

## EPİLEPTİK EEG SİNYALLERİNİN SİNİRSEL – BULANIK SİSTEM İLE SINIFLANDIRILMASI

Necaattin BARIŞCI, Serdar MÜLDÜR  
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü  
06500 Teknikokullar, ANKARA.

### ÖZET

Bu çalışmada 40 hastadan kaydedilen epileptik ve normal EEG işaretleri bir kişisel bilgisayara aktarılmıştır. Her bir hastadan kaydedilen EEG sinyaline, Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) spektral analizi uygulanmıştır. Doğru ve hızlı bir teşhis gerçekleştirebilmek için 40 hastanın HFD sonuçları sinirsel - bulanık sistem kullanılarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma sonucunda sinirsel - bulanık sistemin teşhise yönelik iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Sinirsel – Bulanık Sınıflama, EEG, epilepsi, Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD).

### CLASSIFICATION OF EPILEPTIC EEG SIGNALS USING NEURO - FUZZY SYSTEM

#### ABSTRACT

In this work, epileptic and normal EEG signals recorded from 40 patients were transferred to a personal computer. The fast Fourier transform (FFT) method was applied to the recorded signal from each patient. In order to do a good and rapid diagnosis, 40 patients' FFT results classified using neuro – fuzzy system. The classification results show that neuro – fuzzy system offers best results in the case of diagnosis.

**Keywords:** Neuro – Fuzzy Classification, EEG, epilepsy, Fast Fourier Transform (FFT)

### 1. GİRİŞ

Beyinden kaydedilen sinyaller elektroensefalogram (EEG) olarak adlandırılır. Sinyalleri kaydeden elektrotlar sıklıkla klorlu gümüşten küçük disklerdir. Bu diskler beynin çalışacak kısmına bağlı olarak kafadaki bölgelere yapıştırılır. Elektrot yerleşiminin uluslararası standardı 10-20 sistemidir. Referans elektrodu genellikle kulağa yapıştırılır. Harfli elektrotlar kafatası üzerinde özel noktalar arasındaki %10 ve %20'lik uzaklık aralığına yerleştirilir. Rutin yoklamalarda, 8' den 16' ya kadarki kanallar eşzamanlı olarak kaydedilir. Asimetrik çalışma sıklıkla beynin rahatsızlığının bir belirtisi olduğundan, sağ taraftaki sinyaller sık sık sol taraftaki sinyallerle karşılaştırılır (1, 2).

Uluslararası 10-20 sistemi 21 yüzey elektroduna sahiptir. Bazen 10-20 sistem elektrotlarının arasına yerleştirilen ilave ara elektrotlar da kullanılır. Sonuçlar 10-20 aralığından daha fazla bilgi sağlar (3).

Sinirsel - bulanık sistem birleşimi yıllardır kontrol, veri analizi, karar destek gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Tıp alanında da çeşitli hastalık verilerinin sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Burada sınıflamada amaç, medikal verilere ilişkin teşhisi yapay zeka sistemlerinde gerçekleştirerek, teşhisin daha doğru ve hızlı yapılmasıdır. Sınıflayıcılar genellikle öğrenme işlemi ile veriden oluştu-

rulurlar, çünkü verideki parametreleri çıkaracak yeterli uzman bilgi yoktur. Bulanık sınıflayıcıların veriden öğrenmesi, sinirsel - bulanık sistem yaklaşımı ile basit bir şekilde sağlanmaktadır (4, 5).

Sinirsel - bulanık sistemleri açıklamak ve diğer sistemlerden ayırmak için şu özellikleri sıralayabiliriz:

- Sinirsel - bulanık sistem, bir bulanık sistemdir ve öğrenme algoritması için sinir ağı teorisi kullanılarak eğitilir.
- Bir sinirsel - bulanık sistem, özel bir 3 katmanlı ileri beslemeli sinir ağı olarak görülebilir. Bu ağın üniteleri, sinir ağındaki aktivasyon potansiyeli yerine t - norms veya t - conorms kullanırlar. İlk katman giriş değişkenlerini, orta katman bulanık kuralları ve üçüncü katman ise çıkış değişkenlerini içermektedir.
- Bir sinirsel - bulanık sistem genellikle bir bulanık kurallar sistemi gibi düşünülür.
- Bir sinirsel - bulanık sistem, n boyutlu bir fonksiyon çıkarımı yapar. Bu da eğitim verisi ile verilmektedir. Bir sinirsel - bulanık sistemi, bulanık uzman sistemi gibi görülmemelidir.

Sinirsel - bulanık sistem, veriden bir bulanık sistem oluşturma tekniği veya örneklerden öğren-

rek bunu geliştiren bir teknik olarak düşünülmektedir.

Halk dilinde “sara” hastalığı olarak bilinen epilepsi, beyinde meydana gelen önemli rahatsızlıklardan biri olarak günümüzde de ciddiyetini korumaktadır. Özellikle epileptik deşarjların meydana gelmesi esnasında kaydedilen elektorensefalogramın içerdiği dalga şekilleri diğer bazı beyin rahatsızlıklarındaki dalga şekilleriyle benzerlik göstermesinden dolayı epilepsi hastalığı kolay tespit edilmemektedir. Bu yüzden de teşhisi yapacak doktorun deneyiminin fazla olması gerekmektedir. Günümüzde beynin yapısal ve fonksiyonel rahatsızlıklarını tespit etmek için çok çeşitli cihazlar kullanılmaktadır. Bu cihazlardan birkaçı Manyetik Rezonans (MR), Beyin Tomografisi (BT) ve Elektroensefalografidir (EEG). Her ne kadar MR ve BT cihazlarının bulunmasından sonra EEG'nin önemi azalmış olarak görülse de beynin fonksiyonel rahatsızlıklarının özellikle epilepsi hastalığının teşhisinde EEG cihazı Nöroloji Kliniklerinde rutin olarak kullanılmaktadır. Epilepsi gibi hastalıkların teşhisi, doktorların deneyimi ve bilgilerine bağlı olarak yapılmaktadır.

Özellikle epilepsi hastalığında, epileptik deşarjların tanımlanması zor olmaktadır. Çünkü bir çok durumda epileptik deşarjlara benzeyen dalga formları meydana gelmektedir. Bu yüzden epilepsi hastalığı tanısını koyacak doktorların iyi bir gözlemci olması ve deneyimlerinin fazla olması gerekir.

Bu çalışmada, epilepsi tanısını koyarken doktorun işini kolaylaştırmak ve hızlı bir şekilde teşhisi gerçekleştirmek için, hastalardan kaydedilen EEG sinyallerine HFD analizi uygulanmakta ve bu analiz sonucu elde edilen katsayılar da sinirsel – bulanık mantık sistemi ile sınıflandırılmaktadır.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. EEG Sinyalleri

EEG sinyallerinin genliği düşüktür (yaklaşık 50 µV) ve harici elektrik sinyallerinin müdahalesi sıklıkla EEG' de bozulmalara sebep olur. Harici gürültü atılmış olsa bile, kas aktivitesinden haric potansiyeller, örneğin göz hareketi, kayıta bozulmalara sebep olabilir (1). EEG sinyallerinin frekansı kişinin zihni aktivitesine bağlıdır. Örneğin, dinlenmiş bir insan genellikle 8'den 13 Hz' e kadar olan öncelikli oluşturulmuş bir EEG sinyaline veya “alfa dalgalarına” sahiptir. Bir kişi daha fazla çevik

olduğu zaman, daha yüksek bir frekans aralığında “beta dalga” aralığında (13 Hz'in üzeri) EEG sinyallerine sahiptir.

Çeşitli frekans bantları aşağıdaki gibidir:

Delta ( $\Delta$ ) veya yavaş	0,5 – 3,5 Hz
Teta ( $\theta$ ) veya orta yavaş	4 – 7 Hz
Alfa ( $\alpha$ )	8 – 13 Hz
Beta ( $\beta$ ) veya hızlı	>13 Hz

EEG beyindeki hastalıkların teşhisinde bir yardımcı olarak kullanılır. Epilepsinin tanısında çok kullanışlıdır ve epileptik nöbetlerin sınıflandırılmasına izin verir (1).

### 2.2. Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD)

Sonlu uzunlukta olan bir EEG sinyalinin HFD sini (Hızlı Fourier Dönüşümü) almak için, mevcut sinyal  $2^j$  nin katları şeklinde 32, 64, 128 gibi çerçevelenir. Her bir çerçeveye karşılık düşen frekans spektrumu bulunurken pencereleme yapılır. Pencereleme sayesinde, gerçekte olmayan frekans bileşenlerinin spektrumda ortaya çıkması önlenir. Ayrıca pencereleme işleminden sonra aynı Doppler sinyaline, sıfır ekleme yapılır. Bu işlem spektrumda okunabilirliği artırmasına karşın, işlem yükünü de arttırmaktadır (6).

Ayrık zamanlı periyodik bir işaretin ayrık Fourier dönüşümü Eşitlik 1 deki gibi tanımlanır,

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \exp\left(-jkn \frac{2\pi}{N}\right) \quad (1)$$

Buradaki  $X_k$  katsayıları ayrık Fourier katsayıları olarak adlandırılır.  $N$  çerçeve boyu;  $x(n)$ , zaman domeni giriş işaretidir. Bu işaretin frekans spektrumunu bulmak için ayrık Fourier dönüşüm katsayıları olan  $X_k$  sayılarının mutlak değerlerinin karelerinin logaritmaları alınır.

$$P(k) = 10 \log |X_k|^2 \quad (2)$$

### 2.3. Sinirsel - Bulanık Sistem

İstatistiksel halde verilen veriler, sinir ağı ile öğretilip, bulanık kurallar yardımıyla sınıflama yapılmaktadır. Bulanık kurallar;

Eğer  $x_1, \mu_1$  ve  $x_2, \mu_2$  ve.....ve  $x_n, \mu_n$  ise sınıf  $(c_1, c_2, \dots, c_n)$  şeklinde ifade edilmektedir (7).

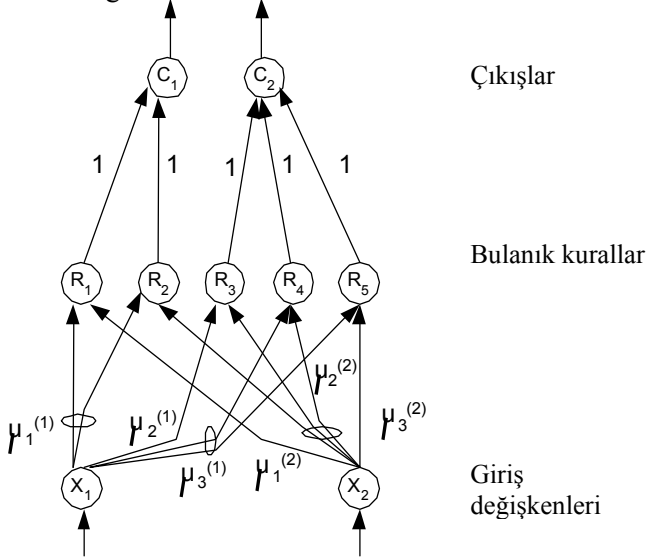
Burada  $x_1, \dots, x_n$  giriş değişkenleri (EEG sinyalinin HFD analizinden elde edilen katsayılar),  $\mu_1, \dots, \mu_n$  bulanık kümelerdir ve bu kurallar bir bulanık karar sistemini ve bulanık kümelemeyi

temsil etmektedir. Aynı zamanda sınıflamanın bulanık kümeleme ile gerçekleşmesi, sinirsel - bulanık sistemin performansını arttırmakta ve sınıflamaya ait bazı avantajlar sağlamaktadır. Şöyle ki ;

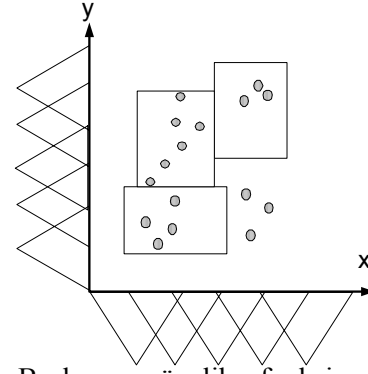
- Belirsiz (bulanık) bilgi kullanılabilir.
- Sınıflayıcı, dilsel kurallar formunda yorumlanabilir.
- Uygulama açısından sınıflayıcının uyarlanması, kullanılması ve anlaşılması kolay olabilir (8).

Sınıflamaya ait işlemler, işlem sırasına göre, giriş değişkenlerine bağlı olarak üyelik fonksiyonları ( $\mu$ ) belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonu yardımıyla da bulanık kurallar ( $R_1, \dots, R_n$ ) oluşturulur ve bu kurallara ait sınıflama ( $C_1, \dots, C_n$ ) (epilepsi, normal) gerçekleştirilerek Şekil 1' de görüldüğü gibi sinir ağı yapısı şeklinde sunulmuştur.

Kural öğrenme algoritmasında, her bir değişken için bulanık kümelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, eşit halde ayrılmış sayılar, üçgen üyelik fonksiyonları halinde oluşturularak Şekil 2' de sunulmuştur. Veri uzayındaki bulanık küme formlarındaki noktaların birleşimi, ayrılmış dikdörtgen kümeler halinde gösterilmiştir. Sonra, eğitim verisi işlenerek kümeler haline getirilir ve sınıflayıcının kural tabanına kurallar şeklinde eklenir (9). Sonraki adımda, iyi performanslı kurallar korunarak, kural tabanı kısaltması yapılır. Eğitim gerçekleştirildikten sonra EEG sinyalinin HFD analizi katsayılarının oluşturduğu küme Şekil 2' deki gibi olmaktadır.



Şekil 1. Üç katmanlı ileri beslemeli bir sinir ağı şeklinde sinirsel - bulanık sistem.



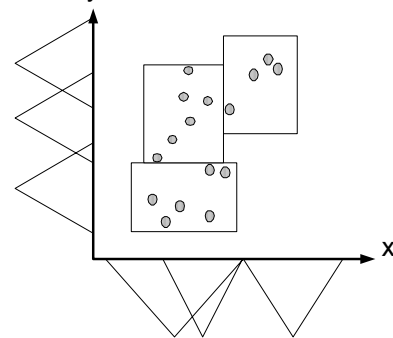
Şekil 2. Başlangıç üyelik fonksiyonu kullanılarak oluşturulmuş 3 bulanık sınıflama kuralından sonraki durum.

Kural tabanı oluşturulduktan sonra, üyelik fonksiyonları basit sezgisel şekilde ayarlanır. Her bir kural için bir sınıflama hatası elde edilerek üyelik fonksiyonunu düzeltmek için kullanılır ve aynı zamanda bu hata değerleri kural aktivasyonu için gerekli olmaktadır (10).

Bulanık kümelere kaydırma düzeltme sonuçları, üyelik derecesi aktif hataya dayanarak elde edilir ve EEG sinyalinin HFD katsayılarının öğrenme sonuçları Şekil 3' deki gibi oluşturulur.

Sinirsel-Bulanık sınıflayıcının, öğrenme kapasitesini arttırmak ve kolay yorumlanabilir hale getirmek için bu sınıflamaya ait sinirsel - bulanık öğrenme algoritmasında ki bazı kavramlar aşağıdaki gibi açıklanmaktadır (11);

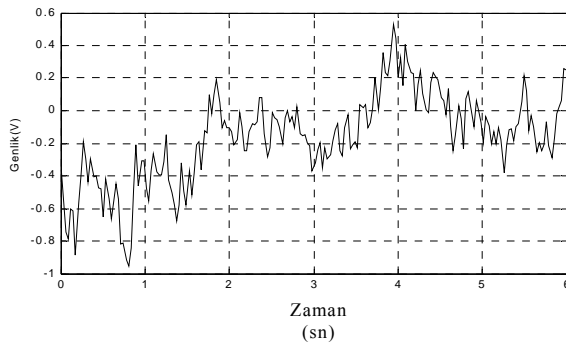
- *Kural budaması*: Kural tabanını azaltmak için, alçak performanslı ve diğer kurallarla aynı görevi gören kurallar silinebilir.
- *Değişken kısaltması*: Her bir kural için tüm değişkenlerin kurallarının şartları küçük üyelik derecesi ile desteklenip, desteklenmediği kontrol edilir. Eğer küçükse şarttan bu değişkenler silinebilir.



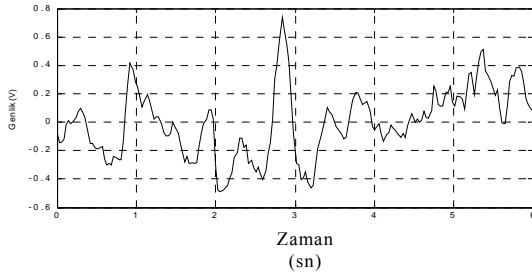
Şekil 3. Sınıflayıcının eğitiminden sonraki durum (üyelik fonksiyonlarının düzeltilmiş hali ile)

### 3. BULGULAR VE İRDELEME

20 tanesi epilepsi ve 20 tanesi de sağlıklı olmak üzere toplam 40 kişiden EEG sinyalleri elde edilmiştir. EEG cihazı olarak, Nihon Kohden firmasının Neurofax EEG 4400 modeli kullanılmıştır. Sinyalleri kaydetme süresi 6 saniyedir. Daha sonra bu sinyallerin frekans analizinin yapılabilmesi için 200 Hz de örneklenmiş ve Hızlı Fourier Dönüşümü analizleri yapılmıştır. HFD analizi için MATLAB 6 kullanılmıştır. HFD analizinden sonra elde edilen katsayılar da sinirsel - bulanık sistemde giriş verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 4 . Normal EEG sinyali.



Şekil 5. Epileptik EEG sinyali.

Normal EEG sinyali Şekil 4' de, epileptik EEG sinyali ise Şekil 5' de görülmektedir. Epileptik sinyalde uzun sivri uçlar daha belirgindir.

#### 3.1. HFD Analizinden Elde Edilen Katsayıların Sinirsel – Bulanık Sistem İle Sınıflandırılması

Bu çalışma 40 kişi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kaydedilen EEG verilerinin uzman doktor tarafından incelenmesi sonucunda, 20 tanesinin epilepsi (Sınıf 1), 20 tanesinin ise normal (Sınıf 2) olduğu teşhis edilmiştir. Tüm bu verilerin 20 tanesi eğitim için, 20 tanesi de test için kullanılarak sinirsel - bulanık mantık sistemine uygulanmıştır. Sistemde, çıkış tahminini en iyi

yaklaşım ile yakalayabilmek için üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmış ve her bir boyutta bulanık mantık kurallarını değerlendirmek için 3 küme kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonları küçük (kc), orta (rt), büyük (by) şeklinde etiketlenmiştir. Toplama fonksiyonu (aggregation function) olarak maximum kullanılmış ve üyelik fonksiyonlarının en iyi şekilde eğitilmesi için öğrenme hızı 0,01 alınmıştır.

Kaydedilen EEG işaretlerinin HFD analizi sonuçları elde edilen verilerin %50 si eğitim, %50 si de test için kullanıldığında; 200 adım sonucu oluşan sınıflamada, bulanık mantık kural sayısı 10, sınıflama başarısı ise %85 olarak elde edilmiştir. 500 adım sonucu sınıflamada ise bulanık mantık kural sayısı 10, sınıflama başarısı %87,5 dir. Bu çalışmalar Tablo 1'de ayrıntılı olarak sunulmuştur. 200 adımdan sonra, adım sayısı 500 e arttırıldığında sınıflamadaki başarı oranlarının arttığı tespit edilmiştir.

Sinirsel - bulanık mantık algoritmasının, sınıflamadaki performansını arttırmak için, bulanık mantık kuralları ve giriş değişkenlerine budama işlemi uygulanırsa; 200 adımda bulanık mantık kural sayısı 3, sınıflama başarısı %87,5, 500 adımda ise bulanık mantık kural sayısı 2 (Tablo 2), sınıflama başarısı %90 olarak elde edilmiştir. Budama işleminden sonraki sınıflamaya ait değerler Tablo 3'de verilmiştir. Bu verilere göre, budama işleminden sonra 200 adımda bulanık mantık kural sayısının 10 dan 3 e azaldığı, başarı oranının ise yaklaşık % 2,5 arttığı tespit edilmiştir.

Tablo 1. Sinirsel - bulanık sınıflamaya ait değerler

Adım Değeri	Kural Sayısı	Eğt. datası Sın. oranı	Test datası Sın. Oranı	Toplam data Sın. oranı
200	10	%90	%80	%85
500	10	%95	%80	%87,5

Tablo 2. 500 adımda budamadan sonraki kurallar

1. Eğer Katsayı 9 kc, Katsayı 10 kc, Katsayı 11 kc, Katsayı 12 kc, Katsayı 20 kc ise Sınıf 1
2. Eğer Katsayı 20 by ise Sınıf 2

Tablo 3. Sinirsel - bulanık sınıflamaya ait değerler (Budama işleminden sonra)

Adım	Kural	Eğt. datası	Test datası	Toplam data
Değeri	Sayısı	Sın. Oranı	Sın. Oranı	Sın. oranı
200	3	%90	%85	%87,5
500	2	%95	%85	%90

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, 20 tanesi epilepsi ve 20 tanesi sağlıklı olan toplam 40 kişiden EEG sinyalleri kaydedilmiştir. Kaydedilen EEG sinyallerine HFD spektral analizi uygulanmış ve HFD katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen katsayılar sinirsel – bulanık sisteme uygulanmış ve %90 doğru sınıflama başarısı elde edilmiştir.

#### KAYNAKLAR

- Niedermeyer, E, Lopes Da Silva, F., *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields*, 4th edition, Williams & Wilkins, 1999.
- Castellaro, C, Favaro, G., Castellaro, A., Casagrande, A., Castellaro, S., Puthenparampil, D.V., Salimbeni, C. F., "An artificial intelligence approach to classify and analyse EEG traces", *Neurophysiol Clin*, 32, 193-214, (2002).
- Brasil, L. M., Azevedo, F. M., Barreto, J. M., "A hybrid expert system for the diagnosis of epileptic crisis", *Artificial Intelligence in Medicine*, 21, 227-233, (2001).
- Hudson, D.L., Cohen, M.E., "Neural networks and artificial intelligence for biomedical engineering", IEEE Press, 2000.
- Brasil, L. M., Azevedo, F. M., Barreto, J. M., "Hybrid expert system for decision supporting in the medical area: complexity and cognitive computing", *International Journal of Medical Informatics*, 63, 19–30, (2001).
- Güler, I., Kıymık, M.K., Akın, M., Alkan A., "AR spectral analysis of EEG signals by using maximum likelihood estimation", *Computers in Biology and Medicine*, 31, 441–450, (2001).
- Nauck D., "Fuzzy Data Analysis with NEFCLASS", *International Journal of Approximate Reasoning*, 32, 103–130, (2003).
- Nauck, D., Kruse, R., "Obtaining interpretable fuzzy classification rules from medical data", *Artificial Intelligence in Medicine*, 16, 149-169, (1999).
- Nauck, D., Kruse, R., "A neuro - fuzzy method to learn fuzzy classification rules from data", *Fuzzy Sets and Systems*, 89, 277-288, (1997).
- Nauck, D., Klawonn, F., Kruse, R., "Foundations of Fuzzy Systems", Wiley, Chichester, (1997).
- Nauck D., "Adaptive rule weights in neuro-fuzzy systems", *Neural Computing and Applications*, 9, 60–70, (2000).