

Solunum Sesleri Yardımıyla Uyku Apnesi Tespit Edilmesi

Sleep Apnea Detection With Respiratory Sounds

Bekir DOĞAN¹, Prof. Dr. Tamer ÖLMEZ²

¹ HAVELSAN A.Ş., Ankara, Türkiye
bdogan@havelsan.com.tr

² Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
olmezt@itu.edu.tr

Özet

Sağlık hizmetlerinde meydana gelen teknolojik gelişmeler insanların daha iyi tedavi alarak yaşam kalitesini artırmayı amaçlamakta ve gelecek için sağlıklı toplumların oluşmasını destekleyici çalışmaları hedeflemektedir. Bu doğrultuda tıp disiplinin yanı sıra mühendislik disiplini katkısı ile disiplinler arası çalışmalar artmış ve hastalıkların kısa sürede teşhis ve tedavisi sağlanmıştır.

Uyku ve uyku apnesi, sağlık alanında yapılan önemli çalışma alanlarından biridir. Bu çalışmada hastaların Polisomnografi kayıtları kullanılarak uyku apnesi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda uykuda gelişen apnenin çok düşük hata oranı ile belirlenmesi hedeflenmiş ve böylece hekime tanı koymada yardımcı olabilecek yeni karar destek sistemi oluşturulmaya çalışılmıştır.

Abstract

Technological developments in health services aim to increase the quality of life of people by receiving better treatment and target the studies which support to form a healthy society for future. Accordingly, as well as medicine discipline, by contributing to the engineering discipline, multidisciplinary studies are increased and this provided the diseases to be diagnosed and treated in a short time.

One of the important researches in healthcare is studies in sleep and sleep apnea. In this study the apnea is tried to be determined by the Polysomnography records of the patients. It is aimed to determine the apnea occurred during sleep with a very low error ratio. Thus, new decision supports systems to help the doctor on diagnosis is tried to be formed.

1. Giriş

Günlük yaşamımızda uyku, hayatın bir süreliğine kesintiye uğradığı zaman olarak nitelendirilirse, zihinsel ve fiziksel sağlığın yenilediği, yaşamın üçte birini oluşturan aktif bir süreçtir. Uyku hastalıklarının araştırılmaya başlanması ile önceleri nedeni bilinmeyen ani ölümlerin ve hastalıkların teşhis edilmesinde büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Dünya nüfusunun %1-5' inin uyku bozukluğu problemi yaşadığı tahmin edilmekte ve Türkiye' de ise yaklaşık 1,5 milyon insanın uyku bozukluğu yaşadığı bilinmektedir[1].

Uykuda ölümcül sonuçlar doğuran hastalıkların başında solunum rahatsızlıkları gelmektedir. Bu nedenle uyku sırasında solunumun düzenli olması, insan sağlığı açısından hayati önem taşımaktadır. Uykuda solunum hastalıklarının en

önemlilerinden biri uyku apnesidir. Uykuda apneler sıklıkla ve uzun süreli gerçekleşiyor ise bu duruma "uyku apnesi sendromu (SAS)" denilir. Uyku apnesi daha çok yetişkin erkeklerde, menapoz sonrası kadınlarda ve prematüre bebeklerde gözlemlenmektedir. Bununla birlikte obez, üst solunum yolları dar olan ve horlayan bireylerde de uyku apnesinin rastlanma sıklığı fazladır. Bu hastalar gece uyku sırasında nefes durması sebebi ile sık sık uyanmakta ve hastaların uyku kalitesi bozulmaktadır. En çok görülen belirtiler; aşırı yorgunluk, uykululuk hali, kalp problemleri ve hipertansiyondur. Hastalığın ileri derecelerinde ölüm vakaları ile de karşılaşlabilmektedir[2][3].

Uyku apnesi tanısında en çok kullanılan yöntem, uyku laboratuvarlarında gece boyunca yapılan Polisomnografi (PSG) kayıtlarının incelenmesidir. Bu ölçümde solunumun durmasının yanı sıra Elektroensefalografi (EEG) sinyallerindeki düzensizlik ve kandaki oksijen yoğunluğunun düşmesi gibi belirli parametreler de incelenerek uyku apnesi tanısı uzman hekimler tarafından yapılmaktadır[4].

Solunum sesleri yardımıyla uyku apnesi tespit edilmesi bildirisi beş bölüme ayrılmıştır. II. Bölümde uyku apnesi ve uyku apnesi çeşitleri anlatılmıştır. III. Bölümde uygulama çalışmaları açıklanmıştır. IV. Bölümde yöntemden bahsedilmiş ve V. Bölümde sonuç ve değerlendirme verilmiştir.

2. Uyku Apnesi

Uyku Apnesi, solunumun en az 10 sn boyunca solunum sinyalinin maksimum genliğinin %20 seviyesinin altına inmesi durumu olarak tanımlanmaktadır[2]. Uyku apnesi Tıkalı Uyku Apnesi (OSA), Merkezi Uyku Apnesi (CSA) ve Birleşik Uyku Apnesi (MSA) olmak üzere üç tiptedir.

2.1. Tıkalı uyku apnesi

Tıkalı Uyku Apnesi, uyku sırasında solunum çabasının sürmesine rağmen hava alışverişinin sağlanamaması olarak tanımlanmaktadır. Diyafram ve interkostal kas aktivitesi devam etmesine karşın ağız ve burunda hava alışverişini durmaktadır. Bu sırada, hastanın üst solunum yollarında bir tıkanıklık olduğundan kandaki oksijen seviyesinde düşmelere sebep olur. Uyku Apnesi hastalarının %84' ü Tıkalı Uyku Apnesi hastasıdır[2][5].

2.2. Merkezi uyku apnesi

Merkezi Uyku Apnesi, uyku sırasında üst solunum yollarında hava alışverişinin ve akciğerlerde solunum çabasının olmaması olarak tanımlanmaktadır. Merkezi apneler, solunumu

kontrol eden Merkezi Sinir Sistemi' ndeki problemlerden ötürü beyinin solunumu kontrol eden kaslara doğru sinyaller göndermemesi sonucunda görülen uyku bozukluğudur. Uyku Apnesi hastalarının %1' i Merkezi Uyku Apnesi hastasıdır[2][5].

2.3. Birleşik uyku apnesi

Birleşik Uyku Apnesi, başlangıçta merkezi tipte olan apnenin akciğerlerde solunum çabası başlamasına rağmen hava yolunda akımın olmaması olarak tanımlanmaktadır. Merkezi uyku apnesine benzeyen başlangıcın arkasından solunum çabasının nasıl harekete geçtiği halen uzmanlar tarafından araştırılmaktadır. Tedavide birleşik apnelere, tıkayıcı apnelere gibi ele alınır[2][5].

Bu çalışmada uyku apnesi türlerinden tıkayıcı uyku apne, merkezi uyku apne ve birleşik uyku apnesi olmak üzere her üç apne türünde solunum sinyalleri izlenerek tespit edilmesi hedeflenmiş ancak belirlenen apne türünün sınıflandırılması makalenin kapsamına alınmamıştır.

3. Uygulama Çalışmaları

Uyku apnesi belirleme çalışmalarında yaygın olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar parametrik yöntem ile uyku apnesi belirleme ve bant spektral özellikleri yöntemi ile uyku apnesi belirleme yöntemleridir. Parametrik yöntem, solunum sinyalinden çeşitli parametrelerin çıkarılıp eşik değerlerine göre kontrol edilmesine dayanmaktadır. Bu yöntemde, apne belirleme parametrelerinden solunum sinyalinin genliği üzerine yoğunlaşmış ve diğer parametreler ile karara destek oluşturulmuştur[6]. Bant spektral özellikleri ile uyku apnesi belirleme yönteminde solunum sinyalinden bant spektral özelliklerin çıkarılması ve bu özelliklerin normal solunum durumu ile apneli durum arasındaki fark kontrolü ile uyku apnesi tespiti yapılmaktadır.[7]. Bu yöntemde tüm özellikler apne belirlemede aynı oranda etki etmekte ve uyku apnesi için tüm özelliklerin apne koşulunu sağlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada detaylı olarak incelenen iki farklı uyku apnesi tespit yöntemi hazır veritabanları üzerinde uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Solunum sinyalleri üzerinde uyku apnesi tespiti için hem performans kriteri hem de duyarlılık ve belirlilik yönünden yapılan incelemeler göz önünde bulundurularak bant spektral özellikleri yöntemi[7] temel alınarak ortaya konan uyku apnesi tespit algoritmasının kullanılması ve bu uygulamaya özgü geliştirilmesi kararlaştırılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda solunum sinyali üzerinde gürültü bileşenlerini giderici yeni filtreler uygulanmış ve uyku apnesini kesinleştirici ek özellikler eklenerek yöntemin başarı oranı artırılmaya çalışılmıştır.

Solunum seslerinden uyku apnesi belirleme çalışmasında kullanılan hasta kayıtları "www.physionet.org" adresinden alınan ucddb, slpdb, sleep-edfx ve sleep-edf veritabanlarından rastgele seçilen 100 kişilik PSG kayıtlarına dayanmaktadır. Hastaların seçiminde 18 yaşından büyük olması, kalp rahatsızlığı ve bilinen bir kronik hastalığının olmaması ve uyku apnesi teşhisi kesinleşen hastaların olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca alınan PSG kayıtları üzerinde daha önceden bir ön işlem yapılmamış olması göz önünde bulundurulmuştur. Alınan kayıtlar Avrupa Data Formatı (.edf) formatıyla bilgisayara kaydedilmiş ve bu kayıtlar tek tek ayrıştırılarak MATLAB yazılım ve simülasyon programında analiz edilmiştir.

4. Yöntem

Solunum sesleri yardımıyla uyku apnesi tespit edilmesi algoritması iki bölümden oluşmaktadır. Bunlar, sinyale ön işlem yapılarak yüksek gürültü bileşenlerinin giderilerek uyku apnesi karar özelliklerinin türetildiği birinci bölüm ve elde edilen özellikler yardımıyla uyku apnesinin tespit edildiği ikinci bölümdür.

Algoritmanın birinci bölümünde solunum sinyalinden uyku apnesi karar özellikleri çıkarılmaktadır. Algoritmanın birinci bölüm akış diyagramı Şekil 1' de verilmiştir.

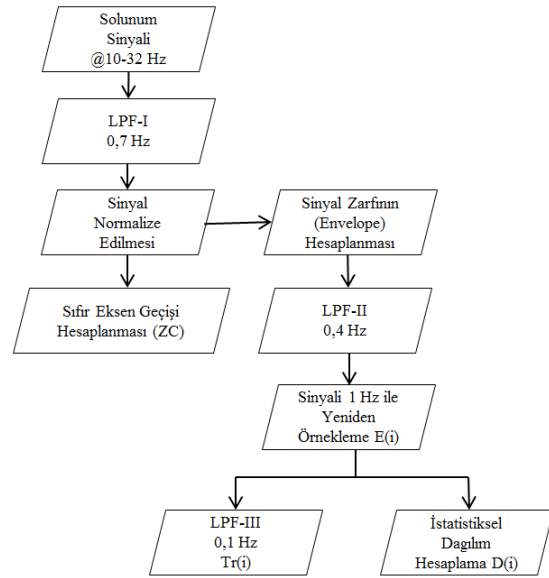


Figure 1. Solunum Sinyalinden Apne Belirleme Algoritması 1. Bölüm

Algoritmanın birinci bölümünde ilk olarak solunum sinyalinden yüksek gürültü bileşenlerinin giderilmesi için 0.7 Hz kesim frekansına sahip alçak geçiren eliptik filtreden geçirilmiştir. Solunumun maksimum frekansının 0.7 Hz olmasından dolayı filtrenin kesim frekansı da 0.7 Hz olarak seçilmiştir. Filtreleme işleminin ardından sinyal normalize edilmiştir. Normalize edilen solunum sinyalinden çıkarılan ilk özellik, sinyalin sıfır eksenindeki salınımını veren, sıfır eksen geçişi (ZC) aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$ZC = \frac{F_s}{2d} \quad (1)$$

Burada F_s örnekleme frekansını d de iki geçiş arasındaki mesafeyi vermektedir.

ZC hesaplanmasının ardından normalize edilmiş solunum sinyalinin belirli aralıkta pozitif ve negatif zarf eğrileri arasındaki değişim grafiği çıkarılmıştır. Bu değişim eğrisi daha sonra kesim frekansı 0.4 Hz olan alçak geçiren eliptik filtreden geçirilmiştir. Solunum sinyalinin zarfının değişimi üzerinde yapılan testlerde 0.4 Hz değeri üzerinde anlamlı veri azaldığı için ikinci eliptik filtrenin kesim frekansı 0.4 Hz olarak belirlenmiştir[7]. Filtre işleminden sonra sinyal 1 Hz ile yeniden örneklenecek apne belirlemede kullanılan ikinci özellik olan, solunum sinyali zarfının değişimi(E) sinyali hesaplanmıştır. Ardından E sinyali 0.1 Hz' lik alçak geçiren üçüncü eliptik filtreden geçirilerek üçüncü özellik, solunum sinyali zarfının düşük frekanslardaki eğilimi (Tr) hesaplanmıştır. Solunum sinyali zarfı apne durumunda 0.01-0.1 Hz frekans aralığına düşmektedir[8]. Bu

nedenle apnenin doğruluğunu kesinleştirmek için solunum sinyalinin çok düşük frekanslardaki eğilimine bakılmıştır. Son olarak apne belirlemedeki dördüncü özellik olan 120 saniyelik bir aralıktaki E sinyalinin %90' ı ile %10' u arasındaki istatistiksel dağılımı (D) hesaplanmıştır. Algoritmanın birinci bölümünde uygulanan filtrelerin geçirme bandı sıçraması değeri 0.5 dB durdurma bandı sıçraması değeri ise 30 dB olarak yapılan testler neticesinde belirlenmiştir.

Algoritmanın ikinci bölümünde solunum sinyalinin birinci bölümde çıkarılan özellikleri yardımıyla uyku apnesinin tespiti gerçekleştirilmektedir. Algoritmanın ikinci bölüm akış diyagramı Şekil 2' de verilmiştir. İkinci bölümde apne sayacı

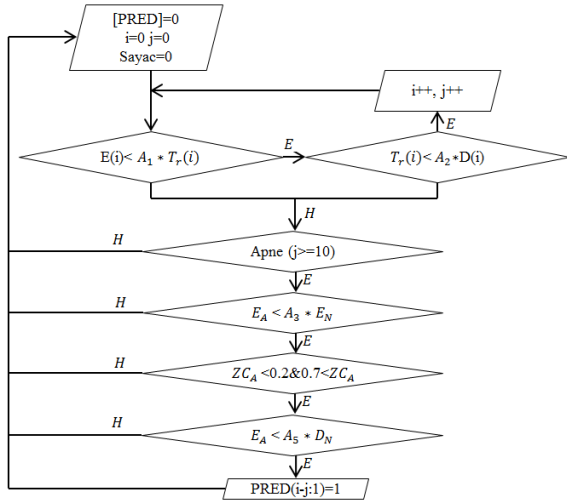


Figure 2. Solunum Sinyalinden Apne Belirleme Algoritması 2. Bölüm

0 yapılarak her 1 saniyelik solunum sinyali işlenir. İkinci bölümde ilk olarak solunum sinyali zarfının düşük frekanslardaki eğiliminin, solunum sinyali zarf değişiminden fazla olup olmadığı aşağıdaki denklem ile kontrol edilir.

$$E(i) < A_1 * T_r(i) \quad (2)$$

Burada $A_1=1.42$ sabit katsayıdır. Kontrolün olumlu sonuçlanmasının ardından solunum sinyali zarfının istatistiksel dağılımının düşük frekanslardaki eğiliminden fazla olup olmadığı aşağıdaki denklem ile kontrol edilir.

$$T_r(i) < A_2 * D(i) \quad (3)$$

Burada $A_2=0.8$ sabit katsayıdır. "(2)" ve "(3)" ün her ikisinin olumlu sonuçlanması durumunda i ve j sayaçları artırılır. Burada j 1 Hz de ki apne durumunu ve i ise iterasyonu gösterir. Çalışmanın bu bölümü uyku apnesi belirleme işlemi saniye hassasiyetinde yapan bölümdür. Burada iki durumdan herhangi birinin sağlanmaması durumu olası apne olayının bittiğini ve solunumun başladığını gösterir. Devam eden bölümde artık elde edilen sonuçların uyku apnesi olup olmadığı belirlenir. Uyku apne belirlemede ilk olarak apnenin süresi aşağıdaki denklem ile kontrol edilir.

$$Apne(j <= 10) \quad (4)$$

Alınan her 1 saniyelik apne durumunun toplamda 10 saniyeye ulaşmış olup olmadığı kontrol edilir. Eğer henüz 10 sn' ye ulaşmamışsa işlem başa dönerek tekrardan apne algılamaya

başlanır. Apnenin süresinin sağlanmasının ardından normal durumdaki solunum sinyali zarf değişiminin (E_N) apne durumundaki zarf değişiminden (E_A) fazla olup olmadığı aşağıdaki denklem ile kontrol edilmektedir.

$$E_A < A_3 * E_N \quad (5)$$

Burada $A_3=0.92$ sabit bir katsayıdır. Bu kontrolün ardından solunum sinyalinin sıfır eksen geçişi kontrol edilir. Normal solunum aralığı 0.2 – 0.7 Hz aralığında olduğundan dolayı burada sıfır eksen geçişinin bu aralığın dışında olup olmadığı aşağıdaki denklem ile kontrol edilir.

$$ZC_A < 0.2 \ \& \ 0.7 < ZC_A \quad (6)$$

Sıfır eksen geçişi kontrolün ardından son olarak apne durumundaki istatistiksel dağılımın, apne durumundaki zarf değişiminden fazla olup olmadığı aşağıdaki denklem ile kontrol edilir.

$$E_A < A_4 * D_N \quad (7)$$

Burada $A_4=0.22$ sabit katsayıdır. İkinci bölümde kontrol edilen "(4)", "(5)", "(6)" ve "(7)" nin sağlanması durumunda bu olay uyku apnesi olarak değerlendirilir. Ancak bu denklemlerden herhangi birinin sağlanmaması durumunda işlem tekrar ikinci bölümün başına döner. Şekil 3' te çalışmada kullanılan örnek bir hastadan alınan solunum sinyalinin grafiği, Şekil 4' te bu grafiğin daha ayrıntılı solunum ve apne grafiği verilmiştir.

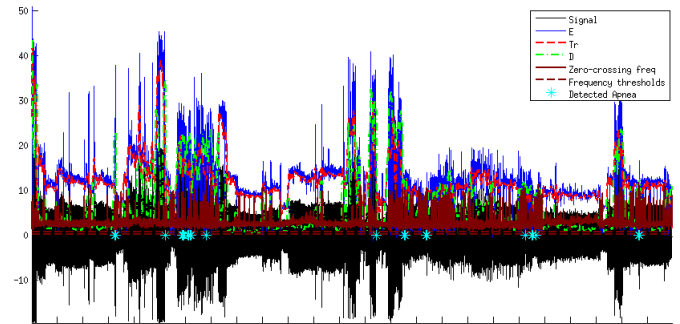


Figure 3. Çalışmada Kullanılan Örnek Bir hasta Solunum Sinyali

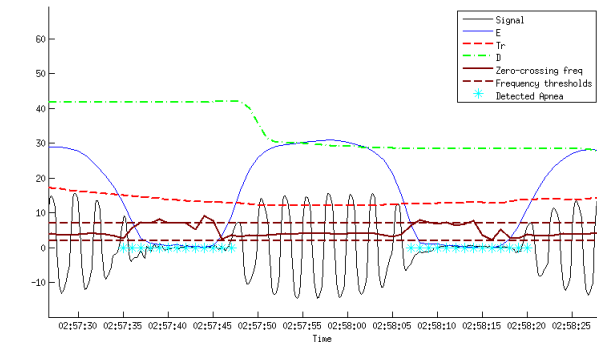


Figure 4. Örnek Hasta Ayrıntılı Solunum Sinyali ve Apne Grafiği

5. Sonuç ve Değerlendirme

Solunum sesleri yardımıyla uyku apnesinin tespit edilmesi bildirisi, hasta sağlığının takibinde son derece yüksek önem arz eden uyku apnesi çalışmalarına katkı sağlaması amacıyla hazırlanmıştır. Geliştirilen sistem ile uyku apnesinin tespit edilmesinde kullanılan bant spektral özellikleri yönteminin başarımlarının arttığı görülmüştür.

Algoritma çalışmasında uyku apnesi belirleme hassasiyeti kapsamında işlem aralığı 0,2, 0,5, 1 ve 2 sn seçilerek hassasiyet testleri yapılmıştır. Süre aralıkları azaldıkça apnenin başlangıç noktası, bitiş noktası ve apne süresinin doğruluğunun artmasına rağmen işlem süresinin uzamasına neden olmuştur. Bu çalışmada işlem süresi de göz önünde bulundurularak hassasiyet 1 sn olarak seçilmiş ve örneklemeler buna göre yapılmıştır. Uyku apnesi belirlemede kullanılan sabit katsayılar 0-4 aralığında 0,1 değişim aralığı ile incelenerek en uygun sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Bunun yanı sıra istatistiksel dağılımın hesaplanmasında 40, 80, 120 ve 160 sn aralıkları kullanılmış ve en iyi sonuçlar 120 sn de elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan filtrelerden dolayı sinyalde meydana gelen gecikmeler “zero padding” yöntemi ile giderilmeye çalışılmıştır.

Uyku apnesi tespitinde kullanılan veritabanları ile yapılan çalışmalar sonucunda yöntemin diğer yöntemlere göre ortalama başarımlarını aşağıdaki tabloda verimiştir.

Hasta Adı	Veritabanları Başarımlar Oranları		
	Parametrik Y.	Bant Spektral Y.	Geliştirilen Y.
Ucddb	70,3	76	84,6
Slpdb	69,4	73,1	81,1
Sleep-edfx	65,2	68,8	70,5
Sleep-edf	65	74,6	83,1

Table 1. Veritabanları Başarımlar Oranları

Parametrik yöntem ile uyku apnesi tespit edilmesi ve bant spektral özellikleri ile uyku apnesi tespit edilmesi yöntemleri yukarıda elde edilen sonuçlara göre kıyaslandıklarında bant spektral yönteminin daha başarılı olduğu görülmektedir. Bu kapsamda geliştirilen yöntemin temel alındığı yöntemin doğru seçildiği görülmüştür. Geliştirilen yöntem sonuçları incelendiğinde dört farklı veritabanı için uyku apnesi tespiti başarımlarının arttığı görülmektedir. Bu sonuçlar da eklenen yeni filtrelerin ve ek özelliklerin yönteme katkı sağladığının göstergesidir.

Solunum sesleri yardımıyla uyku apnesi belirleme çalışmasının devamında, hasta sayısı ve çeşitliliğinin artırılması, aynı zamanda hastada bulunacak kalp ve akciğer rahatsızlıkları gibi diğer hastalıklar ile çalışmanın kapsamının genişletilmesi düşünülmektedir.

Ortaya koyulan bu altyapı üzerine, gelecekte bu yöntem, gömülü elektronik sistemlerde gerçekleştirilerek uyku apnesinin mobil bir platform ile tespit edilmesi ve apne sırasında hastayı uyarılarak ortaya çıkabilecek sağlık sorunlarının azaltılması hedeflenmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Erdamar, A. (2007). Uyku Apnesinin Öngörülmesi ve Dil Kasının Uyarılması İçin Model Geliştirilmesi (Doktora tezi). Hacettepe üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [2] Akşahin, M. F. (2010). Uyku Apnesi Türlerinin

Sınıflandırılması (Doktora Tezi). Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [3] Bayrak, T. (2012). Uyku Apnesi parametrelerinin Cerrahi Tedavi Öncesi ve Sonrasında Değerlendirilmesi (Yüksek Lisans Tezi). Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [4] Mutlu, M. A. (2012). III. Düzey Uyku Apnesi Kayıt Cihazı İçin Veri Kalitesi Değerlendirmesi ve İvmeölçer Kayıtlarının Analizi (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [5] Chaychi, S. J. (2014). Üçüncü Düzey Taşınabilir Cihaz Kayıtları İçin Dinamik Sınır Ağları Kullanarak Uyku Apnesi Tespiti (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [6] Sankar, A. B. & Kumar, D. & Seethalakshmi, K. (2010). “Enhanced Method for Extracting Features of Respiratory Signals and Detection of Obstructive Sleep Apnea Using Threshold Based Automatic Classification Algorithm”, International Journal of Computer Science & Emerging Technologies (E_ISSN: 2044-6004), Volume 1, Issue 4, December
- [7] Selvaraj, N. & Narasimhan, R. (2013). “Detection of Sleep Apnea on a Per-Second Basis Using Respiratory Signals”, 35th Annual International Conference of the IEEE EMBS, Osaka, Japan: July 3-7.
- [8] D. Alvarez, G. Gutierrez, J. V. Marcos, F. del Campo, and R. Hornero, “Spectral analysis of single-channel air-flow and oxygen saturation recordings in obstructive sleep apnea detection,” in Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE. IEEE, 2010, pp. 847–850.