

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**LEMPEL-ZİV KOMPLEKSLİK METODU KULLANILARAK EKG
VE SOLUNUM SİNYALLERİNDEN UYKU APNESİ ANALİZİ**

SOMAY KÜBRA ŞENER

KOCAELİ 2023

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**LEMPEL-ZİV KOMPLEKSLİK METODU KULLANILARAK EKG
VE SOLUNUM SİNYALLERİNDEN UYKU APNESİ ANALİZİ**

SOMAY KÜBRA ŞENER

Prof. Dr. Emine DOĞRU BOLAT
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Doç. Dr. Seda POSTALCIOĞLU
Jüri Üyesi İzmir Demokrasi Üniv.

.....

Dr. Öğr. Üyesi Önder YAKUT
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih:15.06.2023

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmasında,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

Somay Kübra ŞENER

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki makale, kitap, tebliğ, lisans, patent gibi çalışmalarda kullanımı, danışmanımın isim hakkı saklı kalmak koşuluyla ve her iki tarafın bilgisi dâhilinde bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....

Somay Kübra ŞENER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve bu tezin hazırlanma süresince gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Emine DOĞRU BOLAT'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen arkadaşlarıma ve meslektaşlarıma da şükranlarımı sunarım.

Bugünlere gelmemde büyük emek harcayan, maddi manevi hep yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran – 2023

Somay Kübra ŞENER



İÇİNDEKİLER

| | |
|---|------|
| ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ | i |
| YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI | ii |
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | v |
| TABLolar DİZİNİ | vi |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | vii |
| ÖZET | viii |
| ABSTRACT | ix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. GENEL BİLGİLER | 5 |
| 2.1. Uyku Apnesi Tanımı | 5 |
| 2.2. Uyku Apnesi Sendromları | 6 |
| 2.3. Uyku Apnesi Tanısı | 8 |
| 2.4. Horlama | 9 |
| 2.5. Uyku Apnesi Tedavisi | 12 |
| 2.6. Uyku Apnesi Çalışmaları | 15 |
| 3. MALZEME VE YÖNTEM | 16 |
| 3.1. Veri Seti | 16 |
| 3.2. Lempel-Ziv Komplekslik Metodu | 17 |
| 3.3. ANOVA | 19 |
| 3.4. İstatistiksel Başarım Ölçütleri | 20 |
| 3.5. Yöntemin Veri Setine Uygulanması | 21 |
| 4. BULGULAR | 25 |
| 4.1. EKG Bulguları | 25 |
| 4.2. Respirasyon A Bulguları | 30 |
| 4.3. Respirasyon C Bulguları | 34 |
| 4.4. Respirasyon N Bulguları | 39 |
| 5. TARTIŞMA | 44 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER | 49 |
| KAYNAKLAR | 50 |
| KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER | 57 |
| ÖZGEÇMİŞ | 58 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 2.1. | Polisomnografide EEG, EOG ve EMG kaydı | 8 |
| Şekil 2.2. | a) Üst solunum yolunun normal anatomisi, b) OUAS'lı hastanın üst solunum yolunun anatomisi, c) Horlayan hastanın üst solunum yolunun anatomisi | 11 |
| Şekil 2.3. | Sağlıklı hava yolu koronal açığı gösterimi | 11 |
| Şekil 2.4. | Obstrüktif uyku apnesi ve tıkanmış hava yolu koronal açığı gösterimi | 11 |
| Şekil 3.1. | Önerilen yöntemin blok diyagramı | 24 |
| Şekil 4.1. | LZK ile EKG datasından elde edilen değerler grafiği | 26 |
| Şekil 4.2. | LZK ile EKG datasından elde edilen ortalama grafiği | 27 |
| Şekil 4.3. | LZK ile EKG datasından elde edilen standart sapma grafiği | 28 |
| Şekil 4.4. | LZK ile RespA datasından elde edilen değerler grafiği | 30 |
| Şekil 4.5. | LZK ile RespA datasından elde edilen ortalama grafiği | 31 |
| Şekil 4.6. | LZK ile RespA datasından elde edilen standart sapma grafiği | 32 |
| Şekil 4.7. | LZK ile RespC datasından elde edilen değerler grafiği | 35 |
| Şekil 4.8. | LZK ile RespC datasından elde edilen ortalama grafiği | 36 |
| Şekil 4.9. | LZK ile RespC datasından elde edilen standart sapma grafiği | 37 |
| Şekil 4.10. | LZK ile RespN datasından elde edilen değerler grafiği | 39 |
| Şekil 4.11. | LZK ile RespN datasından elde edilen ortalama grafiği | 40 |
| Şekil 4.12. | LZK ile RespN datasından elde edilen standart sapma grafiği | 41 |

TABLolar DİZİNİ

| | | |
|------------|---|----|
| Tablo 2.1. | Uyku Apnesi Sendromları | 6 |
| Tablo 2.2. | Uyku Apnesi Tedavi Şekilleri | 12 |
| Tablo 2.3. | Cerrahi Tedavi Şekilleri | 14 |
| Tablo 3.1. | Physionet'ten Elde Edilen Veri Seti | 17 |
| Tablo 3.2. | Doğruluk, duyarlılık ve özgüllük formüllerinde kullanılan ifadeler | 20 |
| Tablo 4.1. | EKG verilerinden elde edilen LZK değerlerine uygulanan ANOVA analizi | 29 |
| Tablo 4.2. | RespA verilerinden elde edilen LZK değerlerine uygulanan ANOVA analizi | 33 |
| Tablo 4.3. | RespC verilerinden elde edilen LZK değerlerine uygulanan ANOVA analizi | 38 |
| Tablo 4.4. | RespN verilerinden elde edilen LZK değerlerine uygulanan ANOVA analizi | 42 |
| Tablo 5.1. | Literatürde uyku apnesiyle ilgili bazı çalışmalarda ve bu tezde önerilen yöntemle yapılan çalışmada kullanılan kişi sayısı ve uyku süresi | 46 |
| Tablo 5.2. | Önerilen yöntemle yapılan çalışmadan elde edilen performans değerleri | 47 |
| Tablo 5.3. | Literatürde uyku apnesiyle ilgili bazı çalışmaların ve bu tezdeki çalışmanın doğruluk, özgüllük ve duyarlılık değerleri | 48 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

| | |
|-------|---|
| ANOVA | :Analysis of variance (Varyans Analizi) |
| EEG | :Elektroensafolagram |
| EKG | :Elektrokardiyogram |
| EMG | :Elektromiyografi |
| EOG | :Elektrookülografi |
| LZK | :Lempel-Ziv kompleksliği |
| OUAS | :Obstrüktif uyku apne sendromu |
| Resp | :Respirasyon |
| SPO2 | :Oksijen satürasyonu |



LEMPEL-ZİV KOMPLEKSLİK METODU KULLANILARAK ELEKTROKARDİYOGRAM EKG VE SOLUNUM SİNYALLERİNDEN UYKU APNESİ ANALİZİ

ÖZET

Uyku apnesi yaygın olarak görülen ve yaşamsal risk oluşturabilen bir hastalıktır. Hastalığın tedavisi kadar teşhisi de oldukça önemlidir. Toplum bilincinin yükselmesi ve hekimler tarafından fark edilme oranının artması ile teşhis edilmiş hasta sayısında dikkat çekici bir artış gözlenmektedir. Uyku apnesi teşhisinde yararlanılan polisomnografi ölçümleri, hasta için rahatsız edici ve birden fazla fizyolojik veri toplanmasını gerektirmektedir. Bu gibi problemler sebebiyle yeni analiz yöntemleri araştırılmaktadır. Lempel-Ziv hızlı ve doğrusal olmayan bir sinyal işleme metodu olduğundan, fizyolojik verilerin işlenmesinde çok uygundur. Lempel-Ziv komplekslik metodu kullanılarak daha az zaman ve daha az veriyle hastalığın analiz edilmesi hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda tedavi sürecinin öne çekilmesi de sağlanmış olacaktır. Physionet.org veri tabanından alınan EKG ve solunum verilerinden yararlanılarak hastalık analiz çalışmaları yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda EKG, göğüs solunum (Resp C) ve abdominal solunum (Resp A) verilerinden apneli zaman aralıklarında anlamlı bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Bu yöntemle EKG, Resp C ve Resp A için uyku apnesi analizi başarılı şekilde gerçekleştirilmiştir. Fakat nazal solunum (Resp N) verilerinden uyku apnesi analizi başarılı şekilde gerçekleştirilememiştir.

Anahtar Kelimeler: EKG, Lempel-Ziv Komplekslik Yöntemi, Obstrüktif Uyku Apne Sendromu, Respirasyon.

ANALYSIS OF SLEEP-APNEA FROM ELECTROCARDIOGRAM AND RESPIRATORY SIGNALS USING THE LEMPEL-ZIV COMPLEXITY

ABSTRACT

Sleep apnea is a common and life-threatening disease. Diagnosis of the disease is as important as its treatment. A remarkable increase is observed in the number of diagnosed patients with the increase in public awareness and the increase in the rate of being noticed by physicians. Polysomnography measurements used in the diagnosis of sleep apnea disturb the patient and require more than one physiological data collection. Due to such problems, new analysis methods are being investigated. Since Lempel-Ziv is a fast and non-linear signal processing method, it is very suitable for processing physiological data. By using the Lempel-Ziv complexity method, it is aimed to diagnose the disease with less time and less data. In line with this goal, the treatment process will also be brought forward. Disease detection studies were carried out by using ECG and respiratory data from the Physionet.org database.

As a result of the analysis, it was observed that there was a significant difference in the time intervals with apnea from the ECG, chest respiration (Resp C) and abdominal respiration (Resp A) data. With this method, sleep apnea can be diagnosed for EKG, Resp C and Resp A. However, sleep apnea could not be diagnosed from nasal respiration (Resp N) data.

Keywords: ECG, Lempel-Ziv Complexity Method, Obstructive Sleep Apnea Syndrome, Respiration.

1. GİRİŞ

Solunum insan yaşamı için hayati fonksiyonlardan biridir (Metzer ve diğ., 2010). Normal solunumun fiziği akciğer, yardımcı yapılar ve ortam atmosferi arasında gerçekleşir. İnsanlar nefes tutma, konuşma, şarkı söyleme, yüzme ve egzersiz gibi eylemlerde solunumlarını bilinçli olarak kontrol edebilse de, normal nefes alma bilinçli bir çaba olmadan gerçekleştirilen otonom bir işlevidir. Tüm yaşantı boyunca devam etmektedir (Joachim ve diğ., 2021).

Apne kelimesi Yunanca'da soluksuz kalmak anlamına gelmektedir (Varady ve diğ., 2002). Uyku apnesinin basit tanımı ise kişinin uyku esnasında aralıklı olarak solunumunun durmasıdır (Köktürk, 2000).

Uyku apnesi sendromu günümüzde yaygın olarak görülen bir hastalıktır (Kurtulmuş, 2007). Toplum bilincinin artmasıyla birlikte her geçen gün uyku apnesi tanısı konulan hasta sayısında önemli bir artış gözlenmektedir (Türksoy, 2018). En yaygın uyku bozukluklarından biri olan obstrüktif uyku apne sendromunun, popülasyonun %38'ini etkilediği tahmin edilse de (Korkalainen ve diğ., 2020) obstrüktif uyku apnesinin küresel yaygınlığı hakkında yayınlanmış veriler azdır (Heinzer ve diğ., 2019).

Obstrüktif uyku apnesinin küresel yaygınlığını tahmin etmek için kanaat önderleriyle temasa geçerek halka açık verileri kullanan ve istatistiksel modelleme tekniklerinden yararlanan önemli bir çalışma yapılmıştır (Heinzer ve diğ., 2019).

Uyku apnesinin heterojen dağılımı üzerine yapılan bu çalışmada, 193 ülke değerlendirilmiştir (Heinzer ve diğ., 2019). Çalışma sonucunda 936 milyondan fazla insanın uyku apnesine sahip olduğu tahmin edilmiştir. Bunlardan 425 milyon insanın orta-şiddetli uyku apnesine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışma ile uyku apnesinin en yaygın olduğu ülkeler tahmin edilmiştir. Bu ülkelerin başında Çin gelirken bunu ABD, Brezilya, Hindistan, Pakistan, Rusya, Nijerya, Almanya, Fransa ve Japonya izlemiştir (Lyons ve diğ., 2020). Bu çalışma uyku apnesi riskinin küresel fenotiplerinin daha iyi anlaşılması gerektiğini öne sürmektedir.

Teşhis ve tedavisi yapılmadığında hastalığın derecesine ve kişiye bağlı olarak bireyde yaşamsal risk potansiyeli oluşturmaktadır (Kurtulmuş, 2007). Tedavi edilmeyen uyku apnesi, beraberinde önemli ek hastalıklara ve ölüme neden olabilmektedir (Lyons ve diğ., 2020).

Bu rahatsızlık bireysel tehdit oluşturmasının yanında küresel sağlık için de ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Kişisel maliyet haricinde, uyku apnesinin ekonomik maliyetleri, üretkenlik ve kamu güvenliği açısından bireyi, aileyi ve toplumu hem doğrudan hem de dolaylı etkileyen geniş bir kapsama sahiptir (Lyons ve diğ., 2020).

Uyku apnesine sahip gebelerde erken doğum, doğumsal anomali gibi çeşitli rahatsızlıklar meydana gelebilmektedir. Bu rahatsızlıklar sağlıksız nesillerin fazlalaşmasına ve toplum yapısının bozulmasına neden olmaktadır (Felder ve diğ., 2022).

Uyku apnesi testi olarak bilinen polisomnografi, gece boyu beyin aktivitesinin, solunumsal olayların, kalp hızının, vücut hareketlerinin, horlama ve oksijen satürasyonu gibi birçok fizyolojik verinin toplanmasına dayanır (Penzel, 2000). Polisomnografi ne kadar başarılı bir yöntem olsa da günümüzde bu yönteme ek yeni metot arayışları hızla devam etmektedir (Tağluk ve Sezgin, 2011).

Uyku apnesini konu edinen birçok çalışma söz konusudur. Bu çalışmaların temel amacı uyku apnesinin teşhis ve tedavisini iyileştirmektir.

Çalışmaların bir kısmı ölçüm sırasında hastayı rahatsız edebilecek elektriksel bağlantılar ve aparatlar içermektedir. Ölçüm işlemlerinin uzun sürmesi de hasta üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır (Zhuang ve diğ., 2022). Hasta uyku kliniklerine gitmek istemeyebilir, hastalığın son safhalarına kadar teşhisi geciktirebilir.

Hastalığın teşhisinin gecikmesi kişide geriye dönülemez hasarlara neden olabilir. Daha komplike tedavilerin uygulanmasını gerektirebilir (Kurtulmuş, 2007).

Teşhisin gecikmesinin çevreye de olumsuz etkileri vardır. Gün içinde yaşanan ani uyku bastırmaları, dikkatsizlik, sinirlilik gibi faktörler trafik ve iş kazalarına zemin hazırlamaktadır (Kurtulmuş, 2007).

Ölçüm sırasında kullanılan aparatların ve bağlantıların fazlalığı kişinin uyku kalitesinde normale göre düşüş oluşturabilir. Bu düşüş test sonuçlarının doğruluğunu etkileyebilir (Zhuang ve diğ., 2022).

Lempel-Ziv komplekslik (LZK), sinyaller için parametrik olmayan ve hesaplanması kolay bir karmaşıklık ölçütüdür. Farklı alt dizilerin sayısı ve verilerin sıra boyunca yinelenme oranıyla ilgilidir. Gürültüye karşı dayanıklıdır ve hesaplanma süresi kısadır (Akar ve diğ., 2015).

Bu çalışmada, EKG ve solunum sinyallerine Lempel-Ziv karmaşıklık yöntemi uygulanarak uyku apnesi tanısı konulması amaçlanmaktadır.

Lempel-Ziv hızlı ve doğrusal olmayan bir sinyal işleme metodu olduğundan, fizyolojik verilerin işlenmesinde daha uygundur. Bu çalışmada elde edilen sonuçların uzun vadede uyku apnesinin erken teşhisine olanak sağlaması ve tedavi sürecini farklı fizyolojik veriler kullanılarak öne çekmesi hedeflenmektedir. Daha az veri ile daha kısa sürede uyku apnesi analizi yapılması amaçlanmıştır.

Bu önerilen yöntem ile hastaları fizyolojik ve psikolojik olarak yormadan ölçümler alınır, hastalık şüphesi taşıyan her türlü bireyin testlere katılımı sağlanır. Testlere katılımın artması ile obstrüktif uyku apnesinin küresel yaygınlığı hakkında daha fazla veri elde edilebilmesini sağlayarak literatüre katkı sağlayabilir.

Uyku apnesinden kaynaklı uykusuzluk, dikkatsizlik gibi semptomların neden olduğu trafik kazaları, iş kazaları gibi toplumu ilgilendiren problemlerin de azalmasına olanak sağlanabilir.

Obstrüktif uyku apnesi hastalığının tedavisi kadar teşhisinin de önemli olduğu bilincinde olarak, hastalığın hızlı bir şekilde teşhisinin yapılabildiği bir an önce tedavi sürecine başlanması hedeflenmektedir.

Obstrüktif uyku apnesinin erken teşhisi ile bu hastalığın ilerleyen süreçlerinde neden olduğu yüksek tansiyon, işitme kaybı, kalp büyümesi gibi hastalıkların da önüne geçilmiş olur (Kurtulmuş, 2007).

Kişi kilo vermek, sigarayı bırakmak gibi daha kolay tedavi yöntemleriyle hızlıca tedavi olabilir. Maske ve ameliyat gibi tüm yaşamı etkileyecek karmaşık tedavi yöntemlerine başvurulmasına gerek duyulmaz (Kurtulmuş, 2007).

Tez alışması kapsamında ikinci bölümde, uyku apnesi ile ilgili tanımlamalar, tedavi yöntemleri ve bu alandaki çalışmalardan bahsedilmektedir. Üçüncü bölümde, kullanılan program, malzeme ve yöntem açıklanmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler ve yöntem anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde, bulgular ve tartışmaya yer verilmektedir. Beşinci bölümde ise sonuç ve öneriler yer almaktadır.



2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde tez çalışması hakkında genel bilgiler verilmektedir. İlk olarak uyku apnesinin tanımı ve sendromlarından bahsedilmiştir. Ardından uyku apnesi tanısına ve en belirgin özelliği olan horlamaya değinilmiştir. Takip eden bölümlerde tedavisine ve bu alandaki literatür çalışmalarına yer verilmiştir.

2.1. Uyku Apnesi Tanımı

Uyku solunum bozuklukları veya üst solunum yolu uyku düzensizlikleri; hipoapne, basit horlama, uyku apne sendromu ve üst solunum yolu direnç sendromu olarak sınıflandırılmaktadır (Kurtulmuş, 2007).

Horlama, bahsi geçen hastalıkların yaygın bir belirtisi olabileceği gibi, sendromlardan bağımsız olarak da görülebilmektedir (Kurtulmuş, 2007).

Obstrüktif uyku apne sendromu kısaltılmış adıyla OUAS, gündüz çok fazla uyuma ihtiyacına ve gün içinde uyanıklık süresinin azalmasına neden olan bir uyku bozukluğudur (Pitkänen ve diğ., 2022).

Obstrüktif uyku apne sendromunun tanısındaki bariz semptomlarından biri horlamadır. Üst hava kanallarındaki daralma sebebiyle hava akımı artar ve o çevredeki yumuşak dokuların vibrasyonu horlamayı meydana gelmektedir (A.Şahin, 1993).

Horlama, tüm OUAS hastalarında görülür, ancak horlama şikayeti olan her kişiye obstrüktif uyku apnesi teşhisi konulmaz (A.Şahin, 1993).

Uyku apnesi yaygın görülen ve yaşamsal risk potansiyeline sahip bir hastalıktır (Kurtulmuş, 2007).

Genel popülasyonda erkeklerin %50'sinde ve kadınların %23'ünde görülmektedir (Yoon ve diğ., 2020).

Dünya çapında 900 milyondan fazla kişiyi etkilemektedir (Pitkänen ve diğ., 2022). Toplum bilincinin yükselmesi ve hekimler tarafından fark edilme oranının artması hastalığın önüne geçilmesine olanak sağlar.

2.2. Uyku Apnesi Sendromları

Uyku apnesi sendromları, insanların yaşam kalitesini büyük ölçüde etkilemektedir (Dvir ve diğ., 2020). Uyku apnesinin sendromları majör, kardiyopulmoner ve nöropsikiyatrik olmak üzere birçok gruba ayrılmaktadır. Bu gruplar Tablo 2.1’de alt başlıklarıyla birlikte verilmiştir.

Tablo 2.1. Uyku Apnesi Sendromları (Kurtulmuş, 2007)

| Majör Semptomlar | Kardiyopulmoner Semptomlar |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Horlama | Uyku esnasında boğulma hissi |
| Tanıklı apne | Atipik göğüs ağrısı |
| Gün içinde aşırı uyku hali | Yüksek tansiyon |
| Nöropsikiyatrik Semptomlar | Diğer Semptomlar |
| Uykuda Anormal Vücut Hareketi | İşitme duyusunda azalma |
| Karar Vermede Zorlanma | Noktüri |
| Hafıza Problemleri | Gastro-Özofageal Reflü |
| Karakter ve Davranış Değişiklikleri | Libido Azalması, Emptans |

Majör semptomlardan horlama uyku apnesinin en belirgin sendromudur (Köktürk, 2000). Tekrarlayan apnelerle düzensiz horlamalar meydana gelir (Aykent ve Özdere, 2015).

Bu düzensiz horlamaların aralıklarla kesilmesi sonucu solunum durur ve tanıklı apne denilen başka bir sendrom ortaya çıkar (Aykent ve Özdere, 2015). Bu sendrom, güçlü bir horlamayla alınan nefesin yeniden solunumu başlatması ve bir sonraki apneye kadar göğüs ve karının eş zamanlı hareket etmesi olarak tanımlanabilir (Köktürk, 2000).

Devamlı tekrarlayan apne nöbetleri sonucu uyku sık sık bölünür, kaliteli bir dinlenme sağlanamaz ve gündüz aşırı uyku hali sendromu meydana gelir (Köktürk, 2000). Bu sendrom hafif veya ağır dereceli olabilir, derecesi apne periyodlarının sıklığı ve süresi gibi etkenlerle ilişkilidir (Köktürk, 2000).

Nöropsikiyatrik semptomlardan uykuda anormal motor aktivite hastaların kendi kendilerine tanısını yapamayacakları bir sendromdur (Guilleminault ve diğ., 1976).

Gözlemcilerin hasta uyku esnasındayken, son derece kuvvetli olabilecek titreme, yukarı ve aşağı geniş uzuv hareketleri gibi anormallikleri kaydetmesi sonucu tanısı konur (Guilleminault ve diğ., 1976).

Tekrarlayan uyku ve apnetik ataklar çeşitli anormal hareketlerle birlikte bilişsel bozukluklara da neden olmaktadır. Sağlıksız bir uyku gün içinde unutkanlığa neden olabilir ve bu durum zamanla hafıza zayıflaması sendromuna yer hazırlar (Köktürk, 2000).

Hafızasına güvenmeyen, unutkanlığı fazla olan kişi karar verme ve seçim yapma konusunda zorlanmaya başlar. Dolayısıyla karar verme yeteneğinde azalma görülür (Ulukavak Çiftçi, 2012).

Uykusuzluk ve eski yetileri yerine getirememe, kişilik ve davranış değişikliklerine sebebiyet verir. Çevreye uyum zorlukları ve depresyon yaşanabilir. Ortama uyum sağlamada zorluklar meydana gelebilir ve depresyon yaşanabilir (Shoib ve diğ., 2022).

Kardiyopulmoner semptomlar arasından atipik göğüs ağrısı sendromu, apne sırasında devam eden güçlü nefes alma çabasının göğüs kafesi ve organları yormasıyla görülür. Bu güçlü nefes alamama uykuda boğulma hissi sendromunu yaratır ve hastaların uyanmalarına sebep olur (Ulukavak Çiftçi, 2012).

Uyku esnasında kan basıncında beklenen düşme yaşanmadığından tansiyon yüksekliği görülür. Zamanla bu tansiyon yüksekliği tüm güne yayılarak hipertansiyona neden olur (Diker ve diğ., 2007). Hipertansiyonun yanı sıra çeşitli kalp ve damar hastalıklarına da zemin hazırlamış olur (Dua ve diğ., 2022).

Diğer semptomlardan libido azalması ve empotans, gündüz aşırı uyku hali ve depresyon ile ilişkili olmasının dışında uyku apnesinin hipotalamik pitüitertestiküler fonksiyon bozukluğuna neden olduğu ve tedavi sonrası düzeldiği bildirilmiştir.

İşitme kaybı, kulakların her gece horlamayla oluşan gürültüye maruz kalmasından kaynaklı bir sendromdur (Köktürk, 2000).

Gastro-özofageal reflü üst solunum yolları tıkanıklığı sonucu negatif intraplevral basınç yükselmesi yemek borusu ve gastrik basınçlarda da anlamlı değişikliklere ve gastro-özofageal reflüye yol açan bir sendromdur (Köktürk, 2000).

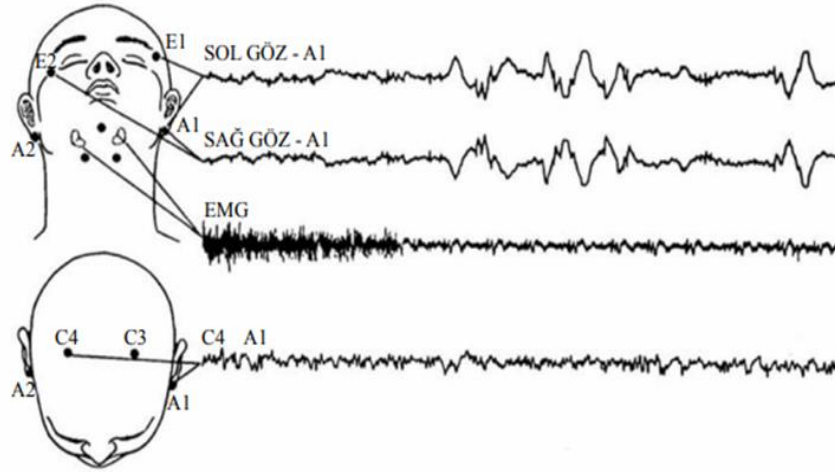
Hastaların sık sık idrar yapma isteğiyle uyanması ileri safada sendromundan olan noktüriye işareti eder (Köktürk, 2000).

Hafif dereceli hastaların %61,5, orta-ağır dereceli hastaların ise %72,7'sinde noktüri saptanmıştır (Köktürk, 2000).

2.3. Uyku Apnesi Tanısı

Uyku apnesinin erken tanısı, uzun süreli elektrokardiyografi (EKG), kan basıncı ve özel kayıt sistemlerini kapsayan polisomnografi yöntemi kullanılarak yapılabilir.

Uyku ile ilgili solunum bozukluklarının tanınması için bu özel kayıt sistemleri, solunum akışını veya hareketini, oksijen saturasyonunu, kalp atış hızını, vücut hareketlerini veya vücut pozisyonunu ve horlamayı kaydeder (Penzel, 2000).



Şekil 2.1. Polisomnografide elektroensefalografi, elektrookülografi, elektromiyografi kaydı (Force, 1999)

Bir uyku laboratuvarında kardiyorespiratuar polisomnografi kullanılarak uyku apnesinin kesin tanısı konur (Korkalainen ve diğ., 2020).

Bu prosedür uyku aşamalarını, oronazal hava akışını, göğüs duvarı ve karın duvarı hareketlerini, solunum çabasını ve solunumun etkisini izler (Rutkowski, 2016).

Bu nedenle, oksijen doygunluğu, kalp atış hızı izleme ve aritmi tespiti için EKG'yi belirlemek üzere elektroensefalografi (EEG), elektrookülografi (EOG) ve elektromiyografi (EMG) sinyallerinin ek olarak kaydedilmesini gerektirir (Lin ve diğ., 2022).

Solunum çabası, bir özofagus balonu kullanılarak yapılan intratorasik basınç kaydı ile belirlenebilir. Hava akımı ölçümü, tam yüz maskeli bir pnömotografi gerektirir.

Her iki teknik de kısmen invaziv olduğundan ve uykuyu rahatsız ettiğinden, çoğu zaman dolaylı ölçümlere dayanan uyku çalışmalarında kullanılmazlar.

Uyku kayıtlarının değerlendirilmesi, genellikle bilgisayar tabanlı sistemler yardımıyla, uzun süreli kayıtların görsel olarak incelenmesiyle yapılır. Görsel analizin sonuçları uykunun ayrıntılı bir açıklamasıdır (Penzel, 2000).

2.4. Horlama

Horlama çok yaygın bir olgudur (Miao ve diğ., 2018). Her yaşta ve cinsiyette görülebilir (Yılmaz ve diğ., 2010).

Atatürk üniversitesi diş hekimliği fakülte dergisine göre; nüfustaki yetişkin bireylerin %40'ı horlamadan etkilenirken, bu oranın neredeyse %25'ini erkeklerin oluşturduğu düşünülmektedir (Aykent ve Özdere, 2015).

Horlama ve Obstrüktif uyku apne sendromunun kadın nüfusunda görülme oranı erkek nüfusunda görülme oranından neredeyse iki kat azdır; bunun nedeni kadınlarda erkeklere oranla yağ birikiminin daha çok kalça, bacak gibi alt ekstremitede gerçekleşmesidir (Aykent ve Özdere, 2015). Erkeklerde ise yağ birikimi çoğunlukla vücudun üst bölümünde genellikle de servikal bölgede olmasıdır (Aykent ve Özdere, 2015).

Orta yaş nüfusunda kadınların %2'si uyku apnesi ve horlamadan etkilenmekteyken erkeklerde bu oran %4 ile %10 arasındadır (Vuorjoki-Ranta ve diğ., 2013).

Aşırı yağ birikimine ek olarak üst solunum kanallarının genişliğini daraltarak OUAS ve horlamaya sebebiyet veren bir başka faktör de uyku pozisyonudur (Aykent ve Özdere, 2015).

Çiğneme kaslarının, dil kaslarının düşük kas tonusuna sahip olması ve alt çene kemiğinin ağırlık yapması sırt üstü pozisyonda ağzın açılmasına sebep olmaktadır.

Alt çene kemiği ve dil, sırt yönüne doğru hareket ederek yutak bölgesinde daralmaya neden olmaktadır. Bunun da solunumu zorlaştırmaya, horlamaya ve obstrüktif apneye neden olduğu bildirilmiştir(Yoshida, 1998).

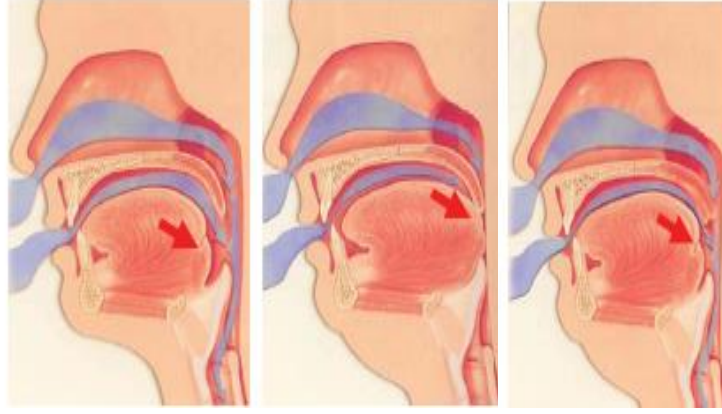
Buna ek olarak horlama ya da OUAS'a sahip hastalarda supine pozisyonda, masseter ve çene altı kasların kasılması ile inspirasyon ve ekspirasyon bitiminde, sağlıklı kişilere oranla ağız aralığının daha çok arttığı bunun da vücudun uyurken almış olduğu konumun horlama ve OUAS'a sebep olabilecek etkenlerden bir tanesi olduğu vurgulanmıştır (Yoshida, 1998).

Bu belirtilen sebeplerden ötürü kişilerin yanlış uyku alışkanlıklarından vazgeçip hekimlerin önerdiği pozisyonlarda yatmalarının sağlanması, tedavinin en kritik adımlarından biri olarak önerilmiştir (Aykent ve Özdere, 2015).

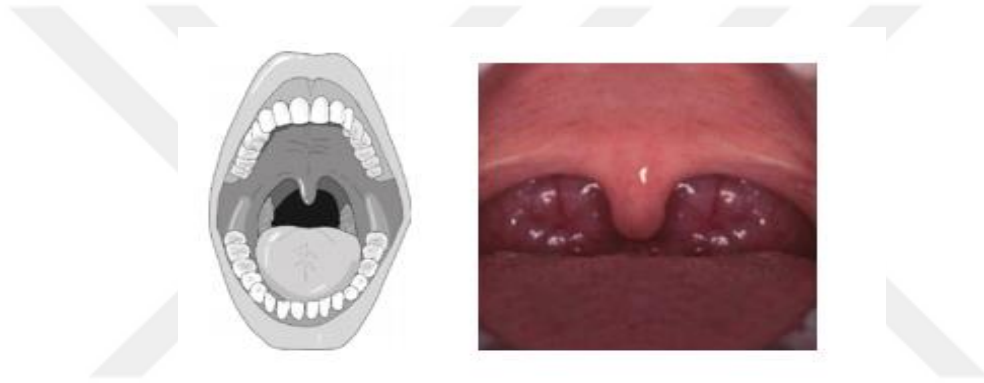
Horlama sırasında solunum, ağızdan gerçekleşmektedir. Solunuma yardımcı olmak için omuz ve boyun bölgesindeki kaslar daha çok çalışırlar. Bu durum baş bölgesinde yapısal ve işlevsel aksaklıklara neden olabilmektedir (Benkli ve Oktay, 2013).

Üst solunum yolunun normal anatomisinde hava akımı rahat gerçekleşirken OUAS'lı bireylerde hava yolunda daralma söz konusudur. Hava yolları arasındaki anatomik fark Şekil 2.2'de verilmektedir. Sağlıklı ve hasta bireylerin hava yolu koronal açı gösterimi sırası ile Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te verilmiştir.

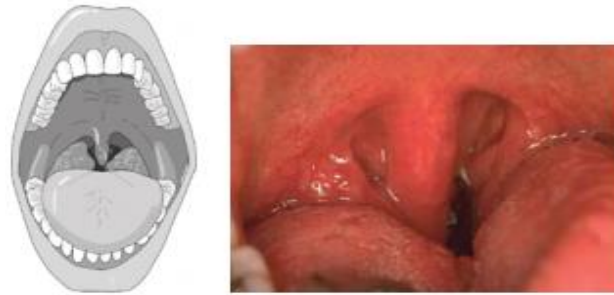
Obstrüktif uyku apnesi şiddetine göre hava yolundaki tıkanıklık farklılık gösterecek olsa da genel olarak Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te verildiği üzere obstrüktif uyku apnesi tanımlı hava yolunun, sağlıklı hava yoluna göre oldukça dar olduğu görülmektedir.



Şekil 2.2 a) Üst solunum yolunun normal anatomisi, b) OUAS'lı hastanın üst solunum yolunun anatomisi, c) Horlayan hastanın üst solunum yolunun anatomisi (Kurtulmuş, 2007)



Şekil 2.3. Sağlıklı hava yolu koronal aç gösterimi (Ivanhoe ve diğ., 1999)



Şekil 2.4. Obstrüktif uyku apnesi ve tıkanmış hava yolu koronal aç gösterilimi (Ivanhoe ve diğ., 1999)

2.5. Uyku Apnesi Tedavisi

Hastalık teşhisinden sonra sıra tedavi aşamasına gelmektedir. Hastanın özel faktörleri göz önünde bulundurularak ve hastanın izni alınarak uygun tedavi şekline başlanır. Uyku apnesinin tedavisi spesifik, genel önlemler ve medikal olmak üzere birçok gruba ayrılmaktadır ve bu gruplar Tablo 2.2’de alt başlıklarla gösterilmiştir (Kurtulmuş, 2007).

Tablo 2.2. Uyku Apnesi Tedavi Şekilleri (Kurtulmuş, 2007)

| Genel Önlemler | Spesifik Tedavi |
|--|------------------------|
| Risk etkenlerinin tedavisi | CPAP/BPAP tedavisi |
| Eşlik eden hastalık tedavisi | Cerrahi tedavi |
| Trafik ve iş kazaları konusunda uyarma | Ağız içi araç tedavisi |
| Medikal Tedavi | Kombine tedavi |

Uyku apnesinin tedavisine yönelik genel önlemler, risk etkenlerinin tedavisi ve eşlik eden hastalıkların tedavisine yönelik önlemler ile trafik ve iş kazalarına yönelik uyarıları içeren üç alt başlıkta toplanabilir. Hastalığın derecesi ne olursa olsun ilk aşamada genel önlemler uygulanmalıdır (Kurtulmuş, 2007).

Risk etkenlerine yönelik tedavilerden en önemlisi kilo vermeye yönelik tedavidir. Kilo ve obezite üst solunum yolunu daraltarak hastalığa eğilimi arttırmaktadır. Kilo veren hastalık sahibi kişilerde apnelerinin hafiflediği, uyku esnasındaki bölünmelerinin azaldığı, gün içinde uyuma isteğinin düştüğü bilindiği için bireylerin sağlıklı şekilde kilo vermeye yönlendirilmesi önemlidir (Ulukavak Çiftçi, 2012).

Kilo dışında yer çekimi etkisiyle de farinks açıklığı daralmaktadır. Bu durum yatış pozisyonuna yönelik tedaviyi doğurur. Hem yer çekimi hem de dilin arkaya kaymasıyla sırtüstü pozisyonda daralma daha fazla gerçekleşmekte ve apne artmaktadır. Hastalara lateral pozisyonda yatmaları önerilir.

Üst solunum yollarının daralmasıyla birlikte kollapsının kolaylaşması da apnenin

görülme nedenlerindedir. Sedatifhipnotik ilaçlar, orofarenksin ve gırtlaktaki kasların sertleşmesinde önemli rol oynamaktadır. Kasları uyaran sinirlerin etkinliğini hafifleterek, üst solunum yolları kollapsını kolaylaştırır. Benzer şekilde alkol kullanımı farinks dilatör kaslarının elektromiyografi aktivitesini, nörolojik stimülasyonu baskılayarak azaltır. Hastaların alkol ve sedatifhipnotiklerden sakınması diğer bir risk faktörüne yönelik tedavi şeklidir (Köktürk, 2000).

Uyku apnesinin birçok hastalıkla ilişkisi vardır. Bu hastalığa eşlik eden hipotiroid ve akromegalinin gibi hastalıkların tedavisi sonucu uyku apnesi ortadan kalkabilmektedir. Bu duruma, eşlik eden hastalık tedavisi denir (Nurçin Çimen Özışık, 2008).

Hastalar uykusuzluk nedeniyle dikkatsizlerdir ve iyi birer sürücü değillerdir. Sağlıklı insanlarla karşılaştırıldıklarında trafik kazalarına 2 ile 7 kat daha fazla neden olurlar. Hastaların risklerinin belirlenmesi ve bu bağlamda bilgilendirme yapılması hastalar için en önemli basamaktır. Sadece trafikte yaşanabilecek kazalar için değil benzer şekilde bu hastalıktan müzdarip kişilerin neden olabileceği iş kazalarının da önüne geçilmesi adına ezici, kesici, yakıcı madde ve ekipmanların kullanıldığı iş yerlerinde çalışmalarının uygunsuzluğu açıklanmalıdır. Trafik ve iş kazaları konusunda uyarılmalıdırlar (Köktürk, 2000).

Uyku apnesinin medikal tedavisinde özellikle faringeal dilatör kas tonusunu yükselterek apnelerin önüne geçen, uyku yapısına zarar vermeyen ve dikkat çekici yan etkileri olmayan bir ilaç bulunmadığından daha spesifik tedavi yöntemleri geliştirilmiş ve klinik uygulamaları günümüzde de sürmektedir.

Spesifik tedaviler CPAP/BPAP, ağız içi araç, cerrahi ve kombine tedavi olmak üzere dörde ayrılmaktadır.

CPAP diğer adıyla sürekli pozitif hava yolu basıncı cihazı taşınması kolay, devri yüksek jeneratörden oluşmaktadır. Oda havasını pompalayarak hastaya maske aracılığıyla hava verir. Üst solunum yolunun intraluminal basıncını yutak ve alt yutağın pozitif transpulmoner değerinin üzerine çıkarmayı sağlar. Solunum yolu obstrüksiyonun engellenmesine dayanır (Sanders MH, 1999).

Hekim tarafından yapılan analizler neticesinde maske kullanmasında herhangi bir

sakıncası bulunmayan bireylerin, tedavi için maske tipini seçmesi büyük önem taşımaktadır (Köktürk, 2000).

BPAP diğer adıyla bifazik pozitif hava yolu basıncı ile bütün solunum sürecinde sabit bir basınç yerine nefes almada farklı ve nefes vermede farklı olacak şekilde pozitif basınç uygulanmaktadır. Bu uygulama ile kişinin daha minimal basınca karşı nefes vermesi ve tedaviyi daha başarılı şekilde tolere edebilmesi hedeflenmektedir. Basınca karşı nefes vermede zorlanma gibi nedenlerden dolayı, CPAP'ı tolere edemeyen hastalarda kullanılan tedavi şeklidir (Sanders MH, 1999).

Cerrahi tedavi, diğer tedavi yöntemlerinin yetersiz kaldığı ve obstrüksiyon yerinin tam olarak saptanabildiği durumlarda uygulanmaktadır. Cerrahi tedaviler burun, orofarenks, dil, dil kökü, hyoid, maksillo-mandibular ilerletme ve trakeostomi ameliyatları olarak beş gruba ayrılmaktadır. Bu gruplar alt başlıklarıyla birlikte Tablo 2.3'te bulunmaktadır.

Tablo 2.3. Cerrahi Tedavi Şekilleri (Köktürk, 2000)

| Dil, Dil Kökü, Hyoid Ameliyatları | Orofarenks Ameliyatları |
|--|--|
| Dil kökü rezeksiyonu(MG) | Tonsillektomi |
| Radyofrekans yardımıyla dil kökünün küçültülmesi | Uvulektomi |
| Genioglossus ilerletme | Uvulopalatofaringoplasti (UPPP) |
| Hyoidin asılması | Uvulopalatoplasti(UPP) |
| Dil kökünün mandibulaya dikilmesi | a) Lazer ile uvulopalatoplasti (LAUP) |
| Burun Ameliyatları | b) Damak gevşekliği azaltma ameliyatları |
| Septoplasti | c) Somnoplasti |
| Konka cerrahisi | d) CAPSO |
| Nazal valv cerrahisi | e) mUPPP |
| Maksillo-Mandibular İlerletme (MMİ) Ameliyatları | Trakeostomi |

Uyku öncesinde ağıza yerleştirilen araçlar uyku sırasında gerçekleşen üst solunum yolu daralmalarını engeller. Üst solunum yolunu oluşturan yapılarının konumunu değiştirip, genişletmektedir. Üst solunum yolunun kollapsının kolaylaşmasını engeller. Kas fonksiyonları üzerine etki ederek solunumu rahatlatır. Ağız içi araç tipleri 2 çeşittir (Köktürk, 2000). Dili önde tutan araçlar, özellikle sırtüstü pozisyonda arkaya kaçan dil nedeniyle yaşanan apnelere için tedavi şeklidir. Dili yeniden konumlandırarak uyku sırasında arkaya kaçmasını engeller (Pişkin ve diğ., 2012). Mandibulayı öne ilerleten araçlar, faringeal solunum yolunu genişletmek için kullanılmaktadır. Yutak bölgesindeki dokuların sıkışmamasını sağladığı ve yutağın genişlemesine imkân verdiği için, hava kanalının hacmini artırırken hava geçişinde yumuşak doku titreşiminin önüne geçer (Çöttert ve User, 2007).

2.6. Uyku Apnesi Çalışmaları

Uyku apnesini konu edinen birçok çalışma söz konusudur. Literatürde bu konuyla ilgili solunum parametresi (Várady ve diğ., 2002), uyku ses kayıt analizi (Kang ve diğ., 2017), kalp sesi analizi (Yıldız, 2017), nazal basınç sinyali (Sériès, 1999), EEG sinyali (Sezgin ve Tagluk, 2011), SPO2 sinyali (Almazayde ve diğ., 2012), EKG sinyali (Quiceno-Manrique ve diğ., 2009) özelliklerine göre uyku apne tespitine yönelik çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların temel amacı uyku apnesinin teşhis ve tedavisini iyileştirmektir.

OUAS, gebe bireylerde hem bebeğin sağlığını hem de gebe bireyin sağlığını tehlikeye atabilecek sonuçlara yol açabilmektedir. Gestasyonel hipertansiyon, gebelik diyabeti, erken doğum, doğumsal anomali, yenidoğan yoğun bakım ünitesine yatış, daha uzun süre hastanede kalma, doğumda resüsitasyon ve entübasyon riskinde artış meydana getirebilir (Felder ve diğ., 2022).

Lempel-Ziv karmaşıklığının (LZK) çeşitli biyomedikal uygulamalarda güçlü bir karmaşıklık ölçüsü olduğu kanıtlanmıştır (Rivolta ve diğ., 2014). LZK, uyku solunum bozukluklarının sınıflandırılması (Pregowska ve diğ., 2019), EEG verilerinden uyku apnesi teşhisi (Taran ve diğ., 2021), EKG sinyal kalitesinin değerlendirilmesi (Zhang ve diğ., 2016) için uygulanabilir bir yöntem olduğu literatür çalışmalarından elde edilmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Analiz yöntemi olarak Lempel-Ziv kompleksi yöntemi kullanılmıştır. Veriler Matlab'a yüklendikten sonra veri setine Lempel-Ziv karmaşıklık analizi için yazılan kod uygulanmıştır. Lempel-Ziv sonucunda elde edilen değerler Microsoft Excel programında hazırlanmış ve R Studio ortamında ANOVA ile istatistiksel analiz yapılmıştır.

3.1. Veri Seti

Lempel-Ziv metoduyla EKG ve respirasyon sinyallerinden uyku apnesi analizi için, uyku sırasında EKG ve respirasyon ölçümü yapılmış sağlıklı ve uyku apneli bireylerin verileri physionet.org sitesinden temin edilmiştir

Physionet.org'dan indirilen veri set, 3'ü sağlıklı 5'i hastalıklı olmak üzere 8 ayrı kişiye aittir. EKG, Respirasyon A (RespA), Respirasyon C (RespC), Respirasyon N (RespN) ve SPO2 ölçüm verilerini içermektedir. Respirasyon A (RespA) abdominal solunumu, Respirasyon C (RespC) göğüs solunumu ve Respirasyon N (RespN) nazal solunumu ifade etmektedir.

Her bir ölçüm 2 saat 46 dakika uzunluğundadır. Örnekleme frekansı 100 Hz ve örnekleme aralığı ise 0,01 saniyedir. Lempel-Ziv metoduyla EKG ve respirasyon sinyallerinden uyku apnesi analizi amaçlandığından SPO2 ölçüm değeri kullanılmamıştır.

Veri seti Matlab kodlama dilinin 2015 yılı sürümü kullanılarak işlenmiştir ve veriler 'erm.mat' formatındadır. Verilerden hastalıklı kişiler a01erm.mat, a02erm.mat, a03erm.mat, a04erm.mat, b01erm.mat iken c01erm.mat, c02erm.mat, c03erm.mat ise sağlıklı kişilerden elde edilen ölçüm değerlerini içermektedir. Her bir kişiden alınan ölçümler EKG, RespA, RespC, RespN ve SPO2 olmak üzere 5 satır ve ölçüm değerleri olmak üzere 1.000.000 sütun içermektedir.

Kullanılan veri setindeki bireylerin kayıtları ve yaş, cinsiyet, boy, kilo, apne dakika gibi özellikler Tablo 3.1'de detaylandırılmıştır.

Tablo 3.1. Physionet'ten Elde Edilen Veri Seti

| Kişiler | Saat (w/apne) | Apne indeksi AI | Hipoapne indeksi HI | Apne-hipopne indeksi AHI | Yaş | Cinsiyet | Boy (cm) | Kilo (kg) |
|---------|---------------|-----------------|---------------------|--------------------------|-----|----------|----------|-----------|
| a01 | 9 | 12,5 | 57,1 | 69,6 | 51 | E | 175 | 102 |
| a02 | 9 | 57,2 | 12,3 | 69,5 | 38 | E | 180 | 120 |
| a03 | 9 | 38,4 | 0,7 | 39,1 | 54 | E | 168 | 80 |
| a04 | 9 | 73,4 | 4 | 77,4 | 52 | E | 173 | 121 |
| b01 | 2 | 0,12 | 0,12 | 0,24 | 44 | K | 170 | 63 |
| c01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31 | E | 184 | 74 |
| c02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37 | E | 180 | 83 |
| c03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39 | E | 184 | 65 |

3.2. Lempel-Ziv Komplekslik Metodu

Lempel-Ziv komplekslik (LZK) sonlu serilerin rastgeleliğini bulmada kullanılan bir karmaşıklık ölçütüdür ve LZK ölçüsü sembolik diziler üzerinden hesaplanmaktadır (Akar ve diğ., 2015).

LZK ölçüsü olan $c(n)$ hesaplanmadan önce, sinyal sonlu bir sembol dizisine dönüştürülmelidir. Biyomedikal sinyal analizi bağlamında tipik olarak ayrık zamanlı $x(n)$ sinyali, ikili bir sekansa dönüştürülür. Denklem (3.2)'de verilen Td eşik değeri ile karşılaştırıldığında, zaman serisi şeklindeki sinyaller 0-1 şeklindeki P ile gösterilen sembolik bir diziye çevrilmektedir. Bu sembolik dizi Denklem (3.1)'de verilir ve P ile gösterilir (Aboy ve diğ., 2006).

$$P = s(1), s(2), \dots, s(r) \quad (3.1)$$

$$s(i) = \begin{cases} 0, & x(i) < Td \\ 1, & \text{dışında} \end{cases} \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de, medyan ve aykırı değerler Td eşiği olarak kullanılmıştır (Nagarajan, 2002). Sinyalin genliği Td eşik değerinden büyükse 1'e, küçükse 0'a çevrilerek söz konusu dönüşüm yapılmaktadır (Aboy ve diğ., 2006). LZK'yi hesaplamak için, P dizisi soldan sağa taranır ve ardışık karakterlerin yeni bir dizisine rastlandığında $c(n)$ komplekslik ölçütü bir birim artırılmaktadır. Karmaşıklık ölçüsü aşağıdaki algoritmayı kullanarak tahmin edilebilir (Ab'asolo ve diğ., 2006):

1) S ve Q 'nun P ve SQ 'nun iki alt dizisini göstermesi, S ve Q 'nun birleşmesi olsun; $SQ\pi$ dizisi, son karakteri silindikten sonra SQ 'dan türetilir. (π , dizideki son karakteri silme işlemi anlamına gelir).

$v(SQ\pi)$, $SQ\pi$ 'nin tüm farklı dizilerinin kelime haznesini gösterebilir. Başlangıçta $c(n) = 1$, $S = s(1)$, $Q = s(2)$, dolayısıyla $SQ\pi = s(1)$.

2) Genel olarak, $S = s(1), s(2), \dots, s(r)$, $Q = s(r + 1)$, sonra $SQ\pi = s(1), s(2), \dots, s(r)$; eğer Q , $v(SQ\pi)$ 'ya aitse Q , $SQ\pi$ 'nin bir dizisidir, yeni bir sekans değildir.

3) Q 'yu $s(r + 1)$, $s(r + 2)$ olacak şekilde değiştirin ve Q 'nun $v(SQ\pi)$ 'ya ait olup olmadığına karar verin.

4) Q , $v(SQ\pi)$ 'a ait olmadıkça önceki adımları tekrarlayın. Şimdi $Q = s(r + 1), s(r+2), \dots, s(r + i)$, $SQ\pi = s(1), s(2), \dots, s(r + i - 1)$ 'nin bir alt dizisi değildir. Bu nedenle $c(n)$ 'yi bir artırın.

5) Daha sonra $S, S = s(1), s(2), \dots, s(r + i)$ ve $Q = s(r + i + 1)$ olarak yenilenmiştir.

Bu prosedürler, Q son karakter olana kadar tekrarlanmalıdır. Bu zamanda, P 'deki farklı karmaşıklıkların sayısı $c(n)$ 'dir. Dizi uzunluğundan bağımsız bir karmaşıklık ölçüsü elde etmek için $c(n)$ normalleştirilmelidir. Dizinin uzunluğu n ise ve sembol kümesindeki farklı sembollerin sayısı α ise, $c(n)$ 'nin üst sınırının Denklem (3.3)'de verildiği gibi kanıtlanmıştır (Lempel ve Ziv, 1976).

$$c(n) < \frac{n}{\alpha^n} \quad (3.3)$$

ϵ en küçük bir miktardır ve $\epsilon n \rightarrow 0$ ($n \rightarrow \infty$). Genel olarak, n / α^n , logaritmanın tabanının α olduğu $c(n)$ 'nin üst sınırıdır ve Denklem (3.4)'te verilen $c(n)$, $b(n)$ ile normalleştirilebilir.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} c(n) = b(n) = \frac{n}{(n)} \quad (3.4)$$

$$C(n) = \frac{c(n)}{b(n)} \quad (3.5)$$

Denklem (3.5)'te verilen $C(n)$, normalize edilmiş Lempel-Ziv karmaşıklığı, sekans ile birlikte ortaya çıkan yeni kalıpların oranını yansıtır. Böylece, dizinin zamansal yapısını yakalar (Puthankattil S. J., 2014.).

3.3. ANOVA

Varyans analizi, iki veya daha fazla grubun ortalaması arasındaki farkın anlamlı olup olmadığı hakkındaki hipotezleri değerlendirmek için kullanılmaktadır. Tek faktörlü varyans analizi olan ANOVA (ANALYSIS OF VARIANCE), üç veya daha fazla grubun ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığını tespit etmek amacıyla kullanılır (Ergün ve Aktaş, 2009). Bu amaca yönelik hipotezlerden H_0 ortalamalar arasında fark olmadığını, H_A ise en az iki ortalama arasında anlamlı fark olduğunu ifade etmektedir (Yiğit ve Gökpinar, 2010). ANOVA'nın diğer adı F testidir ve F istatistiğini verir. F, verilerdeki sistematik varyansı sistematik olmayan varyansla karşılaştırmayı sağlar.

Test öncelikle gruplardan en az birinin diğerlerinden farkını test eder. ANOVA testi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bir p değeri elde ediliyorsa, diğer bir deyişle $p < 0,05$ ise analiz edilen gruplar arasında fark olduğu anlamına gelmektedir (Field, 2013).

ANOVA'nın uygulanabilirliği her kümede verilerin normal dağılıma sahip olmasına bağlıdır. Elde edilen varyansların homojen olması ve grup içindeki kişilerin birbirinden bağımsız olması gerekir.

LZK yöntemi ile EKG ve solunum sinyallerinden uyku apnesinin tespiti için istatistiksel analiz yöntemi olarak tek yönlü ANOVA kullanılmıştır. p değeri 0,05'in altında ise

incelenen zaman aralığında hasta ve sağlıklı veriler arasında benzerlik yoktur. Bu, hastanın incelenen süre boyunca apnesi olduğunu gösterir.

3.4. İstatistiksel Başarım Ölçütleri

Tarıya yönelik testlerin değerlendirilmesinde çeşitli istatistiksel başarım ölçütleri kullanılmaktadır. Bu başarım ölçütlerinden bazıları doğruluk, özgüllük ve duyarlılıktır.

Önerilen yöntemle yapılan çalışma için duyarlılık (sensitivity), testin uyku apnesini yakalayabilme kapasitesidir. Özgüllük (specificity), testin uyku apnesi geçirmeyen bireyleri ayırt etme kapasitesidir. Doğruluk (accuracy) ise hasta ve sağlıklı kişileri doğru sınıflandırma yapma kapasitesidir (Uluç, 2007). Bu ölçüm yöntemlerinin formüllerinde kullanılan değerlerin başlıkları Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3.2. Doğruluk, duyarlılık ve özgüllük formüllerinde kullanılan ifadeler (Uluç, 2007)

| | Hastalık Var | Hastalık Yok |
|--------------|---------------------|---------------------|
| Test Pozitif | Gerçek Pozitif | Yanlış Pozitif |
| Test Negatif | Yanlış Negatif | Gerçek Negatif |

Tablo 3.2’de yer alan gerçek pozitif (GP) ifadesi, test sonucunda uyku apnesi olduğu belirlenen uyku apneli değerlerin sayısını belirtmektedir. Yanlış pozitif (YP), uyku apnesi olduğu belirlenen ama sağlıklı olan değerlerin sayısını vermektedir.

Gerçek negatif (GN), test sonucunda sağlıklı olarak belirlenen sağlıklı değerlerin sayısını ifade etmektedir. Yanlış negatif ise test sonucu sağlıklı olarak belirlenen ama uyku apneli değerlerin sayısını vermektedir.

$$\text{Duyarlılık (\%)} = \frac{GP}{GP+YN} \times 100 \quad (3.6)$$

$$\text{Özgüllük (\%)} = \frac{GN}{GN+YP} \times 100 \quad (3.7)$$

$$\text{Doğruluk (\%)} = \frac{\text{GP}+\text{GN}}{\text{GP}+\text{YN}+\text{GN}+\text{YP}} \times 100 \quad (3.8)$$

Denklem (3.6)'da verilen duyarlılık, gerçek pozitif sayısının yanlış negatif ile gerçek pozitif sayısının toplamına bölünmesiyle elde edilir. Denklem (3.7)'de verilen özgüllük, gerçek negatif sayısının yanlış pozitif ile gerçek negatif sayısının toplamına bölünmesiyle bulunur. Denklem (3.8)'de verilen doğruluk ise gerçek pozitif ile gerçek negatif toplamının tüm değerlerin toplamına bölünmesiyle elde edilir(Uluç, 2007). (Yakut, 2018).

3.5. Yöntemin Veri Setine Uygulanması

Yöntemin veri setine uygulanması çeşitli adımlardan oluşmaktadır. Bu adımlar yedi tanedir ve birbirini takip ederek blok diyagramı şeklinde ifade edilebilirler. Önerilen yöntemin blok diyagramı Şekil 3.1'de verilmektedir.

Şekil 3.1 incelendiğinde blok diyagramının ilk basamağı veri setinin Matlab'a aktarılmasıdır. Veri setindeki her bir kişiye ait veri sırasıyla a01erm.mat, a02erm.mat, a03erm.mat, a04erm.mat, b01erm.mat, c01erm.mat, c02erm.mat, c03erm.mat formatındadır. Veriler Matlab'a girilirken "erm.mat" formatındaki veri çağırılır. Bu "erm.mat" formatındaki veriler 5 satırdan oluşmaktadır.

Bütün verilerde birinci satır EKG, ikinci satır Resp C, üçüncü satır Resp A, dördüncü satır Resp N ve beşinci satır SPO2'yi ifade etmektedir.

Örneğin a02 kişinin verilerini sisteme girmek için a02erm.mat formatındaki veri sisteme çağırılır. Bu verideki satırlar EKG ve respirasyonu ifade ederken sütunlar ise ölçüm değerlerini ifade etmektedir.

Şekil 3.1'deki blok diyagramının ikinci basamağı veriyi ön işleme hazırlamadır. Bu basamakta hangi ölçüm değeri üzerinde çalışılacaksa ona ait satır işleme alınmalıdır. İşleme alınan satırın bütün değerleri farklı değişkene atanmaktadır.

Örneğin a02erm.mat verisinde RESP A'yı 3.satır ifade ettiği için 3.satırın bütün değerleri S2RESPA değişkenine atanmıştır. Değişken adı verilirken S2 a02'nin verisini, RESPA ise ölçüm çeşidini belirtmektedir.

Verileri daha iyi karşılaştırma yapabilmek için zaman aralıklarına bölmek gerekmektedir. 1.000.000 uzunluğundaki veriyi, 60.000'lik zaman aralıklarına bölerek 16 adet zaman aralığı elde edilmiştir. Zaman aralıklarına bölünen veri değerinin kaydedilmesi için 16 satırlık ve 60.000 sütunluk boş matris oluşturulmuştur.

Örneğin a02 kişisi için 16 satırlık ve 60.000 sütunluk boş matris oluşturulup adı "SegmentedRESPA2" olarak atanmıştır. Daha sonra bölünme işlemi yapılarak değerler bu matrise kaydedilmiştir. Matrisin ismi, a02 kişinin Resp A değerlerinin bölünmüş olduğunu ifade etmektedir.

En son LZK metoduyla elde edilen değerlerin kaydedilmesi için 16 satırlık 1 sütunluk boş matris gerekmektedir. Örneğin a02 kişisi için LZK uygulanmış Resp A değerleri, 16 satırlık 1 sütunluk boş matris olan "LZCOMP_S2RESPA" olarak atanmıştır. Bu isimlendirmedeki "LZCOMP" a02 kişinin Resp A verisine Lempel-ziv komplekslik metodu uygulandığını belirtmektedir.

LZK yöntemi ile veri setinin analiz edilmesi Şekil 3.1'deki blok diyagramın üçüncü adımındır. Her bir 16 satır ve 60.000 sütuna bölünmüş veri LZComp median işlemine tabi tutulur.

Örneğin a02 kişinin verileri 16 satıra ve 60.000 sütuna parçalandıktan sonra değerler "SegmentedRESPA2" matrisine kaydedilmiştir. "SegmentedRESPA2" matrise LZComp_median işlemi uygulanarak Lempel-ziv kompleksik değeri elde edilmiştir.

Bu işlem sonucunda elde edilen değerler, LZCOMP_S2RESPA'nın satırlarına sırayla yazılır ve 16 zaman aralığı elde edilir. Bu aralıklar zaman1, zaman 2, zaman 3 şeklinde zaman 16'ya kadar ifade edilmiştir.

LZK analiz sonuçlarının Excel'e aktarılması Şekil 3.1'deki blok diyagramının bir sonraki basamağıdır. Elde edilen LZK değerleri sırayla Excel'e alınıp grafikleri çıkarılmıştır.

Excel verilerinin R Studio'ya aktarılması Şekil 3.1'deki blok diyagramının beşinci basamağıdır. Bu basamakta c01, c02, c03 sağlıklı kişilerinin zaman aralıklarına göre LZK değerleri kontrol değeri olarak atanacağı için R Studio'ya Excel tablosu alınırken c01, c02 ve c03 kişilerinin verileri ayrıca girilir.

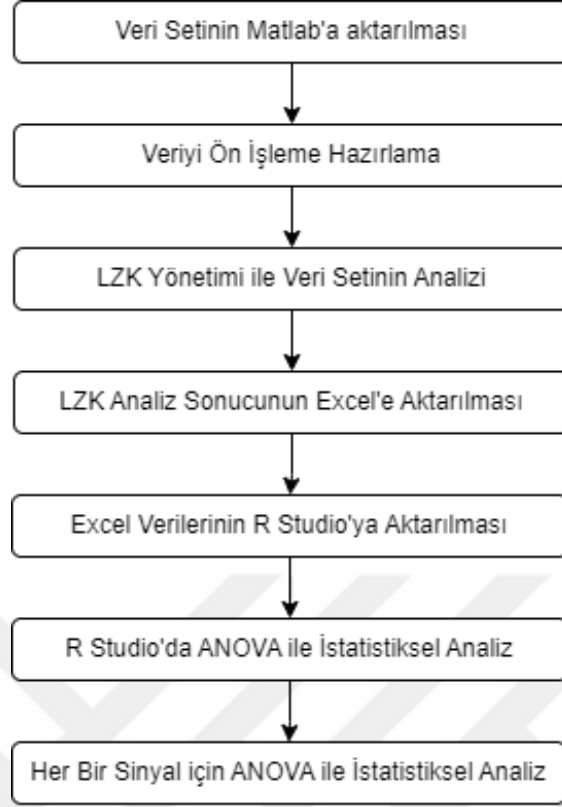
Örneğin c01, c02 ve c03 kişilerinin zaman 1'deki Resp A değerleri, tüm hasta bireylerin zaman 1'deki Resp A değerleri için kontrol değeri olarak atanmıştır.

R Studio'da ANOVA ile istatistiksel analiz yapılması Şekil 3.1'de verilen blok diyagramının altıncı adımıdır. Bu adımda analizi yapılan kişinin LZK uygulanmış verileri kullanılır. Kullanılan verinin zaman aralığı ile c01, c02 ve c03 kişilerine ait aynı zaman aralığındaki değerler karşılaştırılır. Kişinin verisiyle kontrol değerleri arasındaki benzerlik üzerine çalışılır.

Örneğin a02 kişinin zaman 1 için Resp A değeri, c01, c02 ve c03 kişilerinin zaman 1'deki Resp A değerleriyle karşılaştırılır. a04 kişinin zaman 16'daki Resp C değeri ise c01, c02 ve c03 kişilerinin zaman 16'daki Resp C değerleriyle karşılaştırılır.

Son olarak ANOVA sonucunu özetlemek için “summary” fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyonla R Studio, ANOVA'dan elde edilen sonucu kendisi yorumlamaktadır. p değeri 0,05'in altında olursa hasta ve sağlıklı kişilere ait verilerin arasında incelenen zaman aralığında benzerlik yok anlamına gelmektedir.

Her bir sinyal için ANOVA istatistiği sonucunun çıkarılması Şekil 3.1'de verilen blok diyagramının yedinci adımıdır.



Şekil 3.1. Önerilen yöntemin blok diyagramı

4. BULGULAR

EKG ve respirasyonlar ayrı ayrı 1.000.000 satırdan oluşmaktadır. Verilerin daha iyi analiz edilebilmesi için zaman aralıklarına bölmek gerekmektedir. 1.000.000 uzunluğundaki veri 60.000 zaman aralığına bölünerek, 16 zaman aralığı elde edilmiştir. Tablo ve Şekillerde bu aralıklar zaman1, zaman 2, zaman 3 şeklinde zaman 16'ya kadar ifade edilmiştir. Bu süreler yaklaşık 10 dakika 37 saniyelik bir süreye karşılık gelmektedir.

Uykunun evrelerine göre zaman1 ve zaman 11 NREM1'e denk gelmektedir. Zaman 2, 3, 4, 5, 12, 13, 14'te NREM2 uyku evresi mevcuttur. Zaman 6, 7, 8, 15, 16'da NREM3 ve zaman 9,10'da REM uyku evresi mevcuttur.

Her birey için tüm EKG ve solunum verileri 16 zaman aralığına bölünmüştür. Her kişinin EKG, RespA, RespC ve RespN ölçüm değerleri için LZK yapıldı. LZK yöntemi ile elde edilen sonuçlar kaydedildikten sonra ortalamaların ve standart sapmaların grafikleri oluşturulmuştur. ANOVA ile istatistiksel analizi yapılmıştır.

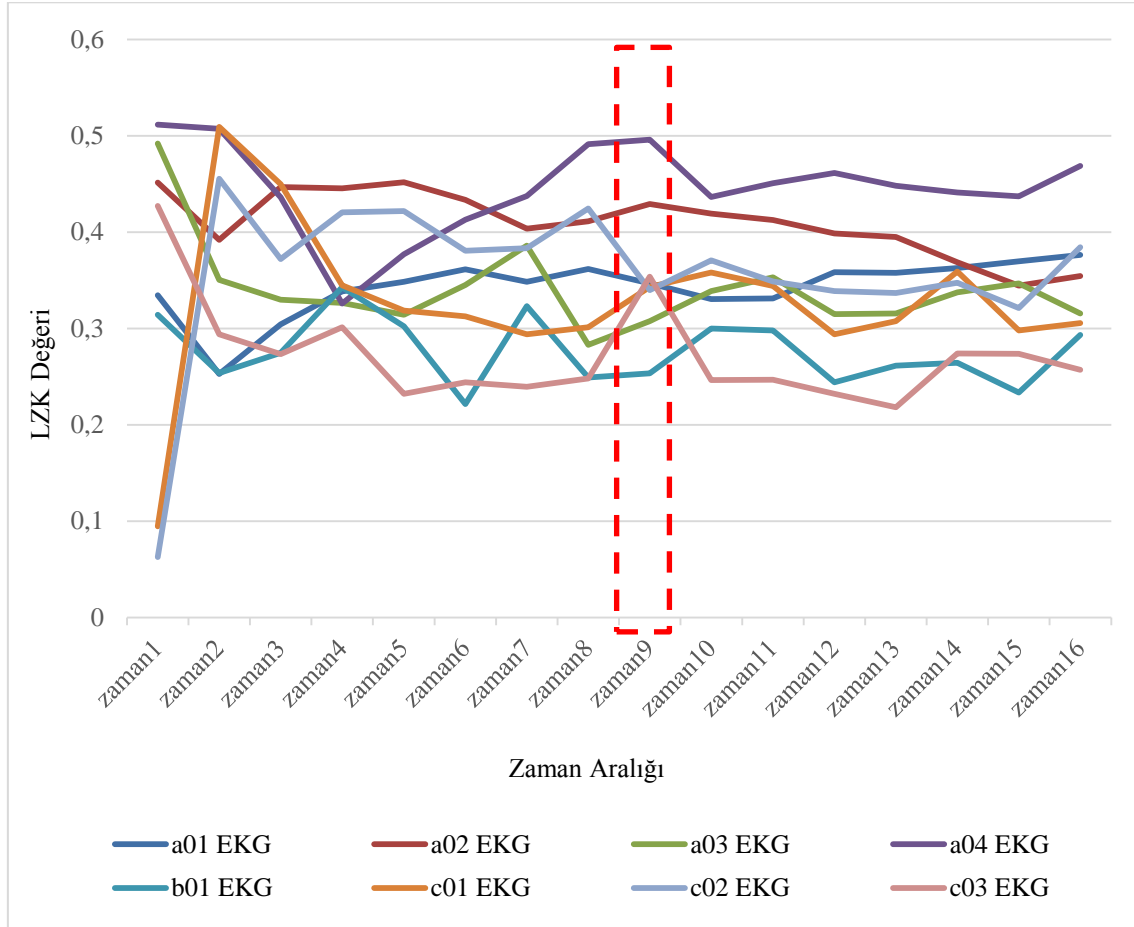
ANOVA analizinde sağlıklı a01, a02, a03, a04, b01 ve hasta c01, c02, c03 verileri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir p değeri elde edildiyse, başka bir ifadeyle p değerinin 0,05'ten küçük olduğu durumlarda analiz grupları arasında anlamlı bir fark olduğu anlamına gelmektedir. Bu, hastanın incelenen süre boyunca apne olduğunu göstermektedir. ANOVA tablolarında, her bir p değeri için sonuç 0,05'ten küçükse beyaz, büyükse mavi renkte gösterilmiştir.

4.1. EKG Bulguları

Tüm EKG verilerine LZK uygulanmıştır. Elde edilen değerler, LZK değerlerinin zaman aralıklarına dikkat edilerek kaydedilmiştir. Hasta ve sağlıklı verilerin her bir zaman aralığı (1 zaman aralığı=10 dakika 37 saniye) için LZC değerlerinin grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafik Şekil 4.1'de verilmiştir.

Hasta ve sağlıklı verilerin her bir zaman aralığı için LZK değerlerinin ortalamaları (ort.) ve standart sapmaları(std.) alınmıştır. Ortalamalarının incelendiği grafik Şekil 4.2'de verilmiştir. Standart sapmalarının incelendiği grafik ise Şekil 4.3'te verilmiştir.

EKG verilerinden elde edilen LZK değerlerine uygulanan ANOVA analizi p değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Oluşturulan tablo ve grafikler detaylıca incelenmiştir.

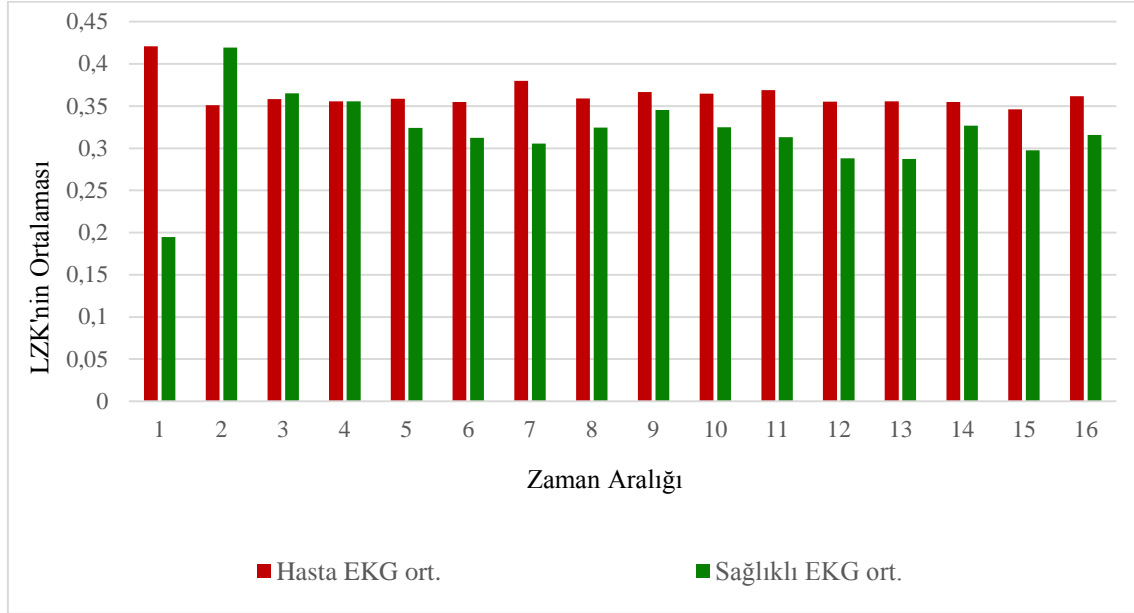


Şekil 4.1. LZK ile EKG verisinden elde edilen değerler grafiği

Şekil 4.1'de zaman 1 incelendiğinde, sağlıklı verilerin LZK değerlerinin genel olarak arttığı, hasta verilerin LZK değerlerinin de genel olarak azaldığından bahsedilebilir. Zaman 2'den zaman 8'e kadarki zaman aralığı incelendiğinde verilerin LZK değerleri arasında çok belirgin artışlar gözlenmemiştir ama kırmızı kesikli çizgilerle işaretlenen zaman 9 incelendiğinde hastalıklı verilerin sağlıklı verilere göre LZK değerlerinde düşüş gözlenmiştir.

Bu zaman aralığında yapılan ANOVA istatistiksel analizinden elde edilen verilere Tablo 4.1'den bakıldığında zaman 9 aralığında hastaların apne geçirdiği gözlemlenmektedir. Şekil 4.1'deki zaman 9'da gözlemlenen hastalıklı verilere ait LZK değerinin azalması hastanın apne geçirmesinden kaynaklanmaktadır.

Ortalamaların incelendiği Şekil 4.2'deki grafikte yatay eksen zaman aralıklarını, dikey eksen ise EKG verilerinden elde edilen LZK değerlerinin ortalama değerlerini ifade etmektedir. Kırmızı sütunlar hastaların EKG ortalaması iken yeşil sütunlar sağlıklı deneklerin EKG ortalamasıdır.



Şekil 4.2. LZK ile EKG verisinden elde edilen ortalama grafik

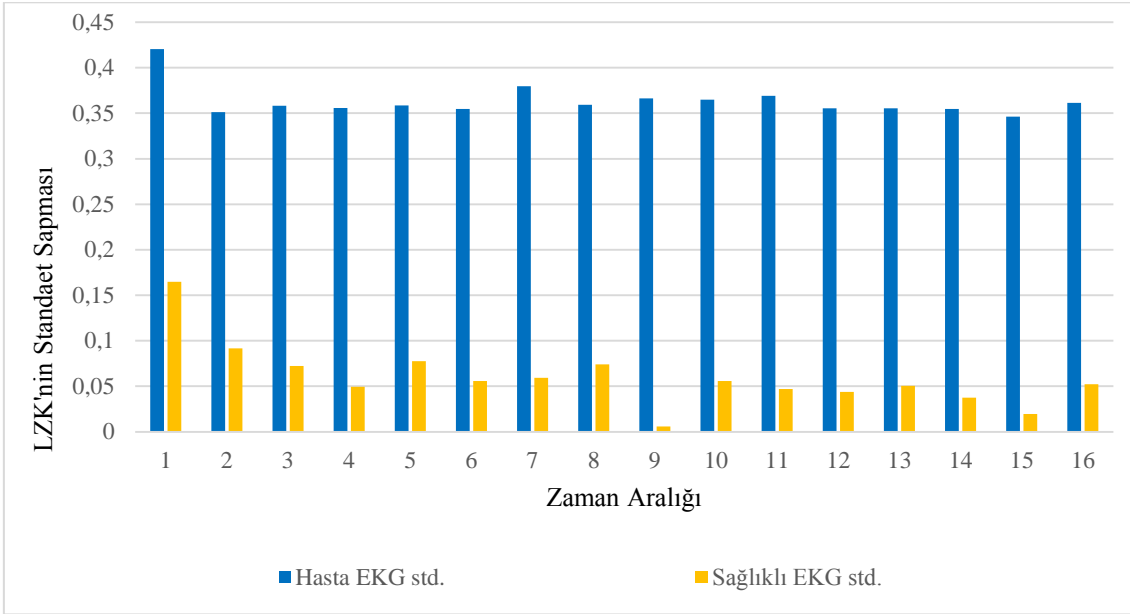
EKG verisi kullanılarak elde edilen ortalamalar incelendiğinde, genel olarak tüm zaman aralıklarında hasta bireyler ile sağlıklı bireyler arasında fark görülmektedir.

Hasta bireylerle yapılan çalışma sonucu elde edilen ortalama değerleri zaman 2 ve zaman 3 dışındaki sağlıklı bireylerle yapılan çalışma sonucu elde edilen ortalama değerinden daha fazladır.

Ortalama değerleri farkının fazla olduğu zaman aralıkları Şekil 4.1'de incelendiğinde, bireylerin LZK değerleri arasında büyük bir fark olduğu görülmektedir. Ortalama değer farkının en az olduğu zaman aralığı zaman 4'tür. Şekil 4.1'e bakıldığında tüm bireylerin zaman 4'teki LZK değerlerinin yakınlığı görülmektedir.

Standart sapmanın incelendiği Şekil 4.3'teki grafikte, dikey eksen EKG verilerinden elde edilen LZK değerlerinin standart sapma değerleri, yatay eksen ise zaman aralıkları verilmiştir.

Mavi sütunlar hastaların EKG standart sapmasını, turuncu sütunlar, sağlıklı deneklerin EKG standart sapmasını göstermektedir.



Şekil 4.3. LKZ ile EKG verisinden elde edilen standart sapma grafiği

EKG verileri kullanılarak elde edilen standart sapmalar incelendiğinde, tüm zaman aralıklarında hasta bireyler ile sağlıklı bireyler arasında fark olduğu görülmektedir. Hasta bireylerle yapılan çalışma sonucunda elde edilen standart sapma değeri, sağlıklı bireylerle yapılan çalışma sonucunda elde edilen standart sapma değerinden daha yüksektir.

Şekil 4.3 incelendiğinde, zaman 9 ve zaman 15'te sağlıklı verilerden elde edilen LKZ değerlerinin standart sapması ile hastalıklı verilerden elde edilen LKZ değerlerinin standart sapması arasında diğer zaman aralıklarına göre daha büyük bir fark görülmektedir.

Zaman 1'de sağlıklı verilerden elde edilen LKZ değerlerinin standart sapması ile hastalıklı verilerden elde edilen LKZ değerlerinin standart sapması arasındaki fark en azdır. Şekil 4.3'teki zaman 9 ve zaman 15 aralıklarındaki gözlemlenebilir farkın nedeni Tablo 4.1'den incelenebilir. Zaman 9 ve zaman 15'teki standart sapmalar arasındaki anlamlı fark, apne aralıklarıyla ilişkilendirilebilir. Böylelikle standart sapma farkının yüksek olması apne değerinin de arttığının göstergesi olarak kabul edilebilir.

EKG için önerilen yöntem % 83,33 duyarlılığa, % 93,75 doğruluğa ve % 94,59 özgüllüğe sahiptir.

Tablo 4.1. EKG verilerden elde edilen LZK değerlerine uygulanan ANOVA analizi p değerleri

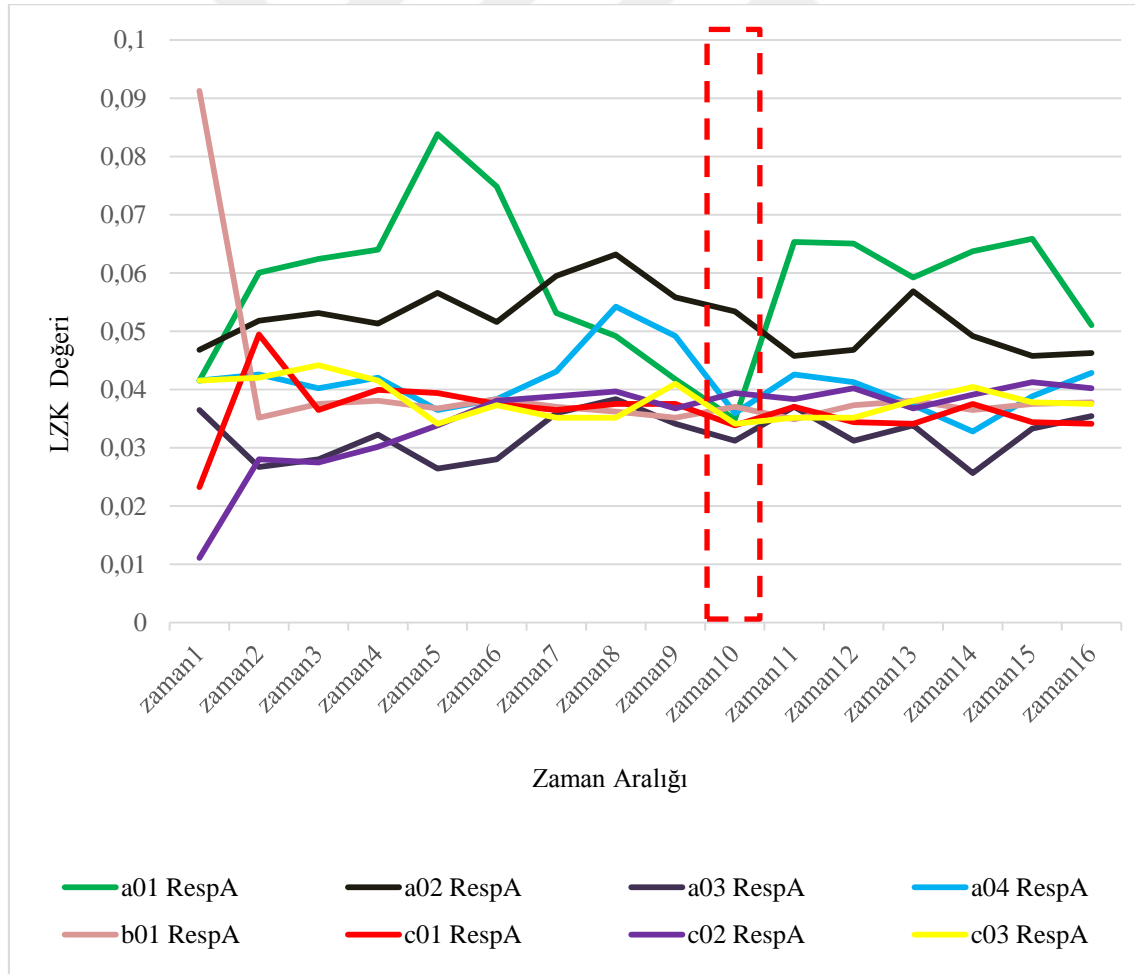
| | a01EKG | a02EKG | a03EKG | a04EKG | b01EKG |
|----------|--------|--------|--------|---------|--------|
| zaman 1 | 0,61 | 0,386 | 0,331 | 0,307 | 0,659 |
| zaman 2 | 0,326 | 0,852 | 0,647 | 0,568 | 0,329 |
| zaman 3 | 0,612 | 0,508 | 0,762 | 0,558 | 0,469 |
| zaman 4 | 0,829 | 0,328 | 0,718 | 0,714 | 0,873 |
| zaman 5 | 0,845 | 0,365 | 0,937 | 0,677 | 0,86 |
| zaman 6 | 0,598 | 0,264 | 0,72 | 0,33 | 0,368 |
| zaman 7 | 0,66 | 0,364 | 0,439 | 0,256 | 0,852 |
| zaman 8 | 0,757 | 0,495 | 0,728 | 0,252 | 0,545 |
| zaman 9 | 0,912 | 0,01 | 0,0463 | 0,00314 | 0,0083 |
| zaman 10 | 0,951 | 0,356 | 0,879 | 0,293 | 0,78 |
| zaman 11 | 0,814 | 0,275 | 0,609 | 0,175 | 0,84 |
| zaman 12 | 0,375 | 0,217 | 0,709 | 0,107 | 0,55 |
| zaman 13 | 0,43 | 0,272 | 0,732 | 0,154 | 0,75 |
| zaman 14 | 0,569 | 0,515 | 0,862 | 0,165 | 0,361 |
| zaman 15 | 0,12 | 0,23 | 0,216 | 0,0367 | 0,145 |
| zaman 16 | 0,499 | 0,652 | 0,997 | 0,175 | 0,79 |

4.2. Respirasyon A Bulguları

Tüm RespA verilerine LZK uygulandı. Elde edilen değerler, LZK değerlerinin zaman aralıklarına dikkat edilerek kaydedilmiştir. Hasta ve sağlıklı verilerin her bir zaman aralığı (1 zaman aralığı=10 dakika 37 saniye) için LZK değerlerinin grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafik Şekil 4.4'te verilmiştir.

Hasta ve sağlıklı verilerin her bir zaman aralığı için LZK değerlerinin ortalamaları (ort.) ve standart sapmaları (std.) alınmıştır.

Ortalamalarının incelendiği grafik Şekil 4.5'te verilmiştir. Standart sapmalarının incelendiği grafik ise Şekil 4.6'da verilmiştir. RespA verilerinden elde edilen LZK değerlerine uygulanan ANOVA analizi p değerleri Tablo 4.2'de görülmektedir. Oluşturulan tablo ve grafikler detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 4.4. LZK ile RespA verisinden elde edilen değerler grafiği

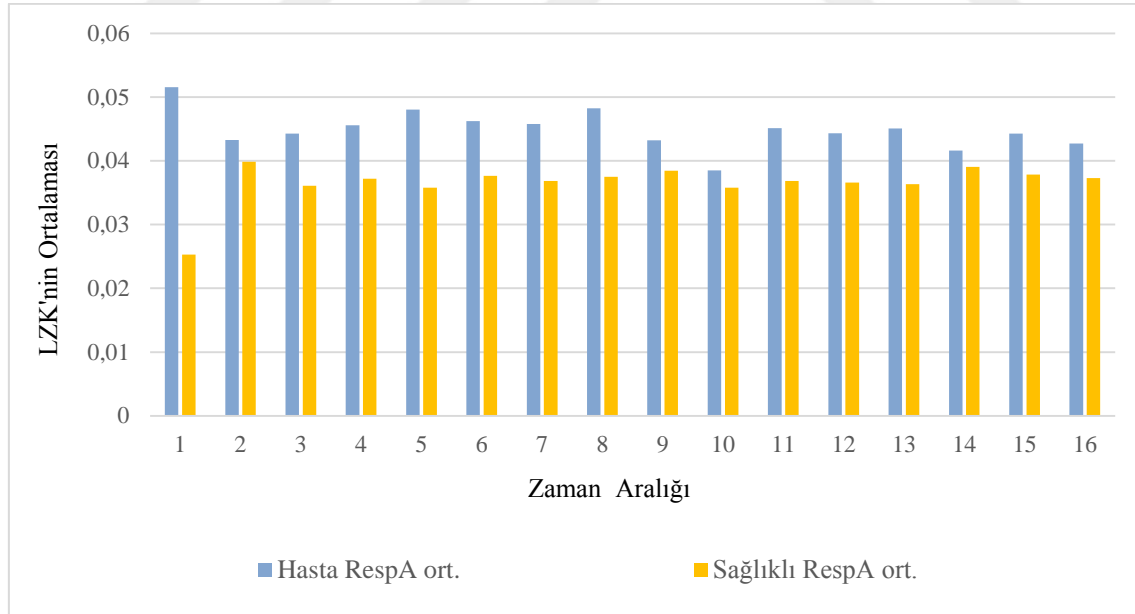
Şekil 4.4'te verilen LZK ile Resp A verisinden elde edilen değerler grafiği incelendiğinde, zaman 1 aralığında tüm sağlıklı verilerin LZK değeri artmıştır.

Zaman 4'ten sonra hasta verilerin LZK değerlerinde belirgin bir değişiklik görülmeye başlanmıştır. Sağlıklı verilerin LZK değerleri tüm zaman dilimlerinde benzerken hastalıklı bireylerin devamlı değişmektedir.

Kırmızı kesikli çizgilerle işaretlenen zaman 10'da, a02 kişisi hariç tüm hastalıklı bireylerin LZK değeri azalmıştır. Bu zaman aralığında yapılan ANOVA istatistiksel analizinden elde edilen verilere Tablo 4.2'den bakıldığında sadece a02 hastasının apne geçirdiği, diğer hastaların apne geçirmediği gözlemlenmektedir.

Ortalamaların incelendiği Şekil 4.5'teki grafikte yatay eksen zaman aralıklarını, dikey eksen ise RespA verilerinden elde edilen LZK değerlerinin ortalama değerlerini ifade etmektedir.

Mavi sütunlar hastaların RespA ortalaması iken sarı sütunlar sağlıklı deneklerin RespA ortalamasıdır.



Şekil 4.5. LZK ile RespA verisinden elde edilen ortalama grafiği

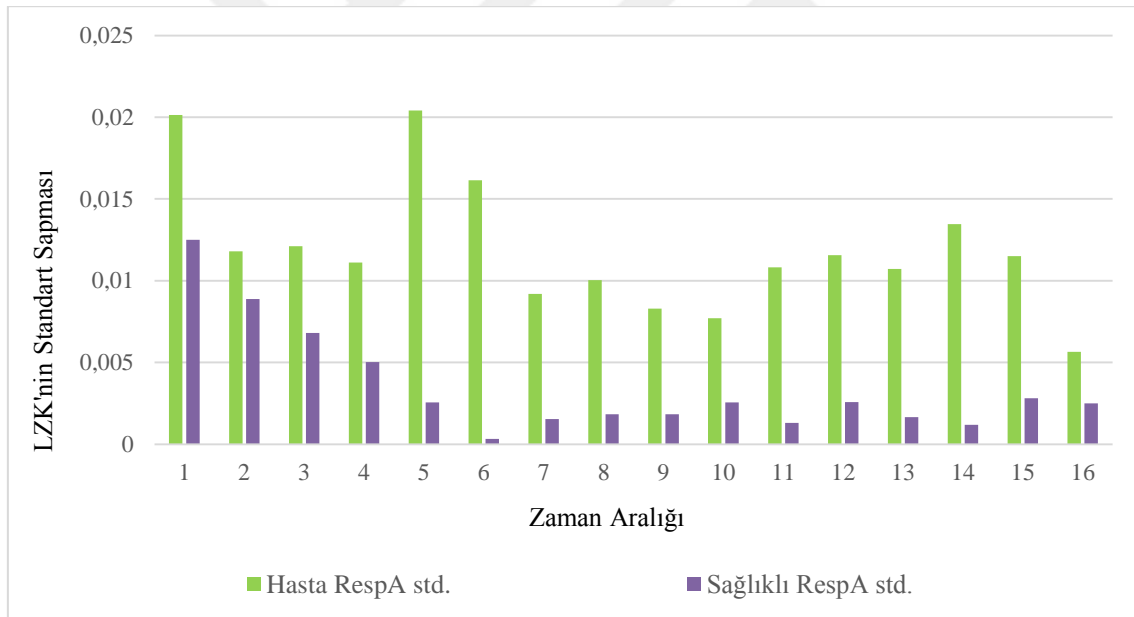
RespA verisi kullanılarak elde edilen ortalamalar Şekil 4.5'te incelendiğinde tüm zaman aralıklarında hasta bireyler ile sağlıklı bireyler arasında fark görülmektedir.

Hasta verilerle yapılan çalışma sonucu elde edilen ortalama değeri, sağlıklı verilerle yapılan çalışma sonucu elde edilen ortalama değerinden daha fazladır.

Ortalama değerlerin farkının fazla olduğu zaman aralıkları Şekil 4.4'te incelendiğinde, bireylerin LZK değerleri arasında büyük bir fark olduğu görülmektedir.

Ortalama değer farkının en az olduğu zaman aralığı zaman 10'dur. Şekil 4.4 incelendiğinde tüm bireylerin zaman 10'daki LZK değerlerinin yakınlığı net bir şekilde görülmektedir.

Standart sapmanın incelendiği Şekil 4.6'daki grafikte, dikey ekseninde RespA verilerinden elde edilen LZK değerlerinin standart sapma değerleri, yatay ekseninde ise zaman aralıkları verilmiştir. Yeşil sütunlar hastaların EKG standart sapmasını, mor sütunlar, sağlıklı deneklerin RespA standart sapmasıdır.



Şekil 4.6. LZK ile RespA verisinden elde edilen standart sapma grafiği

Resp A verileri kullanılarak elde edilen standart sapmalar incelendiğinde tüm zaman aralıklarında hasta bireyler ile sağlıklı bireyler arasında fark olduğu görülmektedir.

Hasta bireylerle yapılan çalışma sonucunda elde edilen standart sapma değeri, sağlıklı bireylerle yapılan çalışma sonucunda elde edilen standart sapma değerinden daha yüksektir.

Zaman 5'ten zaman 16'ya kadar hastaların ve sağlıklı bireylerin standart sapma değerleri arasındaki fark çok daha fazladır. Bu zaman aralıklarının ANOVA istatistiksel analizinden elde edilen p değerleri Tablo 4.2'de ayrıntılı olarak yer almaktadır. Tablo 4.2 incelendiğinde zaman 5'ten zaman 16'ya kadar Resp A için p değerlerinin genellikle 0,05'in altında olduğu görülmektedir. Bu da bireylerin genel olarak uyku apnesi geçirdiği anlamına gelmektedir.

Zaman 1, zaman 2, zaman 3, zaman 4 ve zaman 16'da hasta bireylerle yapılan çalışmadan elde edilen standart sapma değeri ile sağlıklı bireylerle yapılan çalışmadan elde edilen standart sapma değeri arasındaki farkın daha az olduğu görülmektedir.

Tablo 4,2'deki bu zaman dilimlerine ait p değerleri incelendiğinde 0,05'ten büyük olduğu anlaşılmaktadır. Bu da Resp A için zaman 1, zaman 2, zaman 3, zaman 4 ve zaman 16'da hiçbir hastada uyku apnesi olmadığı anlamına gelir. Ek olarak, b01 hastasında hiçbir zaman aralığında apne yoktur.

Resp A için önerilen yöntem % 85,19 duyarlılığa, % 83,75 doğruluğa ve % 80,77 özgüllüğe sahiptir.

Tablo 4.2. RespA datalarından elde edilen LZK değerlerine uygulanan ANOVA analizi p değerleri

| | a01RespA | a02RespA | a03RespA | a04RespA | b01RespA |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| zaman 1 | 0,456 | 0,384 | 0,591 | 0,456 | 0,0649 |
| zaman 2 | 0,249 | 0,441 | 0,406 | 0,848 | 0,746 |
| zaman 3 | 0,112 | 0,218 | 0,492 | 0,709 | 0,891 |
| zaman 4 | 0,0638 | 0,186 | 0,559 | 0,66 | 0,913 |
| zaman 5 | 0,00562 | 0,0289 | 0,123 | 0,863 | 0,814 |
| zaman 6 | 0,000157 | 0,00112 | 0,00235 | 0,27 | 0,27 |

Tablo 4.2. (Devam) RespA datalarından elde edilen LZK değerlerine uygulanan ANOVA analizi *p* değerleri

| | a01RespA | a02RespA | a03RespA | a04RespA | b01RespA |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| zaman 7 | 0,0172 | 0,00902 | 0,723 | 0,102 | 0,943 |
| zaman 8 | 0,0457 | 0,01 | 0,767 | 0,0232 | 0,681 |
| zaman 9 | 0,326 | 0,0216 | 0,238 | 0,0537 | 0,336 |
| zaman 10 | 0,83 | 0,0396 | 0,333 | 0,966 | 0,765 |
| zaman 11 | 0,00415 | 0,0402 | 0,932 | 0,0895 | 0,403 |
| zaman 12 | 0,016 | 0,107 | 0,278 | 0,328 | 0,864 |
| zaman 13 | 0,0102 | 0,0126 | 0,401 | 0,718 | 0,529 |
| zaman 14 | 0,00461 | 0,0264 | 0,0154 | 0,0652 | 0,268 |
| zaman 15 | 0,0195 | 0,184 | 0,375 | 0,815 | 0,953 |
| zaman 16 | 0,0598 | 0,125 | 0,652 | 0,256 | 0,894 |

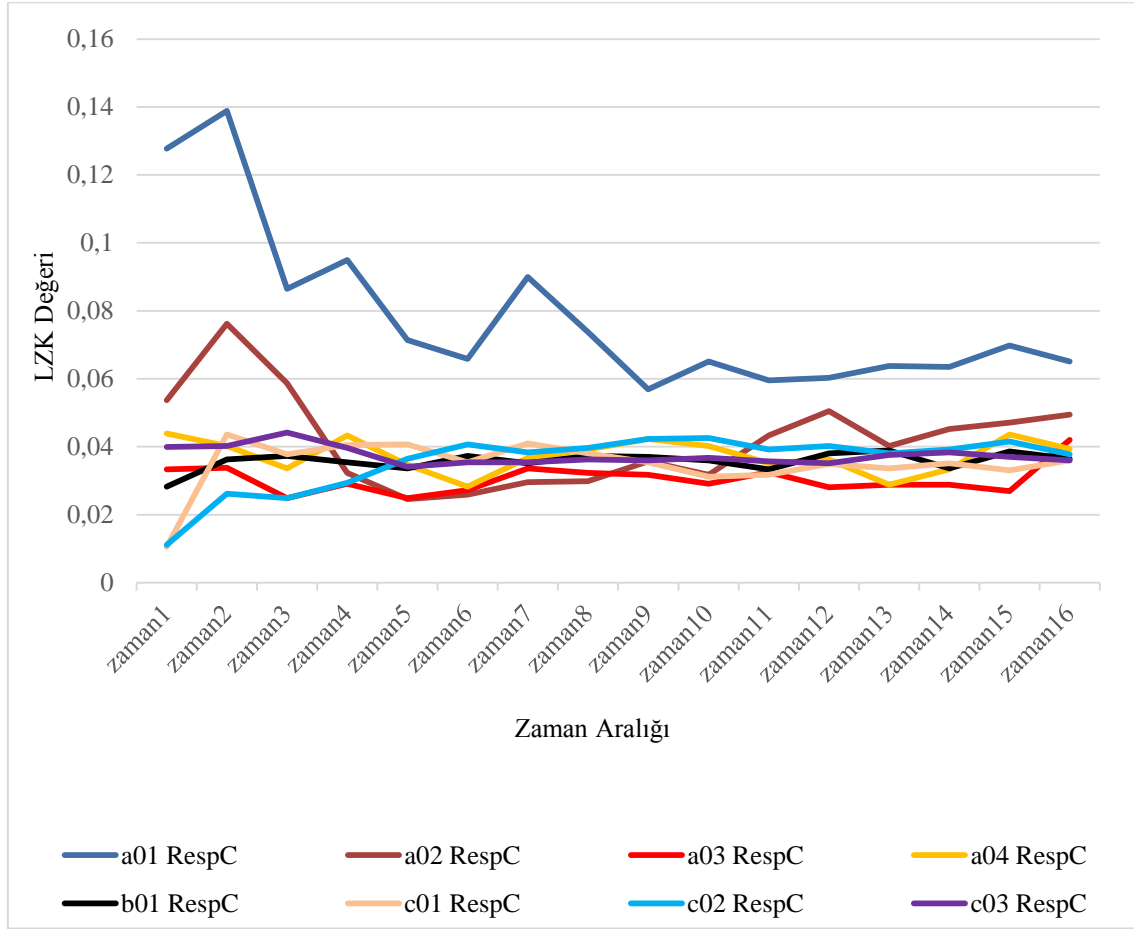
4.3. Respirasyon C Bulguları

Tüm RespC verilerine LZK uygulanmıştır. Elde edilen değerler, LZK değerlerinin zaman aralıklarına dikkat edilerek kaydedilmiştir. Hasta ve sağlıklı verilerin her bir zaman aralığı (1 zaman aralığı=10 dakika 37 saniye) için LZK değerlerinin grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafik Şekil 4.7’de verilmiştir.

Hasta ve sağlıklı verilerin her bir zaman aralığı için LZK değerlerinin ortalamaları (ort.) ve standart sapmaları (std.) alınmıştır.

Ortalamalarının incelendiği grafik Şekil 4.8’de verilmiştir. Standart sapmalarının incelendiği grafik ise Şekil 4.9’da verilmiştir.

RespC verilerinden elde edilen LZK değerlerine uygulanan ANOVA analizi p değerleri Tablo 4.3'te görülmektedir. Oluşturulan tablo ve grafikler detaylıca incelenmiştir.



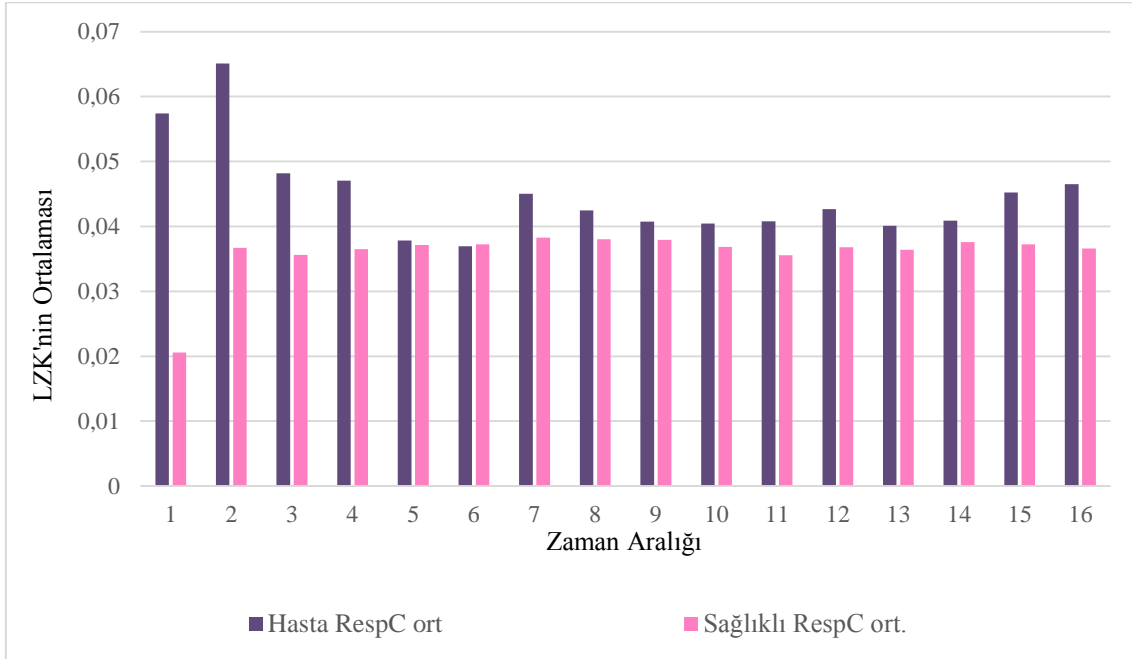
Şekil 4.7. LZK ile RespC verisinden elde edilen değerler grafiği

Şekil 4.7’de a01’in LZK değeri diğer verilerden büyük oranda farklıdır. a01 verisi her zaman aralığında diğer verilerden büyük LZK değerine sahiptir ve zamanla değişim oranı diğer verilere göre daha fazladır.

ANOVA istatistiksel analizinden elde edilen verilere Tablo 4.3’e bakıldığında a01’e ait verinin her zaman aralığında apne geçirdiği gözlemlenmektedir. Şekil 4.7’de a01 verisindeki bu farklılık hastanın apne geçirmesiyle ilişkilendirilebilir.

Ortalamaların incelendiği Şekil 4.8’deki grafikte yatay eksen zaman aralıklarını, dikey eksen ise RespC verilerinden elde edilen LZK değerlerinin ortalama değerlerini ifade etmektedir.

Mor sütunlar hastaların RespC ortalaması iken pembe sütunlar sağlıklı deneklerin RespC ortalamasıdır.



Şekil 4.8. LZK ile EKG verisinden elde edilen ortalama grafiği

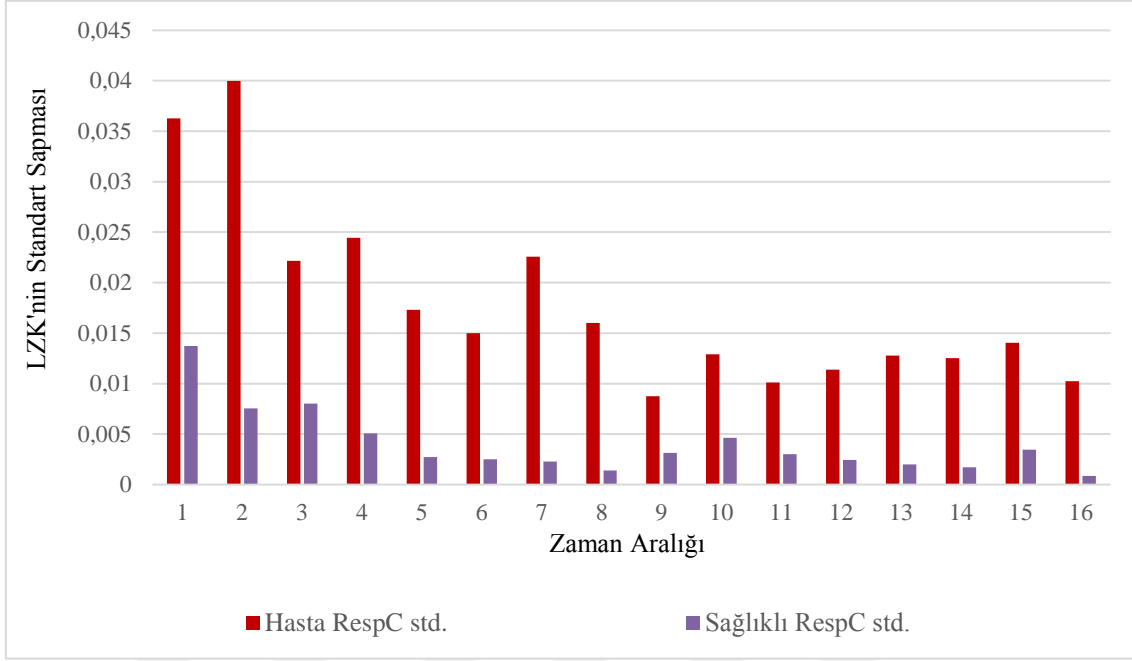
RespC verisi kullanılarak elde edilen ortalamalar Şekil 4.8’de incelendiğinde, tüm zaman aralıklarında hasta bireyler ile sağlıklı bireyler arasında fark görülmektedir. Hasta bireylerle yapılan çalışma sonucu elde edilen ortalama değeri, sağlıklı bireylerle yapılan çalışma sonucu elde edilen ortalama değerinden daha fazladır.

Ortalama değerleri farkının fazla olduğu zaman 1 aralığı Şekil 4.7’de incelendiğinde, bireyin LZK değerleri arasında büyük bir fark olduğu görülmektedir.

Ortalama değer farkının en az olduğu zaman aralığı zaman 5 ve zaman 6’dır. Şekil 4.7’ye bakıldığında bireylerin zaman 5 ve zaman 6’daki LZK değerlerinin yakınlığı net bir şekilde görülmektedir.

Standart sapmanın incelendiği Şekil 4.9’daki grafikte, dikey ekseninde RespC verilerinden elde edilen LZK değerlerinin standart sapma değerleri, yatay ekseninde ise zaman aralıkları verilmiştir.

Kırmızı sütunlar hastaların RespC standart sapmasını, mor sütunlar, sağlıklı deneklerin RespC standart sapmasını göstermektedir.



Şekil 4.9. LZK ile RespC verisinden elde edilen standart sapma grafiği

Resp C verileri kullanılarak elde edilen standart sapmalar incelendiğinde tüm zaman aralıklarında hasta bireyler ile sağlıklı bireyler arasında fark olduğu görülmektedir.

Hasta bireylerle yapılan çalışma sonucunda elde edilen standart sapma değeri, sağlıklı bireylerle yapılan çalışma sonucunda elde edilen standart sapma değerinden daha yüksektir.

Zaman 4'ten zaman 8'e ve zaman 14'te hem hastaların hem de sağlıklı bireylerin standart sapma değerleri arasındaki fark çok daha yüksektir.

Bu zaman aralıklarının ANOVA istatistiksel analizinden elde edilen p değerleri detaylı olarak Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3 incelendiğinde Resp C için zaman 4 ile zaman 8 arası olan zaman 6'da uyku apnesi olduğu görülmektedir.

Ayrıca a01 hastasında tüm zaman aralıklarında apne olduğu görülmektedir. Hasta a03'ün zaman 14'te de apnesi olduğu ve hasta b01'in tüm zaman aralıklarında apnesi olmadığı görülmektedir.

Resp C için önerilen yöntem % 90,91 duyarlılığa, % 91,25 doğruluğa ve % 91,38 özgüllüğe sahiptir.

Tablo 4.3. RespC verilerinden elde edilen LZK değerlerine uygulanan ANOVA analizi p değerleri

| | a01RespC | a02RespC | a03RespC | a04RespC | b01RespC |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| zaman 1 | 0,0285 | 0,25 | 0,694 | 0,403 | 0,881 |
| zaman 2 | 0,0157 | 0,102 | 0,68 | 0,98 | 0,801 |
| zaman 3 | 0,0346 | 0,143 | 0,365 | 0,822 | 0,91 |
| zaman 4 | 0,0148 | 0,559 | 0,372 | 0,477 | 0,827 |
| zaman 5 | 0,0102 | 0,0905 | 0,0943 | 0,781 | 0,604 |
| zaman 6 | 0,000273 | 0,00158 | 0,002 | 0,00248 | 0,529 |
| zaman 7 | 0,00166 | 0,0793 | 0,271 | 0,971 | 0,52 |
| zaman 8 | 0,00507 | 0,1 | 0,183 | 0,585 | 0,952 |
| zaman 9 | 0,0193 | 0,403 | 0,123 | 0,274 | 0,642 |
| zaman 10 | 0,0149 | 0,379 | 0,205 | 0,347 | 0,966 |
| zaman 11 | 0,00654 | 0,0712 | 0,144 | 0,459 | 0,195 |
| zaman 12 | 0,0228 | 0,0621 | 0,143 | 0,932 | 0,721 |
| zaman 13 | 0,00716 | 0,238 | 0,0848 | 0,0848 | 0,387 |
| zaman 14 | 0,00471 | 0,0669 | 0,026 | 0,0764 | 0,0831 |
| zaman 15 | 0,015 | 0,145 | 0,112 | 0,28 | 0,86 |
| zaman 16 | 0,0157 | 0,0746 | 0,309 | 0,609 | 0,843 |

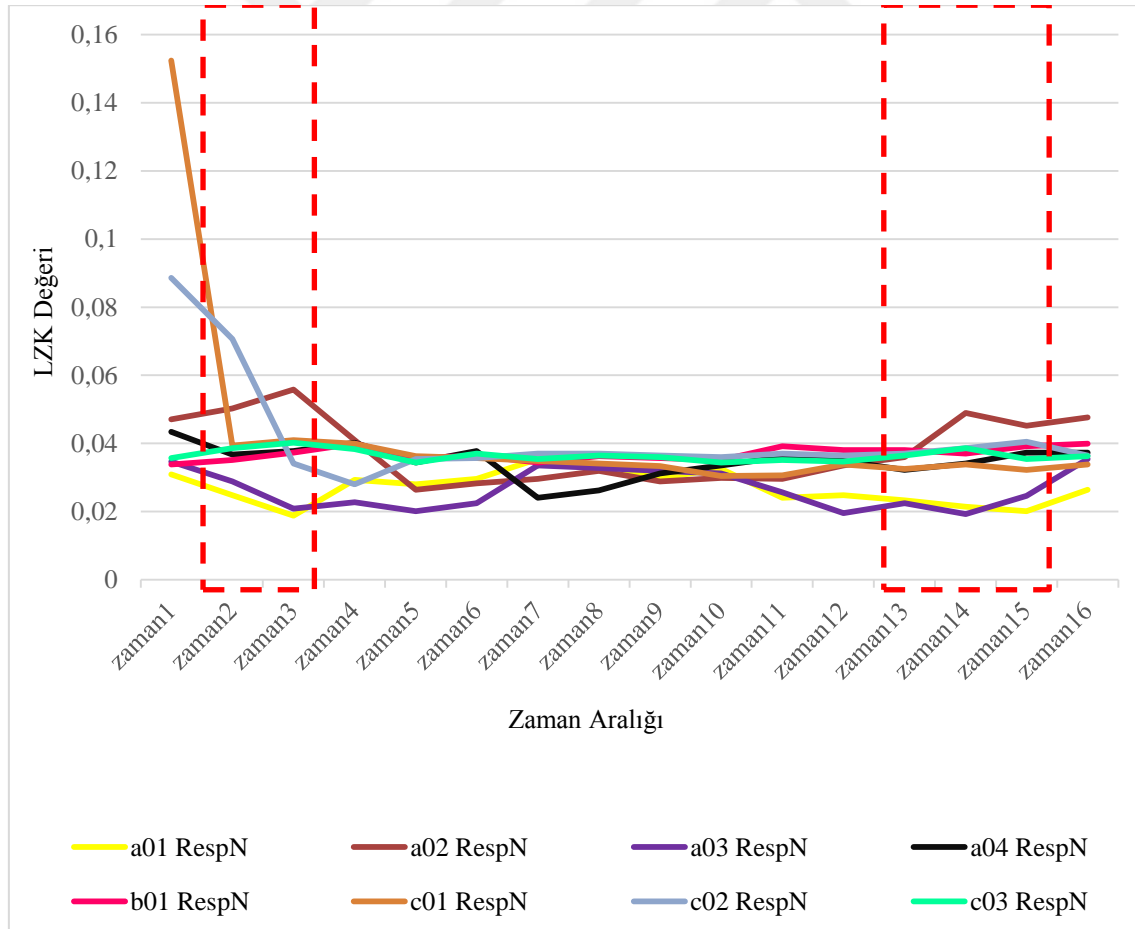
4.4. Respirasyon N Bulguları

Tüm RespN verilerine LZK uygulanmıştır. Elde edilen değerler, LZK değerlerinin zaman aralıklarına dikkat edilerek kaydedilmiştir. Hasta ve sağlıklı verilerin her bir zaman aralığı (1 zaman aralığı=10 dakika 37 saniye) için LZK değerlerinin grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafik Şekil 4.10'da verilmiştir.

Hasta ve sağlıklı verilerin her bir zaman aralığı için LZK değerlerinin ortalamaları (ort.) ve standart sapmaları(std.) alınmıştır.

Ortalamalarının incelendiği grafik Şekil 4.11'de görülmektedir. Standart sapmalarının incelendiği grafik ise Şekil 4.12'de sunulmuştur.

RespN verilerinden elde edilen LZK değerlerine uygulanan ANOVA analizi p değerleri Tablo 4.4'de verilmiştir. Oluşturulan tablo ve grafikler detaylı olarak incelenmiştir.



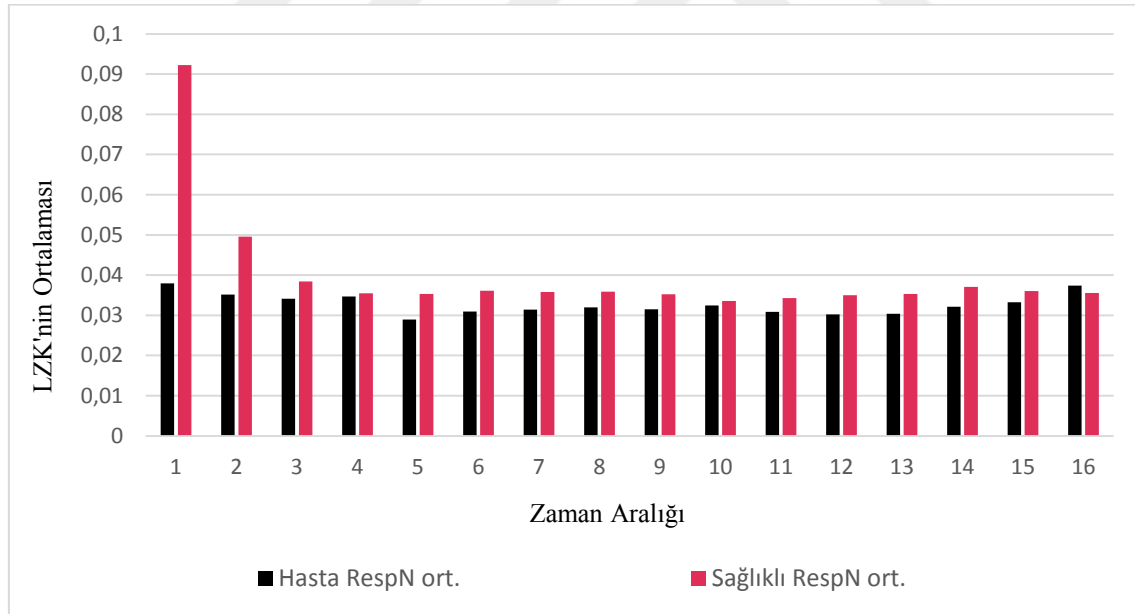
Şekil 4.10. LZK ile RespN verisinden elde edilen değerler grafiği

Şekil 4.10 incelendiğinde kırmızı kesikli çizgilerle işaretlenen zaman 2 ile zaman 3 arasında ve kırmızı kesikli çizgilerle işaretlenen zaman 12 ile zaman 16 arasındaki LZK değerlerinde farklılık gözlemlenmektedir.

Tablo 4.4'te zaman 2 ile zaman 3 arasında ve zaman 12 ile zaman 16 arasında ANOVA istatistiksel analiz sonucu elde edilen değerlere bakıldığında zaman 12 ile zaman 16 arasında uyku apnesi yaşandığı, ancak zaman 3 arasında ve zaman 12 arasında yaşanmadığı görülmektedir. Bu inceleme sonucunda Resp N'den alınan solunum sinyalleri apne teşhisi için doğru bir veri olmayabilir.

Ortalamaların incelendiği Şekil 4.11'deki grafikte yatay eksen zaman aralıklarını, dikey eksen ise RespN verilerinden elde edilen LZK değerlerinin ortalama değerlerini ifade etmektedir.

Siyah sütunlar hastaların RespN ortalaması iken pembe sütunlar sağlıklı deneklerin RespN ortalamasıdır.

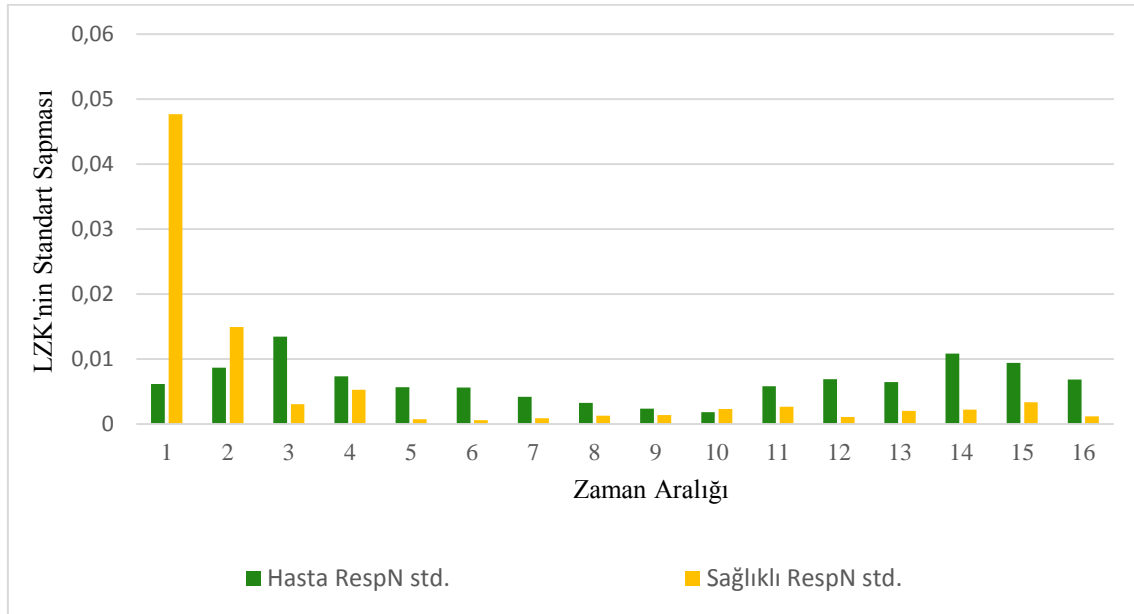


Şekil 4.11. LZK ile RespN verilerinden elde edilen ortalama grafiği

Resp N verisi kullanılarak elde edilen ortalamalar Şekil 4.11'de incelendiğinde, tüm zaman aralıklarında hasta bireyler ile sağlıklı bireyler arasında fark görülmektedir. Hasta bireylerle yapılan çalışma sonucu elde edilen ortalama değeri, sağlıklı bireylerle yapılan çalışma sonucu elde edilen ortalama değerinden daha azdır.

Ortalama değerleri farkının fazla olduğu zaman 1 Şekil 4.10'da incelendiğinde, bireylerin LZK değerleri arasında büyük bir fark olduğu görülmektedir. Ortalama değer farkının en az olduğu zaman 1 dışındaki aralıklardır. Şekil 4.10'a bakıldığında tüm bireylerin zaman 1 dışındaki aralıklarda LZK değerlerinin yakınlığı net bir şekilde görülmektedir.

Standart sapmanın incelendiği Şekil 4.12'deki grafikte, dikey ekseninde RespN verilerinden elde edilen LZK değerlerinin standart sapma değerleri, yatay ekseninde ise zaman aralıkları verilmiştir. Yeşil sütunlar hastaların RespN standart sapmasını, sarı sütunlar, sağlıklı deneklerin RespN standart sapmasını göstermektedir.



Şekil 4.12. LZK ile RespN verisinden elde edilen standart sapma grafiği

Resp N verisi kullanılarak elde edilen standart sapmalar incelendiğinde, tüm zaman aralıklarında hasta bireyler ile sağlıklı bireyler arasında fark görülmektedir.

Zaman 1'de hasta ve sağlıklı bireylerin standart sapma değerleri farkı diğer zaman aralıklarındaki farktan çok daha fazladır. Zaman 1 aralığı ANOVA istatistiksel analizden elde edilen *p* değerleri Tablo 4.4'te detaylıca yer almaktadır. Tablo 4.4 incelendiğinde Resp N için beklenenin aksine zaman 1'de bireylerin uyku apnesi geçirmediği görülmektedir. Zaman 1 dışındaki zaman aralıklarında, hasta bireylerle yapılan çalışma sonucu elde edilen standart sapma değerinin, sağlıklı bireylerle yapılan çalışma sonucu elde edilen standart sapma değeriyle farkının daha az olduğu gözlemlenmektedir.

Bu zaman dilimlerinin Tablo 4.4'ten p değerleri incelendiğinde 0,05'ten büyük olduğu görülmektedir. Bu durum Resp N için zaman 1 dışındaki zaman aralıklarında hastanın uyku apnesi geçirmediği anlamına gelmektedir.

Tablo 4.4 incelendiğinde zaman 6, zaman 11, zaman 13, zaman 14, zaman 15'te apne geçirildiği gözükmektedir.

Resp N için önerilen yöntem % 10 duyarlılığa, % 53,13 doğruluğa ve % 72,73 özgüllüğe sahiptir.

Tablo 4.4. RespN verilerinden elde edilen LZK değerlerine uygulanan ANOVA analizi p değerleri

| | a01RespN | a02RespN | a03RespN | a04RespN | b01RespN |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| zaman 1 | 0,78 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |
| zaman 2 | 0,355 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |
| zaman 3 | 0,215 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |
| zaman 4 | 0,385 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |
| zaman 5 | 0,165 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |
| zaman 6 | 0,00336 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |
| zaman 7 | 0,582 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |
| zaman 8 | 0,198 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |
| zaman 9 | 0,0812 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |
| zaman 10 | 0,462 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |
| zaman 11 | 0,0201 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |
| zaman 12 | 0,0845 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |

Tablo 4.4.(Devam) RespN verilerinden elde edilen LZK değerlerine uygulanan ANOVA analizi *p* değerleri

| | a01RespN | a02RespN | a03RespN | a04RespN | b01RespN |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| zaman 13 | 0,0305 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |
| zaman 14 | 0,00898 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |
| zaman 15 | 0,0467 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |
| zaman 16 | 0,0913 | 0,272 | 0,272 | 0,272 | 0,272 |

5. TARTIŞMA

Uyku apnesi ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Literatürde solunum parametresine göre uyku apnesinin tespiti (Várady ve diğ., 2002), uyku sesi kayıt analizi (Kang ve diğ., 2017), kalp sesi analizi (Yıldız, 2017), nazal basınç sinyali (Sériès, 1999), EEG sinyali (Sezgin ve Tagluk, 2011), SPO2 sinyali (Almazayde ve diğ., 2012), EKG sinyali (Quiceno-Manrique ve diğ.,2009) özelliklerine göre çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların temel amacı uyku apnesinin tanı ve tedavisini iyileştirmektir.

EKG verileri ile uyku apnesi için yapılan çalışmalar incelendiğinde, genellikle makine öğrenmesi yöntemi kullanılarak hastalık tespiti üzerine çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmektedir.

EKG kaydı ile otomatik ölçüm yapan giysi tasarımı (Surrel ve diğ., 2018), makine öğrenmesine dayalı yeni algoritma çalışması (Lin ve diğ., 2022), derin öğrenme ve makine öğrenmesinin birlikte kullanıldığı uyku apnesi tespit çalışması (Sheta ve diğ., 2021), k-en yakın komşu sınıflandırmasını kullanarak obstrüktif uyku apnesi tespiti (Sani, 2021), tek derivasyonlu EKG sinyalinden dalgacık dönüşümü ve entropi tabanlı özellikler kullanılarak obstrüktif uyku apne tespiti (Zarei ve Asl, 2019), obstrüktif uyku apneli hastalarda EKG ve hibrit makine öğrenimi modeli ile anormal solunum olaylarının tespiti (Bozkurt ve diğ., 2020), tek derivasyonlu EKG sinyali ile derin sinir ağına ve gizli Markov modeline dayalı uyku apnesi teşhisi (Li ve diğ., 2018) çalışmalardan bazılarıdır.

Solunum verileri ile uyku apnesi için yapılan çalışmalar incelendiğinde burun tıkanıklığı olmayan hastalarda obstrüktif uyku apnesi ve ağızdan solunum (Koutsourelakis ve diğ., 2006), iyileştirilmiş burun solunumunun obstrüktif uyku apnesi üzerindeki etkisi (Friedman ve diğ., 2000), Hilbert-Huang dönüşümü ile abdominal solunum sinyalinden uyku apnesinin otomatik saptanması (Lv ve diğ., 2020) literatür çalışmalarından bazılarıdır.

Lempel-Ziv karmaşıklığının (LZK), çeşitli biyomedikal uygulamalarda karmaşıklığın güçlü bir ölçüsü olduğu kanıtlanmıştır (Rivolta ve diğ., 2014).

Lempel-Ziv karmaşıklığı ve merkezi eğilim ölçüsü ile alzeyimr hastalarında EEG arka plan aktivitesinin analizi (Abásolo ve diğ., 2006), şizofrenide Lempel-Ziv karmaşıklığı uygulanması (Fernández ve diğ., 2011), Lempel-Ziv karmaşıklığının nöral deşarjların analizine uygulanması (Szczeplanski ve diğ., 2003), LZK ile EEG'den rüya analizi (Aamodt ve diğ., 2023) gibi çalışmalar ile uygulanabilir bir yöntem olduğu literatür araştırmalarından elde edilmiştir.

LZK'nin uykuda solunum bozukluklarının sınıflandırılmasında (Pregowska ve diğ., 2019), EEG verilerinden uyku apnesinin teşhisinde (Taran ve diğ., 2021) ve EKG sinyal kalitesinin değerlendirilmesinde (Zhang ve diğ., 2016), yaklaşık entropi, merkezi eğilim ölçüsü ve LZK ile gece kan oksijen doygunluğunun küme analizi ile sınıflandırılması ile uyku apnesi tespiti (Alvarez ve diğ., 2007) ise LZK ile uyku apnesi çalışmalarından bazılarıdır.

Çalışmaların bir kısmı ölçüm sırasında hastayı rahatsız edebilecek elektrik bağlantıları ve aparatlar içermektedir. Uzun süreli ölçüm süreçleri de hasta üzerinde olumsuz etkilere neden olur (Zhuang ve diğ., 2022). Tüm bu parametreler göz önüne alındığında hastadan doğru ölçümler almak zorlaşmaktadır. Daha az zaman ve daha az veri ile hastadan sağlıklı ölçümlerin yapılabilirdiği bir sisteme ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada bahsedilen ihtiyaç doğrultusunda literatürde yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak EKG ve solunum sinyallerine LZK yöntemi uygulanarak uyku apne analizi yapılmaya çalışılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda EKG, Resp A ve Resp C'nin uyku apnesi analizi için kullanılabilirdiği, ancak Resp N sinyallerinin analiz için kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır. Resp N, burundan alınan solunumu ifade etmektedir.

Uyku apnesi sırasında horlamayla birlikte burundan nefes alınamadığı için elde edilen Resp N değerlerinden sağlıklı sonuçlar elde edilememiştir. Bu nedenle respirasyon sinyalleri arasında farklılıklar gözlenmiştir.

Literatürdeki son zamanlara ait yapılan çalışmalardan bazıları tek kanallı bir EKG kaydı kullanarak 1'er dakikalık aralıklarla otomatik ölçüm yapan elektronik devre tasarımı (Surrel ve diğ., 2018), EKG sinyali ile uyku apnesi saptamak için tek boyutlu CNN

modeli önerisiyle uyku apnesi tespit çalışması (Misra ve diğ., 2022), fizyolojik sinyallerde solunum parametrelerine dayalı otomatik obstrüktif uyku apnesi tespittir (Yan ve diğ., 2022).

Bu çalışmalarda kullanılan kişi sayısı sırayla 32, 35 ve 989'dur. Bu kişilerin çalışmada kullanılan uyku süreleri ise sırasıyla 480 dk, 600 dk ve 370 dk'dır.

Önerilen yöntemle yapılan çalışmada kullanılan kişi sayısı 8'dir ve uyku süresi ise 166 dk'dır. Yapılan analizde literatürdeki çalışmalardan farklı olarak daha az kişiye ait veri kullanılmıştır.

Aynı zamanda bu kullanılan kişilerin uyku verilerinin dakika olarak süresi de literatürdeki çalışmalardan daha kısadır. Uyku apnesiyle ilgili yakın tarihte yapılan bazı çalışmalarla, bu tezde kullanılan kişi sayısı ve kişilerin dakika olarak uyku süresi Tablo 5.1'de verilmektedir.

Tablo 5.1. Literatürde uyku apnesiyle ilgili bazı çalışmalarda ve bu tezde önerilen yöntemle yapılan çalışmada kullanılan kişi sayısı ve uyku süresi

| Literatürdeki bazı çalışmalar | Uyku süresi (dk) | Çalışmadaki kişi sayısı |
|-------------------------------|------------------|-------------------------|
| Yan ve diğ., 2022 | 370 | 989 |
| Misra ve diğ., 2022 | 600 | 35 |
| Surrel ve diğ., 2018 | 480 | 32 |
| Önerilen yöntemle yapılan | 166 | 8 |

Bu çalışma kapsamında EKG verileri için önerilen yöntem % 83,33 duyarlılığa, % 93,75 doğruluğa ve % 94,59 özgüllüğe sahiptir. Resp A verileri için % 85,19 duyarlılığa, % 83,75 doğruluğa ve % 80,77 özgüllüğe sahiptir. Resp C verileri için % 90,91 duyarlılığa, % 91,25 doğruluğa ve % 91,38 özgüllüğe sahiptir.

Genel olarak EKG, Resp A ve Resp C verilerin duyarlılık, doğruluk ve özgüllük ortalamaları alındığında % 89,58 doğruluk, % 88,91 özgüllük ve % 86,47 duyarlılık elde edilmiştir. Elde edilen değerler Tablo 5.2'de detaylıca verilmiştir.

Tablo 5.2. Önerilen yöntemle yapılan çalışmadan elde edilen performans değerleri

| Elde Edilen Sonuçlar | Doğruluk | Özgüllük | Duyarlılık |
|----------------------|----------|----------|------------|
| EKG | % 93,75 | % 94,59 | % 83,33 |
| RESP A | % 83,75 | % 80,77 | % 85,19 |
| RESP C | % 91,25 | %91,38 | % 90,91 |
| ORTALAMA | % 89,58 | % 88,91 | % 86,47 |

Tablo 5.2 incelendiğinde EKG için doğruluk ve özgüllük değerlerinin diğer verilerden daha yüksek olduğu ama duyarlılık oranının diğer verilerin duyarlılık değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

Resp A için doğruluk ve özgüllük değerlerinin diğer verilerin değerlerinden düşük olduğu ama duyarlılığının EKG'nin duyarlılık değerinden yüksek olduğu görülmektedir. Resp C için duyarlılık değerinin diğer verilerin duyarlılık değerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Surrel ve arkadaşlarının yaptığı çalışma incelendiğinde %88,2 doğruluk, %80,0 duyarlılık ve %93,9 özgüllüğe sahiptir (Surrel ve diğ., 2018). Misra ve arkadaşlarının yaptığı çalışma incelendiğinde doğruluğu %93,01, özgüllüğü %93,10 ve duyarlılığı %92,93'tür (Misra ve diğ., 2022). Yan ve arkadaşlarının yaptığı çalışma incelendiğinde %86,42 doğruluk, %83,82 duyarlılık ve %91,9 özgüllüğe sahiptir (Yan ve diğ., 2022). Önerilen yöntem ile literatürdeki çalışmaların doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerleri Tablo 5.3'te detaylıca verilmiştir.

Tablo 5.1 ve Tablo 5.3 incelendiğinde doğruluk, özgüllük ve duyarlılık değerlerinin birbirlerine yakın olduğu ama kişi ve uyku süresi farkının çok olduğu görülmektedir.

Bu Tablolardan yararlanarak daha az kişi ve daha az uyku zamanı verisiyle uyku apnesi analizi için başarılı bir çalışma gerçekleştirildiği söylenebilir.

Literatür araştırmalarından uyku apnesi geçiren kişilerin genellikle NREM 3 ve REM uykularında apne geçirdikleri yer almaktadır (Basunia ve diğ., 2016).

Bu çalışmada bireylerin apne geçirmiş olduğu zaman aralıklarına bakıldığında genel olarak REM uyku evresinde ve NREM 3uyku evresinde apne geçirdikleri görülmektedir

Tablo 5.3. Literatürde uyku apnesiyle ilgili bazı çalışmaların ve bu tezdeki çalışmanın doğruluk, özgüllük ve duyarlılık değerleri

| Literatürdeki bazı çalışmalar | Doğruluk | Özgüllük | Duyarlılık |
|---|----------|----------|------------|
| Yan ve diğ., 2022 | %86,42 | 91,9 | %83,82 |
| Misra ve diğ., 2022 | %93,01 | %93,10 | %92,93 |
| Surrel ve diğ., 2018 | %82 | %93,9 | %80 |
| Bu çalışmadaki EKG, Resp C ve Resp A ortalaması | % 89,58 | % 88,91 | % 86,47 |

Bu önerilen yöntem kullanılarak veri kalabalığı engellenebilir, hastalığın teşhis süreci hızlandırılabilir, hastayı fizyolojik ve psikolojik olarak yormadan ölçümler alınabilir. Alanda yapılan çalışmaların süreçlerini iyileştirebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, hasta ve sağlıklı kişilerden elde edilen EKG, Resp A, Resp C, Resp N verilerine Lempel-Ziv komplekslik metodu uygulanmıştır. LZK metodundan elde edilen değerlere ANOVA istatistik analizi uygulandıktan sonra EKG, Resp A, Resp C ve Resp N verilerinden uyku apnesi analizinin yapılması amaçlanmıştır.

ANOVA kullanılarak varılan sonuç incelendiğinde EKG, Resp A ve Resp C verilerinden Lempel-Ziv komplekslik metoduyla özellikle yüksek sayıda apnesi olan hastalarda daha fazla zaman aralığında uyku apne analizi yapılabilmektedir. Fakat Resp N verilerinden Lempel-Ziv komplekslik metoduyla uyku apnesi analizi gerçekleştirilememiştir. Derin uykunun özellikle uykunun ilk zaman aralıklarında daha yoğun olduğu ve LZK değerlerinde azalma olduğu bulunmuştur. Bu durum kişinin apne geçirdiği anlamına gelmektedir. Çalışmanın amacı EKG, Resp A ve Resp C verileri için gerçekleştirilmiş ama Resp N verileri için gerçekleştirilememiştir.

Resp N verilerinden de apne analizi yapılabilmesi için daha farklı metotlar uygulanabilir. Permütasyon entropi veya permütasyon Lempel-Ziv komplekslik metodu ile Resp N verilerinin uygun olup olmadığı araştırılabilir. Daha detaylı inceleme yapmak için aynı metotlar kullanılarak hastanın SPO2 verileri de incelenebilir.

Bu çalışma ile uyku apnesi teşhisinin kısa sürede ve az veriyle tespit edilmesine yönelik literatüre katkı sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Aamodt, A., Sevenius Nilsen, A., Markhus, R., Kusztor, A., HasanzadehMoghadam, F., Kauppi, N., ... & Juel, B. E. (2023). EEG Lempel-Ziv complexity varies with sleep stage, but does not seem to track dream experience. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16, 987714.
- Abásolo, D., Hornero, R., Gómez, C., García, M., & López, M. (2006). Analysis of EEG background activity in Alzheimer's disease patients with Lempel–Ziv complexity and central tendency measure. *Medical engineering & physics*, 28(4), 315-322.
- Aboy, M., Hornero, R., Abásolo, D., & Álvarez, D. (2006). Interpretation of the Lempel-Ziv complexity measure in the context of biomedical signal analysis. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 53(11), 2282-2288.
- Akar, S. A., Kara, S., Agambayev, S., & Bilgiç, V. (2015). Major Depresyonlu Hastaların EEG Sinyallerinin Kaotik Özniteliklerle İncelenmesi. *Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi*. Muğla.
- Almazaydeh, L., Faezipour, M., & Elleithy, K. (2012). A neural network system for detection of obstructive sleep apnea through SpO2 signal features. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 3(5).
- Almazaydeh, L., Faezipour, M., & Elleithy, K. (2012). A neural network system for detection of obstructive sleep apnea through SpO2 signal features. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 3(5), 7-11.
- Alvarez, D., Hornero, R., Marcos, J. V., Campo, F. d., Lopez, M. (2007). Obstructive Sleep Apnea Detection Using Clustering Classification of Nonlinear Features from Nocturnal Oximetry. *29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, (s. 1937-1940). Lyon, Fransa.
- Basunia, M., Fahmy, S. A., Schmidt, F., Agu, C., Bhattarai, B., Oke, V., ... & Quist, J. (2016). Relationship of symptoms with sleep-stage abnormalities in obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome. *Journal of community hospital internal medicine perspectives*, 6(4), 32170.
- Bayram, N. A., Çiftçi, B., Güven, S. F., Bayram, H., & Diker, E. (2007). Obstrüktif uyku apne sendromu Şiddeti ile hipertansiyon arasındaki ilişki. *Anatolian Journal of Cardiology/Anadolu Kardiyoloji Dergisi*, 7(4), 378-82.
- Benjafeld, A. V., Ayas, N. T., Eastwood, P. R., Heinzer, R., Ip, M. S. M., Morrell, M. J., Nunez, C. M., Patel, S. R., Penzel, T., Pépin, J. L., Peppard, P. E., Sinha, S., Tufik, S., Valentine, K., & Malhotra, A. (2019). Estimation of the global prevalence and burden of obstructive sleep apnoea: a literature-based analysis. *The Lancet. Respiratory medicine*, 7(8), 687–698.

- Benkli, D. Y., Oktay, P. D. (2013). The Effects of Snoring on Craniofacial Morphology, Head Posture and Sagittal Curvature of Vertebrae. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 63-70.
- Bozkurt, F., Uçar, M. K., Bozkurt, M. R., & Bilgin, C. (2020). Detection of abnormal respiratory events with single channel ECG and hybrid machine learning model in patients with obstructive sleep apnea. *Irbm*, 41(5), 241-251.
- Çiftçi, T. U. (2012). Obstrüktif uyku apne sendromu tanı ve tedavi uzlaşısı raporu (2012). *Türk Toraks Dergisi*, 13(Suppl 1), 1-66.
- Çöttert, S., User, A. (2007). Horlama ve Obstrüktif Uyku Apnesinde Tanı ve Tedavi. *Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 1(28), 19-31.
- Duan, A., Huang, Z., Hu, M., Zhao, Z., Zhao, Q., Jin, Q., ... & Liu, Z. (2023). The comorbidity burden and disease phenotype in pre-capillary pulmonary hypertension: The contributing role of obstructive sleep apnea. *Sleep Medicine*, 101, 146-153.
- Dvir, H., Guo, S., Havlin, S., Xin, N., Jun, T., Li, D., ... & Bartsch, R. P. (2020). Central sleep apnea alters neuronal excitability and increases the randomness in sleep-wake transitions. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 67(11), 3185-3194.
- Ergün, G., & Aktaş, S. (2009). ANOVA modellerinde kareler toplamı yöntemlerinin karşılaştırılması. *Kafkas Üniversitesi veteriner fakültesi dergisi*, 15(3), 481-484.
- Felder, J. N., Baer, R. J., Rand, L., Ryckman, K. K., Jelliffe-Pawlowski, L., & Prather, A. A. (2023). Adverse infant outcomes among women with sleep apnea or insomnia during pregnancy: A retrospective cohort study. *Sleep health*, 9(1), 26-32.
- Fernández, A., López-Ibor, M. I., Turrero, A., Santos, J. M., Morón, M. D., Hornero, R., ... & López-Ibor, J. J. (2011). Lempel–Ziv complexity in schizophrenia: A MEG study. *Clinical neurophysiology*, 122(11), 2227-2235.
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using Spss* (4.Baskı). SAGE İngiltere: Londra.
- Force, A. A. (1999). Sleep-related breathing disorders in adults: recommendations for syndrome definition and measurement techniques in clinical research. *The Report of an American Academy of Sleep Medicine Task Force* 22(5), 667–689.
- Friedman, M., Tanyeri, H., Lim, J. W., Landsberg, R., Vaidyanathan, K., & Caldarelli, D. (2000). Effect of improved nasal breathing on obstructive sleep apnea. *Otolaryngology--head and neck surgery : official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 122(1), 71–74.
- Guilleminault, C., Tilkian, A., & Dement, W. C. (1976). The sleep apnea syndromes. *Annual review of medicine*, 27, 465–484.

- Ivanhoe, J. R., Cibirka, R. M., Lefebvre, C. A., & Parr, G. R. (1999). Dental considerations in upper airway sleep disorders: a review of the literature. *The Journal of prosthetic dentistry*, 82(6), 685-698.
- Kang, B., Dang, X., Wei, R. (2017). Snoring and Apnea Detection Based on Hybrid Neural Networks. *2017 International Conference on Orange Technologies (ICOT)*, 57-60.
- Korkalainen, H., Aakko, J., Nikkonen, S., Kainulainen, S., Leino, A., Duce, B., Afara, I. O., Myllymaa, S., Toyras, J., & Leppanen, T. (2020). Accurate Deep Learning-Based Sleep Staging in a Clinical Population With Suspected Obstructive Sleep Apnea. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 24(7), 2073–2081.
- Koutsourelakis, I., Vagiakis, E., Roussos, C., & Zakyntinos, S. (2006). Obstructive sleep apnoea and oral breathing in patients free of nasal obstruction. *The European respiratory journal*, 28(6), 1222–1228.
- Köktürk, O. (2000). Uykuda Solunum Bozuklukları. *Tüberküloz ve Toraks Dergisi*, 48(3), 273-289.
- Kurtulmuş, H., Çöttert, S., & User, A. (2007). Obstrüktif uyku apnesi ve horlamanın tedavisinde mandibular ilerletici splint uygulaması.
- Lempel, A., & Ziv, J. (1976). On the complexity of finite sequences. *IEEE Transactions on information theory*, 22(1), 75-81.
- Li, K., Pan, W., Li, Y., Jiang, Q., & Liu, G. (2018). A method to detect sleep apnea based on deep neural network and hidden Markov model using single-lead ECG signal. *Neurocomputing*, 294, 94-101.
- Lin, C. Y., Wang, Y. W., Setiawan, F., Trang, N. T. H., & Lin, C. W. (2021). Sleep apnea classification algorithm development using a machine-learning framework and bag-of-features derived from electrocardiogram spectrograms. *Journal of Clinical Medicine*, 11(1), 192.
- Lin, X., Cheng, H., Lu, Y., Luo, H., Li, H., Qian, Y., ... & Wang, M. (2022). Contactless sleep apnea detection in snoring signals using hybrid deep neural networks targeted for embedded hardware platform with real-time applications. *Biomedical Signal Processing and Control*, 77, 103765.
- Lv, X., Li, J., & Yan, Q. (2020). Automated Detection of Sleep Apnea from Abdominal Respiratory Signal Using Hilbert-Huang Transform. In *Bioinformatics Research and Applications: 16th International Symposium, ISBRA 2020, Moscow, Russia, December 1–4, 2020, Proceedings 16* (pp. 364-371). Springer International Publishing.
- Lyons, M. M., Bhatt, N. Y., Pack, A. I., & Magalang, U. J. (2020). Global burden of sleep- disordered breathing and its implications. *Respirology*, 25(7), 690-702.

- Metzer, E. S., (2010). Basado en el Entrenamiento Personalizado Cognitivo en el Hogar de Pacientes con EM: Un Estudio de la Adherencia y el Rendimiento Cognitivo. *Neurorehabilitación*, 143-53.
- Miao, Y., Zhang, Z., Jia, F., & Dai, M. (2018, November). Treatment pillow for relieving snoring symptoms based on snore recognition. In *2018 25th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)* (pp. 1-5). IEEE.
- Misra, A., Rani, G., & Dhaka, V. S. (2022, August). Obstructive Sleep-Apnea Detection using Signal Preprocessing and 1-D Channel Attention Network. In *2022 2nd Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON)* (pp. 1-6). IEEE..
- Nagarajan, R. (2002). Quantifying physiological data with Lempel-Ziv complexity-certain issues. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 49(11), 1371-1373.
- Özdere, E., & Aykent, F. (2015). Horlama ve Obstrüktif Uyku Apnesi Tedavisinde Oral Aparey Kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 25, 123-128.
- Özışık, N., Yurteri, G., Tüzün, B., Öztürk, Ö., & Özlem, O. R. U. Ç. (2008). Obstrüktif uyku apne sendromu olgularında hipotiroidi taraması yapılmalı mı?. *SDÜ Tıp Fakültesi Dergisi*, 15(4), 18-22.
- Penzel, T., Moody, G. B., Mark, R. G., Goldberger, A. L., & Peter, J. H. (2000, September). The apnea-ECG database. In *Computers in Cardiology 2000. Vol. 27 (Cat. 00CH37163)* (pp. 255-258). IEEE.
- Piskin, B., Akin, H., & Sentut, F. (2012). Obstrüktif uyku apnesinde oral aparey kullanımı. *Cumhuriyet Dental Journal*, 15(3), 264-278.
- Pitkänen, H., Duce, B., Leppänen, T., Kainulainen, S., Kulkas, A., Myllymaa, S., ... & Korkalainen, H. (2021). Gamma power of electroencephalogram arousal is modulated by respiratory event type and severity in obstructive sleep apnea. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 69(4), 1417-1423.
- Pleil, J. D., Ariel Geer Wallace, M., Davis, M. D., & Matty, C. M. (2021). The physics of human breathing: flow, timing, volume, and pressure parameters for normal, on-demand, and ventilator respiration. *Journal of breath research*, 15(4), 1752-7163.
- Pregowska, A., Proniewska, K., van Dam, P., & Szczepanski, J. (2019). Using Lempel-Ziv complexity as effective classification tool of the sleep-related breathing disorders. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 182, 105052.
- Puthankattil, S. D., & Joseph, P. K. (2014). Analysis of EEG signals using wavelet entropy and approximate entropy: A case study on depression patients. *International Journal of Bioengineering and Life Sciences*, 8(7), 430-434.

- Quiceno-Manrique, A. F., Alonso-Hernandez, J. B., Travieso-Gonzalez, C. M., Ferrer-Ballester, M. A., & Castellanos-Dominguez, G. (2009, September). Detection of obstructive sleep apnea in ECG recordings using time-frequency distributions and dynamic features. In *2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 5559-5562). IEEE.
- Rivolta, M. W., Migliorini, M., Aktaruzzaman, M., Sassi, R., & Bianchi, A. M. (2014, August). Effects of the series length on Lempel-Ziv Complexity during sleep. In *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 693-696). IEEE.
- Rutkowski, T. M. (2016). Data-Driven Multimodal Sleep Apnea Events Detection: Synchrosqueezing Transform Processing and Riemannian Geometry Classification Approaches. *Journal of medical systems*, *40*, 1-7.
- Sanders, M. H., & Stiller, R. A. (1994). Positive airway pressure in the treatment of sleep-related breathing disorders. In *Sleep disorders medicine* (pp. 455-471). Butterworth-Heinemann.
- Sani, S. (2021, November). A New Approach for Identifying Patients with Obstructive Sleep Apnea Using K-Nearest Neighbor Classification. In *2021 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB)* (pp. 1-4). IEEE.
- Series, F., & Marc, I. (1999). Nasal pressure recording in the diagnosis of sleep apnoea hypopnoea syndrome. *Thorax*, *54*(6), 506-510.
- Sheta, A., Turabieh, H., Thaher, T., Too, J., Mafarja, M., Hossain, M. S., & Surani, S. R. (2021). Diagnosis of obstructive sleep apnea from ECG signals using machine learning and deep learning classifiers. *Applied Sciences*, *11*(14), 6622.
- Shoib, S., Ullah, I., Nagendrappa, S., Taseer, A. R., De Berardis, D., Singh, M., & Asghar, M. S. (2022). Prevalence of mental illness in patients with obstructive sleep apnea—A cross-sectional study from Kashmir, India. *Annals of Medicine and Surgery*, *80*, 104056.
- Surrel, G., Aminifar, A., Rincón, F., Murali, S., & Atienza, D. (2018). Online obstructive sleep apnea detection on medical wearable sensors. *IEEE transactions on biomedical circuits and systems*, *12*(4), 762-773.
- Szczepański, J., Amigó, J. M., Wajnryb, E., & Sánchez-Vives, M. V. (2003). Application of Lempel-Ziv complexity to the analysis of neural discharges. *Network: Computation in Neural Systems*, *14*(2), 335.
- Şahin, A. (1993). *Obstrüktif Uyku Apne Sendromu* (1. Baskı). Türkiye Akciğer Hastalıkları Vakfı Yayınları, Türkiye: Ankara.
- Tagluk, M. E., & Sezgin, N. (2011). A new approach for estimation of obstructive sleep apnea syndrome. *Expert Systems with Applications*, *38*(5), 5346-5351.

- Tagluk, M. E., & Sezgin, N. (2011). A new approach for estimation of obstructive sleep apnea syndrome. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5346-5351.
- Taran, S., Bajaj, V., Sinha, G. R., & Polat, K. (2021). Detection of sleep apnea events using electroencephalogram signals. *Applied Acoustics*, 181, 108137.
- Türksoy, V. A. (2018). Halk Sağlığı Sorunu Olarak Uyku Apne Sendromu Sleep Apnea Syndrome as a Public Health Problem. *Bozok Tıp Dergisi*, 8, 83-86.
- Uluç, S. (2007). ROC Analizi I: Özgüllük, Duyarlılık, pozitif yordayıcı değer ve negatif yordayıcı değer hesaplamaları. *Türk Psikoloji Bülteni*, 13(40), 26-31.
- Várady, P., Micsik, T., Benedek, S., & Benyó, Z. (2002). A novel method for the detection of apnea and hypopnea events in respiration signals. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 49(9), 936-942..
- Várady, P., Micsik, T., Benedek, S., & Benyó, Z. (2002). A novel method for the detection of apnea and hypopnea events in respiration signals. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 49(9), 936-942.
- Vuorjoki-Ranta, T. R., Lobbezoo, F., & Tuomilehto, H. (2013). Mandibular advancement devices in the treatment of obstructive sleep apnea and snoring in community dental care: A pilot study on self-reported sleep quality. *Health*, 2013.
- Yakut, Ö. (2018). EKG işaretindeki aritmilerin yumuşak hesaplama algoritmaları kullanılarak sınıflandırılması. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 536633.
- Yan, X., Wang, L., Zhu, J., Wang, S., Zhang, Q., & Xin, Y. (2022, August). Automatic Obstructive Sleep Apnea Detection Based on Respiratory Parameters in Physiological Signals. In *2022 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)* (pp. 461-466). IEEE.
- Yıldız, M., Tabak, Z., & Yetkin, S. (2017). Kalp Seslerinden Uyku Apnesi Tespit Edilebilir mi?. *Journal of Turkish Sleep Medicine*, 4(1).
- Yıldız, M., Tabak, Z., & Yetkin, S. (2017). Kalp Seslerinden Uyku Apnesi Tespit Edilebilir mi?. *Journal of Turkish Sleep Medicine*, 4(1) 16-21.
- Yılmaz, Ö., Dinç, G., Söğüt, A., Aktulun, Ş., Arslan, B., Kocacan, M., ... & Yüksel, H. (2010). The prevalence of habitual snoring in Aegean region of Turkey and associated risk factors. *Turkish Archives of Pediatrics*, 45(3), 280-285.
- Yigit, E., & Gokpinar, F. (2010). A simulation study on tests for one-way ANOVA under the unequal variance assumption. *Commun Fac Sci Univ Ankara, Ser A, 1*, 15-34.
- Yoon, H., Choi, J. H., & Baek, H. J. (2020, July). Apneic Event Estimation only using SpO2 Dynamics in Sleep Apnea Patients. In *2020 42nd Annual International*

Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (pp. 5335-5338). IEEE.

Yoshida, K. (1998). Effect of a prosthetic appliance for treatment of sleep apnea syndrome on masticatory and tongue muscle activity. *The Journal of prosthetic dentistry*, 79(5), 537-544.

Zarei, A., & Asl, B. M. (2018). Automatic detection of obstructive sleep apnea using wavelet transform and entropy-based features from single-lead ECG signal. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 23(3), 1011-1021.

Zhang, Y., Wei, S., Di Maria, C., & Liu, C. (2016). Using Lempel–Ziv complexity to assess ECG signal quality. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 36, 625-634.

Zhuang, Z., Wang, F., Yang, X., Zhang, L., Fu, C. H., Xu, J., ... & Hong, H. (2022). Accurate contactless sleep apnea detection framework with signal processing and machine learning methods. *Methods*, 205, 167-178.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Şener, S. K., Bolat, E. D. (2022). Sleep-Apnea Detection with the Lempel-Ziv Complexity Analysis of the Electrocardiogram and Respiratory Signals. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural Medical Sciences*, 9(25), 109–120.



ÖZGEÇMİŞ

Somay Kübra ŞENER ilk, orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2015 yılında girdiği Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü’nden 2019 yılında mezun oldu. 2020 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalında başladığı yüksek lisans eğitimini halen sürdürmektedir.

