



**UYKU EEG VE EOG SİNYALLERİNİN SINIFLANDIRILMASINDA ZAMAN VE FREKANS
DOMENİ ÖZELLİKLERİNİN ETKİSİ**

**EFFECT OF TIME AND FREQUENCY DOMAIN FEATURES IN SLEEP EEG AND EOG
SIGNALS CLASSIFICATION**

Muhammed Kürşad UÇAR¹, Kemal POLAT², Mehmet Recep BOZKURT¹, Cahit BİLGİN³

¹ Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Mühendislik Fakültesi
Sakarya Üniversitesi
{mucar,mbozkurt}@sakarya.edu.tr

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Abant İzzet Baysal Üniversitesi
kpolat@ibu.edu.tr

³ Tıp Fakültesi
Sakarya Üniversitesi
cahitbilgin@sakarya.edu.tr

Özetçe

Uyku evreleme, uyku sırasında alınan biyolojik işaretlerinin uykunun evrelerine göre etiketlenmesidir. Bu işlem uzman doktor tarafından yapılır ve bu işlem uzun sürmektedir. Bu işlemlerin otomatik olarak yapılması işlem yükü azaltmakta ve hastalıklarda teşhis sürecini kısaltmaktadır. Teşhis sürecini kısaltmak için bu çalışmada otomatik uyku evreleme yapılmıştır. Bu kapsamda Elektroensefalografi (EEG) ve Elektrokülagrafi (EOG) sinyallerinden zaman (ZD) ve frekans (FD) domeninde özellik çıkarımı yapılmıştır. Sınıflandırıcı olarak Olasılıksal Yapay Sinir Ağları (PNN) kullanılmıştır. Uyku süresince alınan EEG ve EOG sinyallerindeki gürültülerin bastırılması için filtre uygulanmıştır. Filtre uygulandıktan sonra sinyallerden zaman ve frekans domeninde özellik çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Çıkarılan özellikler ile uyku evreleme işlemi PNN sınıflandırıcı ile yapılmıştır. Uyku evreleri üç farklı etikete göre yapılmıştır. Bunlar uyanıklık (W), NonREM (NREM), ve REM (R)'dir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında EEG ve EOG sinyallerinin FD özellikleri ZD özelliklerine göre uyku evrelerini daha iyi ifade etmiştir. Ancak FD ve ZD birlikte kullanıldığında daha iyi sonuçlar alınmıştır. Kullanılan sinyal türüne göre de başarı oranları değişmiştir. EEG sinyali FD ve ZD özellikleri ile uyku evrelerini daha iyi temsil etmiş ve elde edilen doğruluk oranı %85.66 olarak tespit edilmiştir.

Abstract

Sleep staging, get biological signals during sleep is labeled according to the stages of sleep. This process is done by expert doctors and is taking longer. When this process is done automatically, processing load is reduced and disease diagnosed in time shorts. To shorten the diagnostic process, in this study, automatic sleep staging was performed. In this scope, feature extraction was carried out from Electroencephalography (EEG) and electrooculography (EOG) at time dome (ZD) and frequency dome (FD). For classifying, Probabilistic Neural Network (PNN) is used. EEG and EOG was filtered to suppress noise in a signal. Then, from the signals, time and frequency domains features extraction. With features extracted is done sleep stage scoring by PNN. Sleep stage scoring was carried out based on three different labels. These is Wake (W), NonREM (NREM), and REM (R).

EEG and EOG of signals FD specifications stated sleep stages better than ZD. However, the FDA and ZD results were better when used together. According to the type of signal being used, success rates has changed., FD and ZD features of EEG signal, sleep stages were represented better than EOG and accuracy obtained, was determined as 85.66%.

1. Giriş

Obstrüktif Uyku Apne Sendromu (OSAS) uykuda tekrarlayan üst solunum yolu tıkanmalarına bağlı olarak, hava akımının azalması ya da solunumun durmasıyla karakterize olan ve sıklıkla oksijen satürasyonunda azalmayla birlikte görülen bir sendromdur. Uyku apnesi teşhisi için Polisomnografi (PSG) cihazı kullanılmaktadır.

PSG uyku ile ilişkili çeşitli hastalıkları laboratuvar ortamında kayıt yapılarak tespit etmeye yarayan pahalı, zaman alıcı ve özel ekip gerektiren ancak tanıda "altın standart" yöntemdir. Bu yöntemin zahmetli ve pahalı olması nedeni ile daha ucuz alternatifler arayışına gidilmiştir. Bu nedenle, özellikle OSAS tanısında poligrafik yöntemler giderek artan sıklıkta kullanılmaktadır. ASDA (American Sleep Disorders Association)'nın Kategori III sistem olarak sınıflandırdığı, 8 kanallı POLY-MESAM (PM) ünitesi ile EEG içermeyen ve poligrafı olarak adlandırılan kardiopulmoner uyku çalışmaları yapılmıştır [1]. Fakat EEG içeren daha pratik cihazlara gereksinim vardır.

PSG cihazı ile alınan biyoelektrik sinyaller, uyku evreleme ve solunum skorlama işlemleri için uzman doktor tarafından analiz için kullanılır. Bu analiz sonrasında SAS teşhisi için rapor oluşturulur. PSG cihazının bazı dezavantajları bulunmaktadır. Cihazın kullanımı için uzman teknisyen gerekli ve uygulamanın hastane ya da laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca cihaz oldukça fazla elektrot kullanımı gerektirmektedir. Tüm bu dezavantajlar hastanın uykuya dalmasını geciktirmekte ve hastayı doğal uyku ortamından uzaklaştırmaktadır. Hastanın alışkın olmadığı ortamda uyuması alınacak sonuçların güvenilirliğini azaltacaktır.

Cihazın maliyeti piyasada yaklaşık olarak 40.000 - 60.000 TL arasında değişmektedir. Evde kullanıma uygun değildir. Hastanelerde uyku laboratuvarları çok fazla olmadığından ve ayrıca kullanılan cihaz sayısı az olduğu için uyku rahatsızlığı çeken hastalar, hastanelerden aylar hatta yıllar sonrasına zor



Nöral Sinyaller ve Modeller

2. Gün 26 Eylül 2014 Cuma (17.00-18.30)

randevu alabilmektedir. Özel hastanelerde ise bu cihazın kullanımını hastalar için ekonomik açıdan zorlayıcı olmaktadır.

PSG cihazının bu dezavantajları göz önüne alındığında bir sistem tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla uyku evreleme ve uyku apnesi teşhisine yönelik PSG cihazına alternatif, en az sensör ve aparat ile gömülü yazılımlı, evde kullanılabilen uyku evreleme ve solunum skorlama yapabilen bir sistem geliştirme çalışması yürütülmektedir. Bu çalışmada, yürütülen çalışmanın başlangıcı olarak uyku evreleme işleminde EEG ve EOG işaretlerinden elde edilen zaman ve frekans domeni özelliklerinin etkisi incelenmiştir.

Uyku apnesi sendromu teşhisi için uyku sınıflandırmaya yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar temelde üç işlem basamağından oluşur. İlki, PSG ya da başka bir cihaz ile sinyallerin toplanması ve filtrelenerek gürültülü işaretin temizlenmesi, ikincisi alınan sinyallerin ön işleme tabi tutularak öznelik çıkartılmasıdır. Son olarak ise elde edilen özneliklerin bilgisayar programları ile analiz edilerek sonuç çıkarılması gerçekleştirilir. Öznelik çıkartımı için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Bunlardan bir kaçısı güç spektral yoğunluğu, dalgacık dönüşümü, zaman-frekans analizidir. Bilgisayar analizi için ise kullanılabilecek yöntemler şunlardır; yapay sinir ağları, k-means sınıflandırma algoritması, veri madenciliği, genetik algoritma, destek vektör makinaları (SVMs) ve kuadratik diskriminant analizi (QDA) gibi birçok yöntem kullanılabilir. Bu çalışmada sınıflandırma algoritması olarak PNN kullanılmıştır.

Uyku evreleme işleminde farklı sinyaller kullanılarak işlem yapılabilir. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda sadece EEG, EOG veya EKG işareti üzerinden uyku evreleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Uyku apnesi teşhisinde uyku evreleme önemli yer tutar. Uyku evreleme belirli kurallara göre yapılır. Amerikan Uyku Tıbbı Akademisi (American Academy of Sleep Medicine-AASM)'nin oluşturduğu bir çalışma grubu, uyku ve uyku ilişkili olayların skorlanması konusunda kurallar belirlemiş ve 2007 yılında yayınlamıştır [2]. Bu rapora göre uyku evreleri W, evre 1 (N1), evre 2 (N2), evre 3 (N3) ve R'den oluşmaktadır. Gece boyunca bu evreler birbirini takip ederek gerçekleşir [3].

Literatürde yapılan uyku evreleme çalışmalarında amaca göre farklı uyku evreleri kullanılmıştır. Bazı çalışmalarda uyku evreleri W – Uykuda (S), W – NREM – R veya W – N1 – N2 – N3 – R olarak kullanılmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

Çalışmada kullanılan veri tabanı Sakarya Hendek Devlet Hastanesi Göğüs Hastalıkları Uyku Laboratuvarında oluşturulmuştur. Veri tabanı 1 bireyin tüm gece boyunca, SOMNOScreen Plus marka PSG cihazı ile kaydı alınarak elde edilen 33 kanal veriden oluşmaktadır. Ancak çalışmada sadece EEG ve EOG sinyalleri kullanılmıştır. EEG ve EOG sinyallerinin örnekleme frekansları 128 Hz'dir. Veriler alınırken hastanın uyuyabileceği laboratuvar ortamı sağlanmış ve PSG cihaz elektrotları bağlandıktan sonra hasta yaklaşık 8,5 saat boyunca uyumuştur. Çalışmada verisi alınan birey 1974 doğumlu, 165 cm boyunda ve 60 kg ağırlığında bir erkektir. PSG kaydı alındıktan sonra uzman doktor tarafından uyku evreleme ve solunum skorlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Apne – Hipopne İndeksi (AHI) indeksi 5 – 15 arası olarak belirlenmiştir.

Çalışmada EEG ve EOG sinyallerinden hem zaman hem de frekans domeninde özellik çıkarımı yapılmış, ardından uyku evreleme işlemi yapılmıştır. Uyku evreleme işlemi için EEG ve

EOG sinyalleri 30 saniyelik epoklara ayrılmıştır. Her bir sinyal için 1006 adet epok elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra her bir epoktan özellik çıkarımı yapılmıştır. Özellik çıkarımı, zaman ve frekans domeni özellikleri olarak iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Özellik çıkarımının ardından PNN ile sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

2.1. EEG Sinyali Özellikleri

SOMNOScreen Plus PSG ile 10 kanal EEG sinyali kaydedilmiştir. EEG elektrotları uluslararası 10-20 sistemine göre yerleştirilmiştir. Çalışmada C3 – A1 EEG kanal verileri kullanılmıştır. Örnekleme frekansı 128 Hz'dir. EEG sinyalinin çalışma frekans bant aralığı 0.5 – 38 Hz arasıdır. EEG sinyali üzerindeki gürültünün bastırılması için 0.5 – 45 Hz arası IIR Butterworth bant geçiren filtre tasarlanmış ve sinyale uygulanmıştır. Filtreden geçirilen EEG sinyali 30 saniyelik epoklara ayrılmış ve 1006 epok elde edilmiştir. Epoklar elde edildikten sonra her bir epoka karşılık uzman doktor tarafından verilen uyku evreleri etiketi yerleştirilmiştir. Çalışmada 3 farklı uyku evresi etiketi kullanılmıştır. Bunlar: W – NREM – R'dir.

Tablo 1:Uyku evreleri dağılımı

3 Sınıf	Epok Sayıları
W	19
NREM	788
R	199

2.1.1. EEG Zaman Domeni Özellikleri

1006 adet epoktan meydana gelen EEG sinyalinden zaman domeninde 9 adet özellik çıkarımı yapılmıştır. Bu özellikler: ortalama, standart sapma, varyans, ortalama eğri uzunluğu [4], ortalama enerji [4], ortalama Teager enerjisi [4] ve Hjorth parametreleri [5] (aktivite katsayısı, hareketlilik katsayısı, karmaşıklık katsayısı)'dir.

2.1.2. EEG Frekans Domeni Özellikleri

EEG işareti frekans bileşenleri Tablo 2'deki gibidir. EEG işaretlerinin frekans özellikleri işaretin frekans spektrumundan çıkarılır. Bu analiz için EEG işaretinin bağlı enerji yoğunlukları hesaplanmıştır.

Tablo 2: EEG işaretlerinin spektral enerji bantları

Bant	Bant Genişliği (Hz)
Delta 1	0.5 – 2.5
Delta 2	2.5 – 4
Teta 1	4 – 6
Teta 2	6 – 8
Alfa	8 – 12
Beta 1	12 – 20
Beta 2	20 – 45

Çalışmada Tablo 2'deki frekans bant genişliklerine göre 14. dereceden Yule Walker AR parametreleri kullanılarak 7 adet spektral güç yoğunlukları hesaplanmıştır. Ayrıca Hijort



Nöral Sinyaller ve Modeller

2. Gün 26 Eylül 2014 Cuma (17.00-18.30)

parametrelerinin frekans versiyonu olan 3 adet harmonik parametre hesaplanmıştır [5].

2.2. EOG Sinyali Özellikleri

Çalışmada 2 kanal EOG sinyali kaydedilmiştir. Toprak olarak alın kullanılmıştır. Çalışmada sağ ve sol gözden alınan EOG verilerinin her ikisi de kullanılmıştır. EOG sinyalinin örnekleme frekansı 128 Hz'dir. EOG sinyalinin çalışma frekans bant aralığı 0.1 – 38 Hz arasındadır. EOG sinyali üzerindeki gürültünün bastırılabilmesi için 0.1 – 40 Hz arası IIR Butterworth bant geçiren filtre tasarlanmış ve sinyale uygulanmıştır. Filtreden geçirilen EOG sinyali 30 saniyelik epoklara ayrılmış ve 1006 epok elde edilmiştir.

2.2.1. EOG Zaman Domeni Özellikleri

EOG sinyali, sağ ve sol göz sinyallerinden oluşan 2x1006 adet epoktan meydana gelmiştir. Her bir sinyal için zaman domeninde 9 adet özellik çıkartımı yapılmıştır. Bu özellikler: ortalama, standart sapma, varyans, ortalama eğri uzunluğu [4], ortalama enerji [4], ortalama Teager enerjisi [4] ve Hjorth parametreleri [5] (aktivite katsayısı, hareketlilik katsayısı, karmaşıklık katsayısı)'dir.

2.2.2. EOG Frekans Domeni Özellikleri

EOG işareti frekans bileşenler Tablo 3'deki gibidir [6]. EOG işaretinin frekans özelliği olarak bağıl enerji yoğunlukları hesaplanmıştır.

Tablo 3: EOG işaretlerinin spektral enerji bantları

Bant	Bant Genişliği (Hz)
1	0.5 – 1
2	0.9 – 1.9
3	1.9 – 3.9
4	3.9 – 7.8
5	7.8 – 15.6
6	15.6 – 31.3
7	31.3 – 62.5

Çalışmada Tablo 3'deki frekans bant genişliklerine göre 14. Dereceden Yule Walker AR parametreleri kullanılarak 7 adet spektral güç yoğunlukları hesaplanmıştır. Ayrıca Hijort parametrelerinin frekans versiyonu olan 3 adet harmonik parametre hesaplanmıştır [5].

EEG ve EOG sinyalinin çıkarılan özellik sayıları Tablo 4'deki gibi özetlenebilir.

Tablo 4: EEG ve EOG Özellik Sayıları

Özellik	EEG	EOG		Toplam
		Sağ Göz	Sol Göz	
ZD	9	9	9	27
FD	10	10	10	30
Toplam	19	19	19	57

2.3. Olasılıksal Yapay Sinir Ağları (PNN)

Uyku evreleme işlemi için sınıflandırıcı algoritmalarından PNN kullanılmıştır.

PNN, Bayesian veya Kernel analizi olarak bilinen, istatistiksel bir algoritmanın çok katmanlı ileri beslemeli ağlara göre organize edilmiş uygulaması olup ideal sınıflandırma

problemleri için genel bir çözüm sağlamayan bir sınıflandırma algoritmasıdır. PNN bir Bayes – Parzen sınıflandırıcıdır [7].

PNN sınıflandırma işlemlerinde, bütün noktaları göz önünde tutarak genelleme üzerine kurulu olan bir ağıdır. Sınıflandırma işlemi için değerlendirilecek olan noktadan her bir diğer nokta için mesafe hesaplanır. Mesafe fonksiyonu kernel fonksiyonu olarak bilinen radial temelli bir fonksiyondur. Fonksiyonun temelini yarıçap mesafesi oluşturduğundan radial temelli olarak adlandırılmıştır. Buradaki etki yani ağırlık radial temelli fonksiyon için mesafeyi ifade etmektedir.

Sınıflandırma işlemi için 1006 adet epok eğitim ve test seti olmak üzere 2 farklı gruba ayrılmıştır. Doğrulama işleminin güvenilirliği için k-fold çapraz doğrulama kullanılmıştır. k=10 olarak alınmıştır. İlk 9 eğitim veri seti 906 epoktan, test veri seti 100 epoktan, 10. eğitim veri seti 900 ve 10. test veri seti 106 epoktan oluşturulmuştur. Eğitim ve test doğruluk oranları 10 sınıflandırma işlemlerinin ardından ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

2.4. PNN Sınıflandırma

Çalışmada uyku evreleme işlemlerinde EEG ve EOG sinyallerinden elde edilen zaman ve frekans domeni özelliklerinin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla çıkarılan özellikler PNN sınıflandırma algoritması ile sınıflandırılmıştır.

Sınıflandırma işlemi MATLAB programlama ortamında PNN sınıflandırma kodları yardımı ile yapılmıştır. Ağın oluşturulması sırasında giriş çıkış verilerine ek olarak sadece SPREAD parametresi değiştirilebilmektedir. Çalışmada bu parametre varsayılan değeri olan 0.1 ile kullanılmıştır. Ağın giriş verileri olan zaman ve frekans domeni özellikleri ağa gönderilmeden önce 0 – 1 arasında normalizasyona tabi tutulmuştur. Çıkış verileri olan W – NREM – R değerlerine ise herhangi bir normalizasyon işlemi uygulanmamıştır. Ağ çıkışında sayısal ifade verilmesi zorunda olduğundan W için 1 NREM için 2 ve R için 3 sayısal etiketi kullanılmıştır.

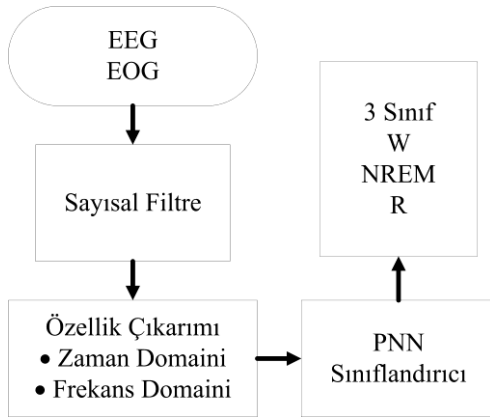
Sınıflandırma işlemi için işlem basamakları Şekil 1'deki akış diyagramında gösterilmiştir. Diyagrama göre alınan EEG ve EOG sinyalleri filtreleme tabi tutulduktan sonra sinyallerden özellik çıkarım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ardından sınıflandırma algoritması olan PNN ile veriler özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işlemi sırasında Tablo 5'deki sıralamaya uygun olarak farklı çalışmalar yapılmıştır. İlk olarak işaretlerin sadece zaman ve frekans domeni özellikleri ile sınıflandırma işlemleri yapılmıştır. Ardından bu iki özellik grubu birlikte sınıflandırma işleminde kullanılmıştır. En son olarak ise EEG ve EOG sinyalleri birlikte kullanılmıştır. Sinyaller birlikte kullanılırken ise ilk olarak tekrar zaman ve frekans domeni özellikleri ile ayrı ayrı sınıflandırma işlemleri yapılmıştır. Ardından bu iki özellik grubu birlikte sınıflandırma işleminde kullanılmıştır. Elde edilen doğruluk oranları Tablo 5'de gösterilmiştir. Tablo 5'de bulunan Eğitim ve Test başlıkları Eğitim ve Test setleri ile yapılan sınıflandırma işlemlerinde elde edilen doğruluk oranlarını göstermektedir. DO doğruluk oranı, DSUES doğru sınıflandırılan uyku evresi

Nöral Sinyaller ve Modeller

2. Gün 26 Eylül 2014 Cuma (17.00-18.30)

sayısı ve TUES toplam uykuya evre sayısı olmak üzere, doğruluk oranını denklem 1'deki gibi hesaplanmıştır.

$$\%DO = \frac{DSUES}{TUES} \times 100 \quad 1$$



Şekil 1: Akış Diyagramı

3. Sonuçlar

Şekil 1'de gösterilen akış şemasına uygun olarak EEG ve EOG sinyalleri analiz edilmiştir. Tablo 5'de EEG ve EOG sinyallerinden çıkarılan zaman ve frekans domen özelliklerine göre sınıflandırma işlemlerinin sonuçları gösterilmiştir. Çalışmanın amacı çıkarılan bu özelliklerin uyku evrelemedeki etkisinin incelenmesidir. Bu yüzden ayrı ayrı ve birlikte analize tabi tutulmuştur. EEG sinyalleri ile yapılan uyku evreleme üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada uyku evreleme sadece zaman domeni özellikleri ile yapılmıştır. Ardından sadece frekans domeni özellikleri ile yapılmıştır ve son olarak zaman ve frekans domeni özellikleri birlikte kullanılarak uyku evreleme işlemi yapılmıştır. Aynı işlemler sırası ile EOG sinyaline de uygulanmıştır. Daha sonra EEG ve EOG sinyali birlikte kullanılarak uyku evreleme işlemi yapılmıştır. Tablo 5'deki sonuçlara bakıldığında EEG sinyalinden çıkarılan frekans domeni özellikleri uyku evrelemede zaman domeninden biraz daha iyi sonuç vermektedir. Ancak bu iki özellik grubu birlikte kullanıldığında sonuçlar daha da artmıştır. Kullanılan sinyale bağlı olarak doğruluk oranlarında da değişiklik olduğu görülebilmektedir. Uyku evrelemede en uygun sinyal seçimi için bu çalışmaların farklı sinyaller ile daha fazla yapılması gerekmektedir. Tablo 5'e bakıldığında sadece EEG sinyali kullanılarak zaman veya frekans domeni özellikleri ile uyku evrelemede elde edilen sırasıyla %90.17 ve %98.23'lük doğruluk oranları oldukça başarılıdır. Geliştirilen sistemlerde eğitim başarı oranı oldukça önemli olduğundan %100 olması tercih edilir. Bu yüzden zaman ve frekans domeni özellikleri birlikte kullanılması daha uygun olacaktır. Yapılan çalışmalarda elde edilen bu doğruluk oranı literatürdeki farklı çalışmalarla karşılaştırıldığında oldukça iyi ve yeterlidir. Ancak sistem geliştirilmeye açık ve oldukça iyi bir şekilde de geliştirilebilir. Elde edilen bu sonuçlara göre pratik bir uyku evreleme sistemi tasarımında sadece EEG sinyali ile oldukça yüksek doğruluk oranına sahip bir sistem tasarımı yapmak mümkündür.

Mevcut sistemin doğruluk oranını arttırabilmek için farklı zaman ve frekans domeni özellikleri çıkarılarak sisteme

eklenebilir. Ayrıca kullanılacak farklı sayısal filtreler yardımıyla sistem geliştirilebilir.

Tablo 5: Sınıflandırma İşlemi Sonuçları

Sinyal	Özellik	Doğruluk Oranları	
		3 Sınıf (%)	
		Eğitim	Test
EEG	ZD	90.17	90.17
	FD	98.23	98.23
	ZD + FD	100	100
EOG	ZD	99.89	99.89
	FD	100	100
	ZD + FD	100	100
EEG EOG	ZD + ZD	100	100
	FD + FD	100	100
	ZD + ZD + FD + FD	100	100

4. Kaynakça

- [1] A. Annakkaya, Ö. Balbay, C. Bilgin, M. Erbaş ve P. Arbak, «8-Kanal Modifiye Porabl Uyku-Apne Ünitesi Sonuçları,» *Solumum*, cilt 6, no. 1, pp. 12-23, 2004.
- [2] C. Iber, S. Ancoli-Israel, A. Chesson Jr and S. Quan, *The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminology and Technical Specifications*, U.S.: 1st ed. Westchester, Illinois: American Academy of Sleep Medicine, 2007.
- [3] W. Dement ve N. Kleitman, «Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility and dreaming,» *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, cilt 9, pp. 673-690, 1957.
- [4] E. Avşar, Tek-Sınıf Destek Vektör Makineleri Kullanılarak Epileptik EEG İşaretlerinin Sınıflandırılması, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi: İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [5] M. Yıldız, Uyku Evrelerinin EEG İşaretleri Kullanılarak Sınıflandırılmasında Yeni Bir Yaklaşım, Sakarya, Doktora Tezi: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [6] W. Bukhari, W. Daud and R. Sudirman, "Time Frequency Analysis of Electrooculograph (EOG) Signal of Eye Movement Potentials Based on Wavelet Energy Distribution," in *2011 Fifth Asia Modelling Symposium (AMS)*, Kuala Lumpur, 2011.
- [7] D. Specht, "Probabilistic neural networks," *Neural Networks*, vol. 3, pp. 109-118, 1990.