmesinde kullanılmak için geliştirildiğinden 2 boyutlu olan sinyalin tespit edilmesinde verilerin %67 oranında öğrenme yapması YSA göre düşük kalmıştır. Bunun yanı sıra CNN ön işlem gerektirmekte ve öncelikle YSA göre daha fazla veriye ihtiyaç duymaktadır. Modelin eğitilmesi gerekmekte eğitim için ise donanımı güçlü(yeni nesil işlemci, ekran kartı ve ram vb.) bilgisayarlara ihtiyaç duyulmaktadır. Tablo 7 da gösterildiği gibi donanım sabit tutulduğunda aynı verilerle değerlendirildiğinde YSA göre sonuç üretme süresi daha uzun olmakta ve doğruluk oranı %81,25 de sabit kalmaktadır. Karar süresinin uzun olması ve veri setinin yeterli olmamasında dolayı YSA ile elde edilen sonucu geçememiştir. Derin öğrenme modellerinin geliştirilmesi ve veri setlerinin artırılarak oluşturulması gömülü donanım yapılarının geliştirilmesi ile daha anlamlı verilerin ve çıktılarının oluşabileceği düşünülmektedir. Bu durumun geliştirilebilir olduğu öngörülmüştür. Bu sebeple elde edilen EEG verilerinin YSA veya Derin öğrenme algoritmaları vasıtasıyla en uygun bir şekilde sınıflandırılması uzuv kaybı bulunan insanların dış çevre ile iletişim kurmaları sağlanabilir ve canlıların hayatlarını devam ettirmeleri daha kolaylaştırılabilir olduğu öngörülmektedir. Bunlara kol ve uzvu bulunmayan bir insanın zihin aktivitesi ile biyonik bir kolu hareket ettirebilmesi veya kol uzvu bulunmayan bir insanın zihin gücü ile bir insansız hava aracı (Drone) kontrol edebilmesinin olanak sağlayacağı düşünülmektedir. Bu sebeple uzuv kaybı olan veya uzvu bulunmayan bireyler için offline olarak tasarlanan bu BBA kullanımının geliştirilebileceği yaşam standartlarının artırılabilir olduğu düşünülmektedir. Ayrıca günümüzde çalışmalarını devam eden kuantum bilgisayarlarının gelecek yüzyılın teknolojisi olması ve günümüz bilgisayarlarına göre en az 1000 kat daha hızlı hesaplama yaparak sonuç üretmesi BBA

çalışmalarında kullanılması ile insan makine etkileşiminde daha ileri bir teknoloji ve yeniliğin oluşturulması düşünülmektedir.

## 5. Teşekkür

M.D. tarafından araştırma ve geliştirme olarak fikir oluşturulmuş uygulama gerçekleştirilmiştir. R.K. tarafından Yapay Sinir Ağları alanında uygulama geliştirilmesine destek verilmiştir, Yazarlar makale yazımına ortak destek sağlamıştır.

## 6. Kaynaklar

- Aydemir, Ö., 2022. Beyin Bilgisayar Arayüzü ve Geleceği. *Journal of Investigations on Engineering & Technology*, 5(2), (pp. 135–141). ISSN: 2687-3052
- Aydemir, Ö., Kayıkçıoğlu, T., 2009. EEG Tabanlı Beyin Bilgisayar Arayüzleri. Akademik Bilişim '09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, (pp. 7–13).
- Aygün, A. B., Kavsaoglu, A. R., Polat, K., 2021. EEG based brain-computer interface control applications: A comprehensive review. *Journal of Bionic Memory*, 1(1), (pp. 20–33). doi:10.53545/jbm.2021175573
- Badillo, L., Ponomaryov, V., Ramos, E., Igartua, L., 2003. Low Noise Multichannel Amplifier for Portable EEG Biomedical Applications. *Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, Cancun, Mexico. doi:10.1109/IEMBS.2003.1280852
- Başar, E., 1980. EEG–Brain Dynamics: Relation Between EEG and Evoked Potentials. Elsevier, Amsterdam.
- Başar, E., 2004. Macrodynamics of electrical activity in the whole brain: A review and tutorial report. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 14, (pp. 363–381). doi:10.1142/S0218127404009284
- Coşkun, M., İstanbullu, A., 2012. EEG İşaretlerinin FFT ve Dalgacık Dönüşümü ile Analizi. Akademik Bilişim '12 - XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, Balıkesir Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Uşak Üniversitesi, (pp. 323–328).
- Demir, M., 2019. Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak EEG Sinyalleri ile İnsansız Hava Aracı Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Sakarya. 93 s.
- Ergün, E., Aydemir, Ö., Korkmaz, O. E., 2024. EEG+YKS Tabanlı Beyin Bilgisayar Arayüzü Sistemlerinde Makine Öğrenme Tekniklerinin Kullanımına İlişkin İnceleme. *EMO Bilimsel Dergi*, 14(1).
- Goldberger, A. L., Amaral, L. A. N., Glass, L., Hausdorff, J. M., Ivanov, P. C., Mark, R. G., ... Stanley, H. E., 2000. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation*, 101(23), (pp. e215–e220).
- Güven, M., 2012. Biyopotansiyeller ve Ölçüm Cihazları (The Biopotentials and Measuring Devices). *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi (Archives Medical Review Journal)*, 21(3), (pp.174–188).
- Herculano-Houzel, S., 2009. The human brain in numbers: a linearly scaled-up primate brain. *Frontiers in Human Neuroscience*, 3:31. doi:10.3389/neuro.09.031.2009.
- Lopetegui, E., Zapirain, B. G., Mendez, A., 2011. Tennis computer game with brain-control using EEG signals. *16th International Conference on Computer Games (CGAMES)*, (pp. 228–234). doi:10.1109/CGAMES.2011.6000344
- Manshour, N., Maleki, M., Kayıkçıoğlu, T., 2020. EEG-based stereoscopic research of the PSD differences in pre and post 2D & 3D movies watching. *Biomedical Signal Processing and Control*, 55, 101642. doi:10.1016/j.bspc.2019.101642
- Matran-Fernandez, A., Polo, R., 2017. Towards the automated localisation of targets in rapid image-sifting by collaborative brain-computer interfaces. *PLoS ONE*, 12(5): e0178498. doi:10.1371/journal.pone.0178498
- Melek, M., Manshour, N., Kayıkçıoğlu, T., 2021. An automatic EEG-based sleep staging system with introducing NAOsP and NAOsGP as new metrics for sleep staging systems. *Cognitive Neurodynamics*, 15(3), (pp. 405–423). doi:10.1007/s11571-020-09641-2
- Melek, N., 2023. Comparison of EEG and EOG signals in classification of sleep stages. *Pamukkale Üniver sitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(6), (pp. 607–616).
- Toppr. 2021. Nöron Tipleri. <https://www.toppr.com/ask/content/story/amp/types-of-neurons-on-the-basis-of-function-73166/> adresinden 3 Ekim 2023 tarihinde alınmıştır.
- Niedermeyer, E., Lopes da Silva, F., 1993. *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields* (3. Baskı). Williams and Wilkins, Baltimore. 1279 s.

- Peksa, J., Mamchur, D., 2023. State-of-the-Art on Brain-Computer Interface Technology. *Sensors*, 23, 6001. doi:10.3390/s23136001
- Rajya Lakshmi, M., Prasad, T. V., Prakash, V. C., 2014. Survey on EEG Signal Processing Methods. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 4(1).
- Royer, A. S., Doud, A. J., Rose, M. L., He, B., 2010. EEG control of a virtual helicopter in 3-dimensional space using intelligent control strategies. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 18(6), (pp. 581–589). doi:10.1109/TNSRE.2010.2077654
- Subha, D. P., Joseph, P. K., Acharya U, R., Lim, C. M., 2010. EEG signal analysis: a survey. *Journal of Medical Systems*, 34(2), (pp. 195–212). <http://dx.doi.org/10.1007/s10916-008-9231-z>
- Tancı, K., Hekim, M., 2023. Classification of Sleep Apnea Syndrome from EEG Signals Using Spectrogram-Based Entropy and MLPNN Model. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD)*, 12(3), (pp. 197–207).
- Teo, W. v., 2018. Using noninvasive methods to drive brain-computer interface (BCI): the role of electroencephalography and functional nearinfrared spectroscopy in BCI. In *Smart Wheelchairs and Brain-Computer Interfaces 2018*. (pp. 33-63). Academic Press.(chapter 3).
- Tülay, E. E., 2009. Beyin Elektriksel Aktivitesinin Ölçümü ve Sinyal Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Kültür Üniversitesi. 54 s.
- Walter, W. G., Doney, V. J., 1944. Electroencephalography in cases of sub-cortical tumour. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 7, (pp. 57–65).
- Wang, C., Wu, X., Wang, Z., Ma, Y., 2018. Implementation of a brain-computer interface on a lower-limb exoskeleton. *IEEE Access*, 6s.
- Wang, Q., Sourina, O., Nguyen, M. K., 2010. EEG-based serious games design for medical applications. 2010 *International Conference on Cyberworlds*, (pp. 270–276). doi:10.1109/CW.2010.56