

## Tıkayıcı Uyku Apnesinin Yapay Sinir Ağları ve Morfolojik Filtreler kullanılarak Sınıflandırılması İçin Yeni Yöntem

Ali ÖTER<sup>1</sup>, Osman AYDOĞAN<sup>1\*</sup>, M. Kemal KIYMIK<sup>2</sup>, Deniz TUNCEL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Kahramanmaraş Türkiye

<sup>2</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş Türkiye

<sup>3</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Tıp Fakültesi Temel Bilimler Bölümü, Kahramanmaraş Türkiye

**ÖZET:** Yıllardan beri Tıkayıcı Uyku Apnesi hastalığının teşhisi için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Çalışmaların bir kısmında gerçek zamanlı sistemler kullanılırken, bir kısmında ise özellikle hastalık tanısı için, geceyi uyku laboratuvarında geçiren apne hastalarından polisomnografi cihazıyla elde edilen işaretler yardımıyla Tıkayıcı Uyku Apnesi belirlemeye dayalı çalışmalar yaygın olarak yapılmaktadır. Yapılan çalışmada hastalardan elde edilen işaretlerinin güç değerleri kullanılmıştır. Çalışmada, İleri beslemeli Yapay Sinir Ağları ve morfolojik filtre bir arada kullanılarak Tıkayıcı Uyku Apnesi belirlenmeye dayalı bir yöntem önerilmiştir. Yapılan skorlamanın toplam doğruluğu hesaplanarak, doktor tarafından yapılan görsel skorlama ile karşılaştırılmıştır. Yalnızca Yapay Sinir Ağları kullanılarak yapılan çalışmada başarımların düşüklüğü ortalamada %90,7 doğruluk oranına ulaşılmıştır. Önerilen yöntem kullanılarak Tıkayıcı uyku apnesinin belirlendiğinde, doktorların incelemeler için uzun zaman kayıplarının önüne geçeceği kullanım kolaylığı sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Yapay Sinir Ağı, Tıkayıcı Uyku Apnesi, Morfolojik Filtre, Polisomnografi*

## A New Method for Obstructive sleep apnea classification using Feedforward Neural Networks and Morphological Filter

**ABSTRACT:** Various methods have been used so far for the diagnosis of Obstructive Sleep Apnea. While some studies used real-time systems, there are also numerous studies which focus on diagnosing Obstructive Sleep Apnea via signals obtained by polysomnography from apnea patients who spend the night in sleep laboratory. Poor values of signals obtained from patients were used in this study. The method proposed in this study combines Feedforward Neural Network and morphological filter in order to diagnose Obstructive Sleep Apnea. After total accuracy of scoring was calculated, it was compared with visual scoring performed by the doctor. While the classification performance is low in the study carried out via Artificial Neural Networks, its performance significantly increased when ANN and morphological filters were used together. The proposed method reached an accuracy of 90.7 percent. The proposed method reduces the time in the diagnosis of Obstructive Sleep Apnea as well as offering an easier usage.

**Keywords:** *Neural Network, Obstructive Sleep Apnea, Morphological filter, Polysomnography*

### 1. GİRİŞ

Bu çalışmada Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tıp Fakültesi hastanesi uyku laboratuvarında yatan Tıkayıcı Uyku Apnesi (TUA) hastalarından alınan işaretler kullanılarak hastalık teşhisi için otomatik bir sistem sunulmuştur. Yapılan çalışmada 2 sağlıklı, 8 TUA hastasına ait solunum işaretleri kullanılmıştır. Kullanılan her işaret hastaların geceyi uyku laboratuvarında geçirdikleri yaklaşık 8 saatlik zaman diliminde Polisomnografi (PSG) cihazı ile kaydedilmiştir. Kaydedilen işaretlere ait özellikler

çıkartılarak ileri beslemeli Yapay Sinir Ağları (YSA) ile sınıflandırma yapılmıştır. Son yıllarda özellikle sınıflandırma çalışmalarında YSA yaygın olarak kullanılmaktadır. YSA kullanılarak yapılan sınıflandırma çalışmalarda en önemli sorunların başında yüksek performans değerlerinin elde edilememesi gelmektedir. YSA performansını artırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan sınıflandırma performansının iyileştirilmesi için dijital görüntü işlemede kullanılan morfolojik filtreler YSA çıkışında elde edilen fonksiyona uygulanmıştır. Önerilen modelinin istenen başarıya elde edebilmesi için özellik vektörlerinin seçimi ve sıralamasının doğru şekilde YSA

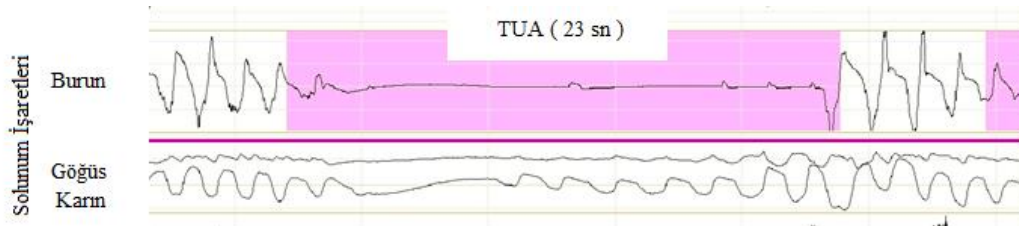
\*Sorumlu Yazar: Osman AYDOĞAN, [aydogan@ksu.edu.tr](mailto:aydogan@ksu.edu.tr)

yapılması önemli olmakla birlikte, modelin giriş ve çıkış birimlerindeki işaretlere uygulanan işlemler de önemlidir. Yapılan bu işlemler sayesinde kullanılan YSA modelinin performansının iyileştirilmesi artan bir ilgi alanı haline gelmektedir. Morfolojik işlemler, bir görüntünün geometrik yapısını ve şeklini dijital olarak incelemede bir araç olarak kullanımı yaygındır. Çalışmada YSA çıkışında elde edilen çıkış fonksiyonuna morfolojik işlemlerden elde edilen filtreler kullanılarak işaretin genliğindeki bazı bozulmaların zaman domeninde iyileştirilmiştir. Morfolojik filtrelerden elde edilen işaretler daha sonra sınıflandırma işleme uygulanarak başarımların performansları incelenmiştir. Yapılan sınıflandırma çalışmalarında normal solunum ve TUA durumları belirlenmiştir.

Uyku hastalıkları yaşam kalitesinin azalmasına ve sağlığın bozulmasına neden olan uyku bozukluğu hastalıklarıdır. Uyku bozukluklarının başlıca nedenlerinden birisi de uyku sırasında solunum durmasıdır ve uyku apnesi olarak bilinir. Uyku apnesi, uyku esnasında burun veya ağızdaki hava akımının 10

saniye veya daha uzun süre ile kesilmesi olarak ifade edilir [1]. Uyku esnasında solunumun durması uyku apnesi, solunumun azalması ise hipopne olarak isimlendirilir. Birçok hastalık gibi uyku apnesinin de türleri vardır. Görülme sıklığına göre tıkaçıcı tip uyku apnesi (TUA), merkezi tip uyku apnesi (MUA) ve birleşik tip uyku apnesi (BUA) olmak üzere 3 çeşittir. % 95 oranında görülme sıklığı ile TUA başta gelmektedir [2].

TUA görsel olarak incelenirken solunum işaretleri dilimlere ayrılarak genlik değişimleri tespit edilir. TUA görülmesi sırasında solunum işaretlerinde hava akımının genlik değerinde düşüş gözlenir. Özellikle burundan elde edilen solunum işaretinin genliğindeki %90 oranında düşüş gözlenir. Uzman doktor tarafından belirlenen bir TUA için Şekil 1'de bu düşüş açıkça görülmektedir. Aynı şekilde göğüs ve karın solunum işaretlerinde de genlik değerinin belirli oranda düşmesi gerekir[1]. Ayrıca oksijen saturasyonu işareti için, farklı değerlendirme kriterlerine göre en az %3 ile %4 düşmesi gerekir[1].



Şekil 1. PSG ile yapılan incelemelerde uzman doktor tarafından belirlenen TUA

TUA'nin erken teşhisi ve takibi, tedavinin başarısı açısından önemlidir. Hastalığın teşhisi konulurken PSG cihazları ile hastanın biyolojik ve fizyolojik işaretleri kaydedilir. Bu kayıtlar uyku uzmanı doktor tarafından görsel olarak incelenir. Uzun uyku kayıtlarının (ortalama sekiz saat) uzman doktor tarafından görsel olarak incelenmesi uzun zaman almakta ve doktor deneyimine göre yorum farkı oluşabilmektedir. Bundan dolayı bilgisayar algoritmalarına dayalı uzman sistemlerin geliştirilmesi için birçok çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

2005 yılında, uyku apnesinin sınıflandırması için Romero ve arkadaşları tarafından Dalgacık dönüşümü ve ileri beslemeli YSA kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır. Yapılan çalışmada Ağız ve göğüs solunum işaretleri kullanılmıştır. YSA'nın başarımların performansı 10 katlı çapraz doğrulama yapılarak %85 doğruluk oranı ile sınıflandırma yapılmıştır [3]. Marcosa ve arkadaşları tarafından dört farklı algoritma kullanılarak SaO<sub>2</sub> (oksijen saturasyonu) işaretinin değerlendirilmesi ile TUA için analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerde %87 doğruluk oranına ulaşılmıştır [4]. Güneş ve arkadaşları 2010 yılında yayınlanan çalışmalarında çok katmanlı

YSA kullanarak TUA'ni belirlediler. Yapılan çalışmada eğitim ve test kümeleri %50 seçilerek sınıflandırma yapılmıştır. Yapılan sınıflandırmada %83 doğruluk oranına ulaşılmıştır [5]. Uyku bozukluğu incelenmesinde EKG'den türetilen solunum işaretlerinin bir başka uygulaması Babaeizadeh ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. EKG'den türetilen solunum işareti kullanılarak geliştirilen algoritma ile uykuda solunum bozuklukları %79 doğruluk oranı ile belirlenmiştir [6].

Bu çalışmada TUA skorlaması için görsel skorlama kurallarını referans alan bir yöntem kullanılmıştır. Çalışmanın 2. bölümünde işaretlerin elde edilmesi, işaret işleme teknikleri ile işaretlerin işlenmesi için kullanılan yöntem açıklanmıştır. 3. bölümünde önerilen yöntemle ait bulgular ve sonuçlar verilmiştir

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Verilerin Toplanması

Kullanılan tüm deneysel veriler Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tıp Fakültesi Araştırma ve

Uygulama Hastanesindeki Uyku Laboratuvarından elde edilmiştir. Bütün hastalardan bu çalışma için bir gecelik PSG kaydı alınmıştır. PSG kayıtları uyku teknisyeni tarafından görsel olarak skorlanmış, daha sonra uzman doktor incelemesi ile raporlanmıştır. PSG kayıtları apne tipi ve apne/hipopne indeksine göre sınıflandırılmıştır. 10 hasta için, apne tipi belirlenen kayıtlar AHI değerine göre (AHI<5 Normal, 5<AHI<15 hafif, 15<AHI<30 orta, 30<AHI ağır) sınıflandırıldı. Hastalara hasta1, hasta2 gibi isimler verildi.

## 2.2. Yöntemler

TUA ile ilgili PSG kayıtları, hastalardan alınan fizyolojik işaretler ve uzman doktor tarafından onaylanan raporlardan oluşur. Fizyolojik işaretler "Embla File Format" ile kaydedildiğinden, analiz edilebilmesi için bir dönüşüm algoritması ile "Matlab File Format"a dönüştürülmüştür. İşaretlerdeki istenmeyen gürültüler ve şebeke gürültüsü kayıt sırasında polisomnografi cihazı tarafından giderilmiştir. Uyku esnasında hasta veya sensörlerin hareket etmesi ile solunum işaretlerinde istenmeyen genlik değişimleri (artefaktlar) oluşmaktadır. İstenmeyen genlik değişimlerinin engellenmesi için istatistik yöntemlerden faydalanılmıştır. İstatistik olarak normal dağılımlı bir sayı dizisinin %95.45'i  $\mu \pm 2\sigma$  aralığında olmaktadır [7]. Burada  $\mu$ , dizinin aritmetik ortalamasını,  $\sigma$  ise standart sapmasını göstermektedir. Genlik değeri bu aralığın dışında kalan değerler gürültü (artefakt) olarak kabul edilmiştir.

İşaret işleme sırasında, işlem tekrarlarını önlemek için, Denklem 1 kullanılarak solunum işaretlerin 1 saniye dilimler halinde işaret güçleri hesaplanmıştır. Elde edilen yeni işaret dizisi, TUA belirlemede kullanılmıştır

$$p_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i|^2 \quad (1)$$

Burada,

$p_j$ : 1'er saniyelik dilimler halinde solunum işaretinin gücü

$x$ : 200 Hz ile örneklenmiş solunum sinyalini

$N$ : 1 saniyedeki örnek sayısını göstermektedir.

Uyku apnesi skorlama işlemi, esasında bir veri kümesinin belirli kurallar ile iki gruba ayrılması işlemidir. YSA sınırları tam olarak belirlenemeyen işaret dizilerinin sınıflandırılması işleminde yaygın şekilde kullanılır [3]. Solunum işaretlerinden normal veya apne/hipopne olup olmasına göre sınıflandırılma çalışmalarında YSA kullanılabilir. Bu sınıflandırma için solunum işareti (nasal pressure), göğüs hareketlerini gösteren işareti (thorax) ve oksijen saturasyonu gösteren işaret kullanılmıştır.

YSA modelinde katman sayısını ve her bir katmanda kullanılan sinir hücresi sayısını belirlemek için birçok denemeler yapılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda 3 katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı ile birinci ve ikinci katmanda kullanılan özellik vektörleri sayısı kadar sinir ağı hücresi, çıkış katmanında bir sinir ağı hücresinin kullanılmıştır. Sinir ağı transfer fonksiyonu olarak tanjant sigmoid kullanıldığından, özellik vektörleri normalize edilmiştir.

## 2.3. Morfolojik filtreler

Morfolojik filtreler; gürültünün yok edilmesi, bazı bileşenlerin bastırılması veya birleştirilmesi gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Görüntü işlemede matematiksel morfoloji, bir görüntüdeki nesnelerin geometrik şeklini ve yapısını incelemek için bir araç olarak kullanılır [8 ,9]. Morfolojik işlemlerin tanımlanmasında kümeler üzerinde tanımlanan çeşitli kavramlardan yararlanır. Morfolojik işlemler kümelerin görüntü içindeki yeriyle değil biçimleriyle ilgili olduğundan, bu orijin noktası uygulamaya uygun herhangi bir şekilde seçilebilir. Morfolojik filtreleme, aşınma (erosion) ve genişleme (dilation) işlem operatörleri ile yapılır. Seçilen bir pencere genişliğinde merkezi bir nokta belirlenir ve aşınma ve genişleme işlemi için bu nokta pencerenin bütün örnekleri boyunca dolaştırılır. Genişleme işleminde yüksek değerler eklenirken, aşınma işleminde düşük değerler çıkarılır. A kümesinin B yapılandırma elemanı ile genişleme işlemi  $A \oplus B$  ile gösterilir ve aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$A \oplus B = \{x / (B)x \cap A \neq \emptyset\} \quad (2)$$

A kümesinin B yapılandırma elemanı ile aşınması  $A \ominus B$  ile gösterilir ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$A \ominus B = \{x / (B)x \subseteq A\} \quad (3)$$

Yani bir bakıma genişleme işleminde yeni noktalar eklenirken, aşınma işleminde bazı noktalar çıkarılır. Genel olarak aşınma ve genişleme, geri döndürülemeyen işlemlerdir. Bir aşınma işlemini takip eden genişleme işlemi ile orijinal nesne tekrar oluşturulamaz.

Aşınma ve genişlemenin birbiri ardına kullanılması ile Açılma (open) ve Kapanma (close) üst seviyeli işlem operatörleri oluşturulur. Açılma ve Kapanma işlem operatörü ise genişleme ve aşınma işlemleri kullanılarak elde edilmiş faydalı iki özelliiktir. Open işleminde, seçilen işarete önce aşınma daha sonra genişleme işlemi uygulanır. Kapanma ise önce genişleme sonra aşınma işlemi uygulanır [8]. Bir A kümesinin B yapılandırma elemanı ile açılımı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (4)$$

Açılma işlemi geometrik olarak, bir yapılandırma elemanını bir bölgenin içinde gezdirme ve bu elemanın bölge içinde ulaştığı yerlerin sınırlarını çizme işlemine benzetilebilir. Bu durumda bölgenin içine doğru giren detaylar göreceli olarak sağlam kalırken, ufak çıkıntılar ortadan yok olacaktır.

Bir A kümesinin B yapılandırma elemanı ile kapanma işlemi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (5)$$

Kapanma işlemi geometrik olarak, bir yapılandırma elemanını bir bölgenin dışında gezdirilmeye benzetilebilir. Bu durumda bölgenin dışına doğru taşan detaylar özelliklerini biraz kaybetmelerine rağmen göreceli olarak sağlam kalırlar ancak, bölgenin sınırlarındaki girintiler yok olurlar.

Morfolojik filtrelerin Açılma ve kapanma işlemleri, resimlerin iskelet yapıları, coğrafik sınır belirlemeleri gibi görüntü işleme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışmada YSA çıkışında elde edilen zaman domenindeki işarete uygulanarak istenmeyen durumlar giderilmeye çalışılmıştır.

#### 2.4. Sınıflandırma Performanslarını Değerlendirilmesi

Algoritma ve YSA ile yapılan sınıflandırmanın performansı doğruluk hesaplanması ile belirlenmiştir. Bu

değerlendirmeler örüntü tanıma uygulamalarında sınıflandırma için ortak bir yöntem olarak kullanılmaktadır[10].

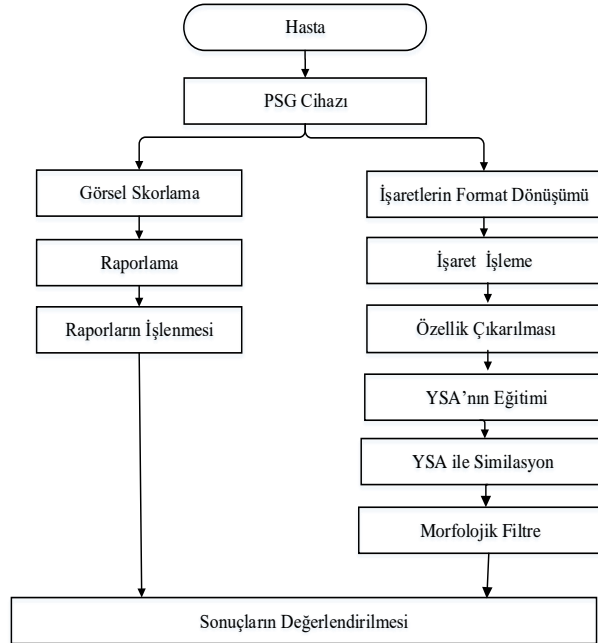
$$\text{Doğruluk} = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \quad (6)$$

TP, FP, TN ve FN sırasıyla Doğru pozitif, yanlış pozitif, doğru negatif ve yanlış negatifleri gösterir.

### 3. BULGULAR

Çalışmada 10 hasta için, görsel skorlama kurallarına dayalı YSA ve morfolojik filtreler ile TUA durumları belirlenmiştir. 10 saniyeden daha az solunum durmaları, farklı algoritmik yöntemlerle elimine edilebilir. Yapılan çalışmada bu 10 saniye kuralı morfolojik filtre ile gerçekleştirilmiştir. YSA ve morfolojik filtre kullanılarak elde edilen TUA skorlama başarısı Denklem 2 ile hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmada solunum (ağız ve burundan elde edilen Nasal, göğüs bölgesinden elde edilen Toraks ve karın bölgesinden elde edilen abdominal) ve oksijen saturasyonu işaretleri kullanıldı. Yapılan çalışmada işaretlerin elde edilmesinden değerlendirmesine kadar yapılan işlemleri gösteren işlem akış şeması şekil 2'de detaylı olarak verilmiştir.



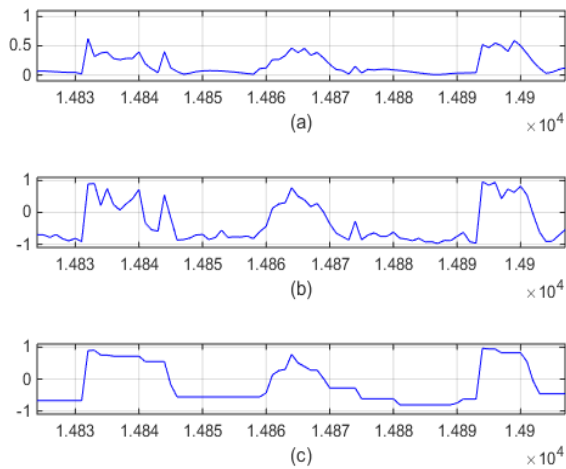
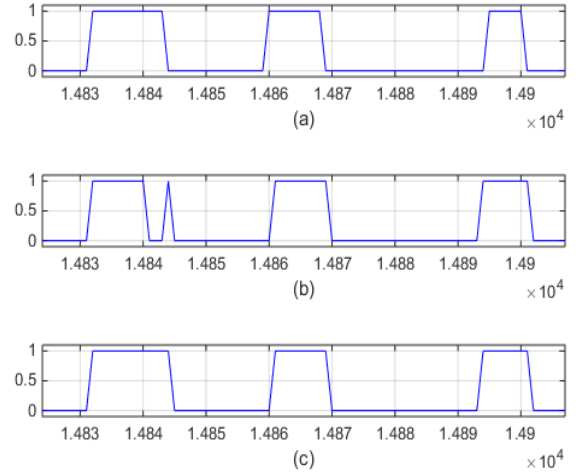
Şekil 2. TUA belirlenmesi için yapılan çalışmanın akış şeması

**Tablo 1.** YSA ve YSA + morfolojik filtreler ile otomatik olarak yapılan TUA sonuçları.

Hastalar	AHI	YSA	YSA ve Morfolojik Filtre
Hasta1	4,5	%66	%93
Hasta2	4,7	%64	%96
Hasta3	13	%67	%90
Hasta4	12	%69	%94,6
Hasta5	14	%65	%92,6
Hasta6	13	%66	%89,8
Hasta7	18	%66	%89,7
Hasta8	27	%65	%90
Hasta9	34	%68	%87,2
Hasta10	55	%75	%84,2

Tablo 1’de her bir hasta için uyku apnesi seviyesini gösteren AHI değeri, YSA çıkışlarına göre otomatik skorlama yapıldığında başarı oranı ve YSA çıkışlarına morfolojik filtre uygulandıktan sonra yapılan otomatik skorlamanın başarı oranları verilmiştir. YSA çıkışlarına morfolojik işlem uygulanarak yapılan otomatik skorlama işleminde başarı oranının %20’nin üzerinde arttığı görülmüştür.

Yapılan çalışmada, solunum işaretinin 1 saniyelik dilimler halinde alınan işaret gücü, bu güç değerlerine göre YSA çıkışı ve bu YSA çıkışına morfolojik kapanma işleminin uygulanması ile elde edilen işaret Şekil 3’de gösterilmektedir. Şekil 4’de ise uzman doktor tarafından onaylanan görsel skorlama, YSA çıkışına göre otomatik skorlama ve morfolojik filtre çıkışına göre yapılan otomatik skorlama görülmektedir.

**Şekil 3.** (a) Solunum işaretinin 1 saniyelik dilimler halinde alınan işaret gücü. (b) Elde edilen YSA çıkışı (c) YSA çıkışına morfolojik kapanma işlemi ile elde edilen çıkış.**Şekil 4.** (a) Doktor tarafından yapılan görsel skorlama (b) YSA kullanılarak yapılan otomatik TUA skorlaması. (c) YSA ve morfolojik filtre ile yapılan otomatik TUA skorlaması.

#### 4. SONUÇLAR

Literatürde, otomatik TUA belirlenmesi için başarılı birçok uygulama bulunmaktadır. Ancak bu yapılan çalışmalar incelendiğinde, uykunun belirli bir bölümü veya belirli sayıda apne diliminin skorlandığı görülmektedir. Bu çalışmada geceyi uyku laboratuvarında geçiren hasta olarak incelenen hastalar PSG kayıtlarının tamamı skorlama işlemine tabi tutulmuştur. Uzman doktor tarafından ortalama sekiz saatlik PSG kayıtların incelenmesi esnasında bazı hatalar olabilmektedir. YSA ile yapılan bu çalışmada apne sayılarının belirlenmesinin yanı sıra apne sürelerinin de belirlenmesine çalışılmıştır. Önerilen algoritmada YSA ve morfolojik filtrelerin birlikte kullanılması ile skorlama başarısında gözle görülür bir artış olduğu tespit edilmiştir. PSG kayıtlarının incelenmesi yoluyla yapılan görsel skorlama ile karşılaştırıldığında önerilen yöntemin daha kısa süre ve daha az iş yükü harcanmasından dolayı uyku apnesi teşhisi ile uğraşan doktorlar için kolaylık sağlamaktadır

#### 5. KAYNAKLAR

- [1]. Köktürk O. (2013) “Uyku Kayıtlarının Skorlanması”, Türk Solunum Araştırma Derneği, Solunum
- [2]. Berry RB, Brooks R, Gamaldo CE, Harding SM, Lloyd RM, Marcus CL and Vaughn BV for the American Academy of Sleep Medicine. (2014) The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminology and Technical Specifications, Version 2.1.

- www.aasmnet.org, Darien, Illinois: American Academy of Sleep Medicine.
- [3]. Romero O.F., Berdinas B.G., Betanzos A.A., Bonillo V.M. (2005). A new method for sleep apnea classification using wavelets and feedforward neural networks. *Artificial Intelligence in Medicine*, 65-76.
- [4]. Marcos J.V, Hornero R. ve diğ. (2009). Assessment of four statistical pattern recognition techniques to assist in obstructive sleep apnoea diagnosis from nocturnal oximetry. *Medical Engineering & Physics*, 971–978.
- [5]. Güneş S., Polat K.,Yosunkaya Ş. (2010). Multi-class f-score feature selection approach to classification of obstructive. *Expert Systems with Applications*, 998–1004.
- [6]. Babaeizadeh S. Zhou S.H., Pittman S.D., White D.P. (2011). Electrocardiogram-derived respiration in screening of sleep-disordered breathing. *Journal of Electrocardiology*, 700–706.
- [7]. Papoulis, A. (1991). *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*. McGraw-Hill International Editions.
- [8]. Şenel F.A., Tokat S. (2012) Calculating The People Density Of An Environment Using Image Processing Techniques ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 29 Kasım - 01 Aralık 2012, p. 613-617.Bursa
- [9]. Serra J., Vincent L. (1992) An Overview Of Morphological Filtering Published in *Circuits, Systems and Signal Processing*, Vol. 11, No. 1, pp. 47-108
- [10]. Jordan T. J, (2002) *Understanding medical information: A user's guide to informatics and decision making*. New York: McGraw-Hill.