



# Solunum Sinyalleri Kullanılarak Hipopnenin Tespiti

## Detection of Hypopnea Using Respiratory Signals

Aynur Didem Oktan, Mehmet Feyzi Akşahin  
Biyomedikal Mühendisliği Bölümü  
Başkent Üniversitesi,  
Ankara, Türkiye  
adoktan@baskent.edu.tr, maksahin@baskent.edu.tr

**Özetçe**—Hipopne, insanların uyku kalitesini etkileyen, yaşam standartlarını düşüren bir solunum bozukluğudur. Uyku bozukluklarının tespiti ve tedavisi çok maliyetlidir. Zaman ve emek harcamayı gerektirir. Çünkü hastalar zamanlarını, fizyolojik sinyallerinin kaydedildiği özel sistemler ve uzman personel ile birkaç gece uyku laboratuvarlarında geçirmek zorundadırlar. Polisomnogramların her gece alanında uzman hekimler tarafından analiz edilmesi gerekir. Güvenilir uyku aşaması skorlaması uzmanlar tarafından elle yapılır. Bu, her sabah, bir uzmanın hipnogram oluşturmak için sekiz saatlik bir polisomnogramın 960 dönemini görsel olarak analiz etmesi demektir. Bu uzun zaman gerektirir. Bu çalışmada hipopnenin doktor etkisini ortadan kaldırarak otomatik tespiti için bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde kişiden elde edilen hava akışı, toraks ve abdominal genlik bilgileri kullanılarak epoklar skorlanmıştır. Hipopneli ve normal epokların varyansları ve güç spektral verileri eklenerek bir eğitim verisi oluşturulmuştur. Bu veriler öznelikler kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Hipopne varlığını belirlerken Karesele Destek Vektör Makineleri (DVM) en yüksek doğruluk değerini vermiştir. Karesele DVM yöntemi %90,6 doğrulukta eğitilmiştir ve sonrasında sistem test edilmiştir. %90 hassasiyet ile hiopneli epokların tespit edilebildiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler** — uyku apnesi; hipopne; solunum sinyali.

**Abstract**— Hypopnea is a respiratory disorder that affects people's sleep quality and reduces their standard of living. Detection and treatment of sleep disorders are costly. It requires time and effort. Because patients have to spend their time with special systems in which their physiological signals are recorded and specialist personnel in their sleep laboratories. Polysomnograms should be analyzed by medical doctors every night. Reliable sleep stage scoring is done manually by experts. This means that each morning, a specialist visually analyzes the 960 period of an eight-hour polysomnogram to create a hypnogram. This requires a long time. In this study, a method for automatic detection of hypopnea by eliminating the effect of the doctor is proposed. In this method, epoxes were scored by using air flow, thorax and abdominal amplitude information obtained from the person. A training data was created using hypopnea and normal epochs and grading was performed using the determined attributes. Quadratic Support Vector Machines (SVM) gave the highest accuracy when determining the presence of hypopnea. The linear DVM method was trained in 90.6% accuracy and the system was then tested. It was found that hioped epochs can be detected with 90% sensitivity.

**Keywords** — sleep apnea; hypopnea; respiratory signal.

### I. GİRİŞ

Obstrüktif uyku apne hipopne sendromu (OUAS); üst hava yolunun uyku sırasında sürekli olarak tıkanmasıdır. Yetişkin kadında %2 ve erkekte %4 oranlarında görülür. Geceleri horlama, gündüzleri ise aşırı uykululuk haline sebep olur [1, 2].

Uyku apnesinin en önemli özelliği, uyku sırasında, solunumun engellenmesidir. Solunum, tamamen (apne) veya parçalı (hipopne) olarak engellenebilir. Apne, solunumun en az 10 saniye süre ile tamamen kesilmesidir. Solunumun en az 10 sn süre boyunca %50 oranında azalması hipopne olarak tanımlanır. Birçok uzman, %3'lük bir oksijen desatürasyonu veya arousal tespitinin hipopne tespiti için gerekli görmektedir. Uyku sırasında saat başına düşen apne ve hipopnelerin ortalama toplamı, apne-hipopne indeksi (AHI) olarak tanımlanır. AHI, apnenin derecesini belirlemede kullanılır. Yaş, cinsiyet, genetik özellikler, kraniofasial anomaliler, sigara ve alkol tüketimi OUAS'na eğilimi artıran başlıca faktörlerdir [2].

Tanıda altın standart polisomnografidir (PSG). Uyku sırasında gece boyunca, pek çok fizyolojik parametrenin (nöro-fizyolojik, kardiyak, respiratuar) eşzamanlı ve devamlı olarak kaydedilmesi PSG olarak adlandırılır [3]. Kaydedilen bu sinyaller daha sonra alanında uzman hekimler tarafından skorlanır. Bu şekilde hipopne tespiti yapılır.

Hipopne teşhisi için yapılan çalışmalarda yaygın olarak EKG, SPO<sub>2</sub> ve solunum verileri kullanılmaktadır. Khandoker ve ark. [4] EKG sinyallerinin dalgacık tabanlı özelliklerini kullanarak normal solunum olaylarından apne ve hipopneyi tespit etmişlerdir. Álvarez-Estévez ve Moret-Bonillo tarafından yapılan bir çalışmada [5], apne ve hipopneyi tespit etmek için, gece boyunca kaydedilen solunum verileri kullanılmıştır. Bunun için bulanık mantık tabanlı bir sistem kullanmışlardır. Bir başka çalışmada [6] SPO<sub>2</sub> verisinden elde edilen sinyalin zaman alanı, frekans alanı ve doğrusal olmayan özellikleri bu sinyallerin dinamik davranışını yansıtmak için kullanılmıştır. 4 farklı sınıflandırma yöntemi ile apne ve hipopne tespit doğruluğu araştırılmıştır.

Uykuda sırasında meydana gelen solunum bozukluklarının tanısı için solunumun takip edilmesi gereklidir. Hastanın solunumsal açıdan takibinde ağız ve burundan hava akımı iletimi, torakoabdominal hareketler, oksijenlenme, CO<sub>2</sub> miktarı ölçümü, özefagus basıncı takibi, solunum sesi, darbe geçiş süresi (PTT) incelemeleri yapılır [7]. Göğüs ve karına kemer yerleştirilerek toraks ve abdominal için ölçüm değerleri

belirlenir. Bunun için genellikle piezo bantlar, solunum indüktans pletismografisi, empedans pnömografi, respiratuar manometer ve respiratuar kas EMG'si kullanılır. Piezo bantlar, solunum eforu esnasında toraks ve abdomende meydana gelen genişleme ve daralma hareketleri anında meydana gelen gerginliği kaydeder. Bu yöntem ile hava akımındaki değişiklikler kalitatif olarak hesaplanarak hipopne tespitinde kullanılır.

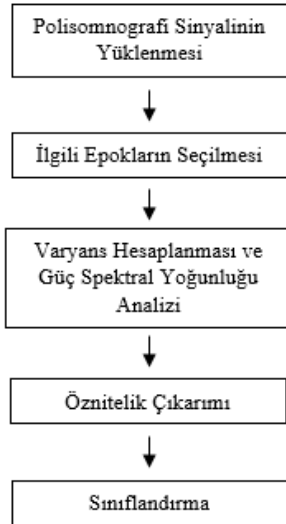
Bu çalışmada kişinin PSG ile alınan hava akışı, toraks ve abdominalden alınan sinyal bilgileri incelenmiştir. İnceleme sonucunda sinyalden varyans ve güç spektral yoğunluğu hesaplanması ile öznelikler elde edilmiştir. Çıkarılan öznelikler ve makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak hipopne sınıflandırılmıştır. Elde edilen doğruluk oranlarına göre hipopneyi sınıflandırmak için kullanılacak en iyi veri gruplarını bulmak amaçlanmıştır.

## II. ÇALIŞMA KAPSAMINDA KULLANILAN VERİ SETİ

Çalışma kapsamında, uyku kalp sağlığı çalışması PSG veritabanı (Sleep Heart Health Study PSG Database) kullanılmıştır [8]. Kullanılan hava akışı, toraks ve abdominale ait sinyaller 10Hz ile örneklenmiştir. Veritabanından alınan bu sinyaller, MATLAB programı kullanılarak 30 saniyelik epoklar halinde incelenmiştir.

## III. YÖNTEM VE ANALİZLER

Çalışmada yapılan işlemlere ait akış şeması Şekil 1' de görülmektedir.

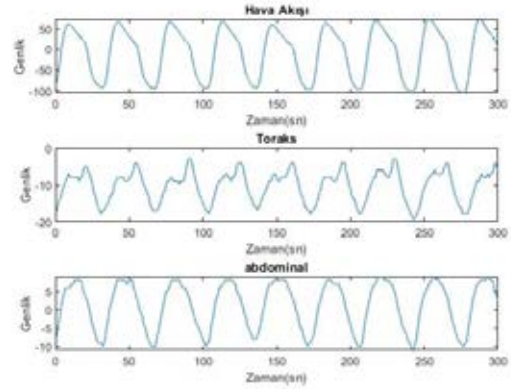


Şekil 1 Algoritma akış şeması

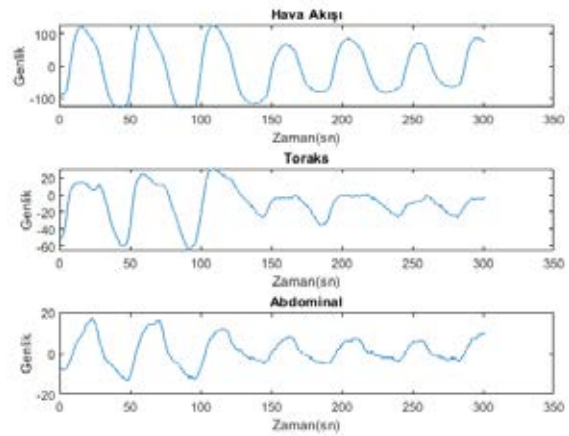
### A. Solunum Sinyalinin İncelenmesi

Henüz yeterince ve verimli bir şekilde çözülmemiş olan birçok zorlu problem vardır, bunlardan ikisi uyku evresi skorlaması ve apne-hipopne tespitidir. Uyku evresi skorlaması, uyku seviyesinin derinliğine göre önceden tanımlanmış evrelerde sınıflandırılmasıdır. Bu, genel olarak uyku bozukluklarının tespiti ve tedavisi için önemli bir temel oluşturur. Uyku bozukluğu apnesini tespit etmenin doğrudan bir yolu, uyku sırasında solunum akışının tamamen veya kısmen kesilmesiyle karakterize edilen gece apnesi-hipopne olaylarının

tespitidir. Hava akışı, toraks ve abdominalden elde edilen sinyaller Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2. Hava akışından, toraks ve abdominalden elde edilen sinyaller



Şekil 3 Hipopne durumunda hava akışı, toraks ve abdominalden elde edilen sinyaller

Bu çalışmada önceden skorlanmış veriler kullanılmıştır. Bu veriler içerisinde 197 adet hipopneli olan ve 197 adet normal epoklar seçilerek bir diziye atanmış ve buradaki verilerden öznelik çıkarımı yapılmıştır.

Öznelik çıkarımı için araştırılan yöntemler aşağıdaki gibidir:

- Her bir sinyalin varyansının ortalaması
- Sinyallerin varyansının standart sapması
- Güç spektral yoğunluğu hesaplanması

Güç spektral yoğunluğu sinyalin frekans bileşenlerinin yoğunluğu olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada güç spektral yoğunluğu hesaplamak için Welch yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem parametrik olmayan bir yaklaşıma dayanır. Temelinde hızlı Fourier dönüşümü yer alır. Klasik spektral kestirim yöntemlerindedir. İşaret periyodogram ile çevrelere bölünür ve güç spektral yoğunluğu elde edilir [9]. Welch periyodogram için bir iyileştirme önermiştir. İşaret üst üste çıkabilecek şekilde bölümlere ayrılır. Her bir bölüm için ayrı ayrı iyileştirilmiş periyodogramlar ve daha sonra bu periyodogramların ortalaması alınır. Elde edilen ortalama

değerler tüm verinin tek bir periyodogram kestirimine göre varyansını azaltır. Welch yöntemi ile iyileştirilmiş periyodogramların ortalamasını alınarak güç spektral yoğunluğu kestirilir.  $i$ ' inci iyileştirilmiş periyodogram denklem (1)'deki gibi verilir.

$$\hat{S}_{xx}^{(i)}(f) = \frac{T_s}{K.M} \left| \sum_{n=0}^{M-1} x_i(n)w(n).e^{-j2\pi fn} \right|^2 \quad (1)$$

$f=fs$  : normalize edilmiş frekans değişkeni  
 $T_s$  : Ölçkleme faktörü  
 $w(n)$  : pencereleme fonksiyonu  
 $K$  : normalize sabiti

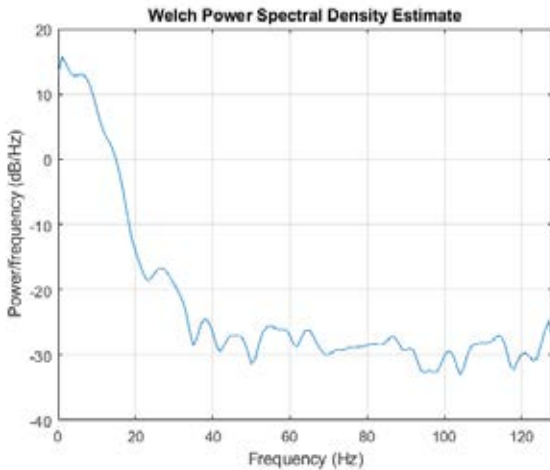
$$K = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} w^2(n) \quad (2)$$

Sonuçta elde edilen güç spektral yoğunluğu kestirimi eşitlik 3' te verilmiştir.

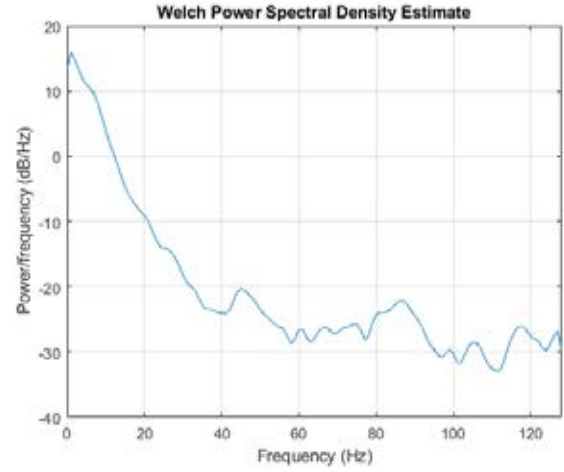
$$\hat{P}_{Welch}(f) = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} \hat{S}_{xx}^{(i)}(f) \quad (3)$$

$L$  zaman dizisi serisinin uzunluğunu ifade eder. Varyans azaltılması ile çözünürlük arasında ters orantı vardır. Art gürültü oranını düşük olması durumunda periyodograma kıyasla daha yüksek bir çözünürlüğe ulaşmak için Welch yöntemi kullanılabilir [9].

Welch yöntemi kullanılarak normal ve hipopneli epoklardan elde edilen güç spektrumları grafikleri ekil 4 ve ekil 5' te verilmiştir.



Şekil 4 Normal bir epok için güç spektral yoğunluğu



Şekil 5 Hipopneli epoktan elde edilen güç spektral yoğunluğu

### B. Sınıflandırma

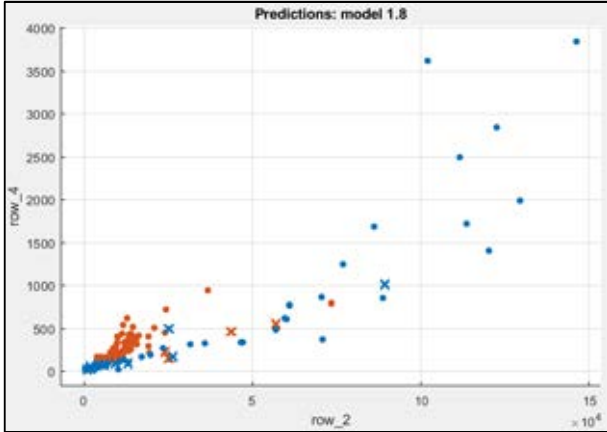
Destek Vektör Makineleri (DVM) istatistiksel öğrenme teorisine dayalı kontrollü bir sınıflandırma yöntemidir [10]. En önemli avantajı, kareli optimizasyon ile sınıflandırma problemini çözer. Çözümüne yönelik öğrenme sırasında işlem sayısı azaltarak diğer yöntemlere göre daha hızlı çözüme ulaşılmasını sağlamaktadır [11]. Bu çalışmada, hipopne karesel DVM ile sınıflandırılmıştır.

Analiz sonucunda elde edilen özneliklerin hipopnenin varlığında ve olmadığı durumlarda farklılık gösterdiği görüldü. Hipopnenin olduğu ve olmadığı epoklar kullanılarak bir veri dizisi oluşturuldu. Ve bahsi geçen öznelik çıkarım teknikleri kullanılarak sinyaliniz hakkında bilgi içeren bir matris oluşturuldu. Elde edilen öznelikler içeren bu veri setinin %60' ı eğitim için %40' ı test için kullanıldı. Hipopnenin olması durumu 1, olmaması durumu ise 0 olarak kabul edildi. Daha sonra eğitim verileri sınıflandırıcıya sokuldu ve karesel DVM yöntemi ile hipopne tespitinin %90,6 oranında yapılabildiği görüldü. Şekil 6' da apnezis ve hipopneli verilerin dağılımına ait grafik yer almaktadır.

|            |   | Model 1.8       |    |
|------------|---|-----------------|----|
|            |   | 0               | 1  |
| True class | 0 | 78              | 7  |
|            | 1 | 9               | 76 |
|            |   | 0               | 1  |
|            |   | Predicted class |    |

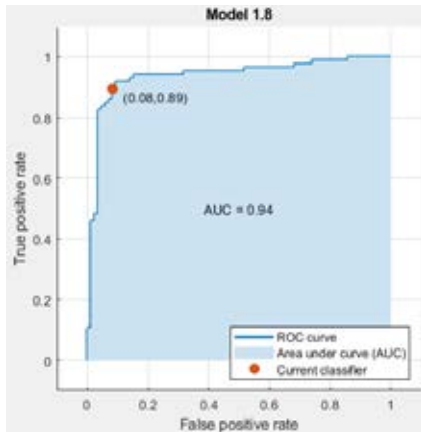
Şekil 6. Hata matrisi

Şekil 7' de hipopneli ve normal epoklara ait verilerin dağılım grafiği görülmektedir. Turuncu veriler hipopneli epokları temsil ederken mavi veriler normal epokları göstermektedir. Belirlenen eğitim verilerini kullanılması ile yapılan sınıflandırma işlemlerinde 9 veri hipopneye ait iken normal olarak bulunmaktadır; 7 veri ise gerçekte hipopneli iken sınıflandırıcı tarafından normal olarak bulunmaktadır.



Şekil 7 Veri dağılım grafiği

ROC eğrisinin altında kalan alan sınıflandırıcının doğru tahmin oranını vermektedir. Eğrinin altındaki alan 1' e ne kadar yakın ise doğruluk oranı o kadar fazla demektir. Bizim yaptığımız çalışma sonucunda elde edilen sonuçların doğruluk oranı 0.94 bulunmuştur (Şekil 8).



Şekil 8 ROC eğrisi

#### IV. SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında hipopneli ve normal durum olmak üzere 120 adet epok incelenmiştir. Sinyal üzerinden öznetelik çıkarımı işlemi uygulanarak elde edilen veriler karesel DVM kullanılarak sınıflandırılmış ve hipopnenin %90.6 oranında tespit edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu şekilde eğitilen sınıflandırıcı test verileri üzerine de uygulanmış ve %90 hassasiyet ile hipopneli epokların tespit edilebildiği görülmüştür.

Literatürdeki çalışmalar apne ve hipopne endeksinin belirlenmesine yöneliktir [4-6]. Direkt olarak hipopne tespitine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Apne teşhisi için alanında uzman doktorların polisomnografi kayıtlarını tek tek incelemesi ve verileri skorlaması gerekmektedir. Bu uzun zaman alır ve daha da önemli kişiye göre karar değişebilmektedir. Önerilen yöntem ile birlikte hem zaman kaybı en aza indirilecek hem de kişiye göre değişen kararların önüne geçilerek objektif sonuçlar elde edilecektir.

#### KAYNAKLAR

- [1] E. Kara, *Obstrüktif Uyku Apne Sendromu*, 2011.
- [2] N. Dursunoğlu ve D. Dursunoğlu, *The effects of obstructive sleep apnea hypopnea syndrome on cardiovascular system*, 2005.
- [3] A. Mirici ve Ö. Araz, *Polisomnografi*, Türkiye Klinikleri Journal of Internal Medical Sciences, 2006.
- [4] A. H. Khandoker, J. Gubbı ve M. Palaniswami, *Automated scoring of obstructive sleep apnea and hypopnea events using short-term electrocardiogram recordings*, IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2009, pp. 1057-1067.
- [5] D. Álvarez-Estévez ve V. Moret-Bonillo, *Fuzzy reasoning used to detect apneic events in the sleep apnea-hypopnea syndrome*, Expert Systems with Applications, 2009, pp. 7778-7785.
- [6] D. Sánchez-Morillo, M. Á. López-Gordo ve A. León, *Novel multiclass classification for home-based diagnosis of sleep apnea hypopnea syndrome*, Expert Systems with Applications, 2014, pp. 1654-1662.
- [7] A. Kanbay, *Genel Prensipler, Kayıt Yöntemleri, Kalibrasyon*, Solunum, 2013.
- [8] «physionet,» [Çevrimiçi]. Available: <https://physionet.org/content/shhpsgdb/1.0.0/>. [Erişildi: 10 09 2019].
- [9] A. Alkan ve A. Yılmaz, *Kapasitör Anahtarlama Sonucu Oluşan Geçici Salınımların Frekans ve Zaman Frekans Domeninde Analizi*, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi ve Fuarı, 2007.
- [10] T. Kavzoğlu ve İ. Çölkesen, *Destek Vektör Makineleri ile Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılmasında Kernel Fonksiyonlarının Etkilerinin İncelenmesi*, Harita Dergisi, 2010, pp. 73-82.
- [11] S. Ayhan ve Ş. Erdoğan, *Destek vektör makineleriyle sınıflandırma problemlerinin çözümü için çekirdek fonksiyonu seçimi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 2014, pp. 175-201.