

KOAH parametrelerini ölçebilecek spirometrik bir ölçüm sisteminin tasarlanması ve gerçekleştirilmesi

Design and implementation of a spirometric measurement system that can measure COPD parameters

Harun SÜMBÜL^{1*}, Ahmet Hayrettin YÜZER²

¹Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Bölümü, Yeşilyurt Demir Çelik MYO, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye.
harun.sumbul@omu.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye.
hayrattinyuzer@karabuk.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 21.01.2021
Kabul Tarihi/Accepted: 23.12.2021

Düzeltilme Tarihi/Revision: 11.11.2021

doi: 10.5505/pajes.2021.23835
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Son zamanlarda bütün dünyaya yayılan ve dünya sağlık örgütü tarafından Pandemi (dünya geneli salgın) ilan edilen koronavirüs (Covid-19) salgını nedeni ile solunum cihazlarına olan önem ve ihtiyaç bir kez daha kendisini göstermiştir. Solunum aktivitesinin izlenmesi, Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH) gibi solunum kaynaklı hastalıkların saptanmasında hayati bir rol oynar. Bu çalışmada solunum parametreleri ölçümleri için 6 katılımcıdan oluşan bir çalışma grubu oluşturulmuştur. Her bireyden FVC, VC, MVV, RR ve TV performansı gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Ölçümler, medikal spirometre cihazı ile eş zamanlı gerçekleştirilmiştir. Toplamda 1860 veri (VC için 1500, MVV için 360 veri) örneklendirilmiş ve bütün veriler Matlab programında analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçların, birbirlerine oldukça benzer olduğu (MVV için $R_{mvv}=0.998$; VC için $R_{vc}=0.997$) olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın en önemli katkılarından biri de, ölçülen verilerin bilgisayara gönderilebilmesi ve SD karta kaydedilebilmesidir. Böylece standart spirometrelerde bulunan termal yazıcılar ile kâğıt israfının önüne geçilmiş ve veriler dijital ortamda saklanmıştır. Geliştirilen sistem pratik ve düşük maliyetli bir çözümdür. Geliştirilen cihazın biyomedikal cihaz teknolojisinde Koah parametrelerini ölçme kabiliyeti ile önemli bir yer alması beklenmektedir.

Anahtar kelimeler: KOAH, Akciğer, Spirometre, Mikrodenetleyici.

Abstract

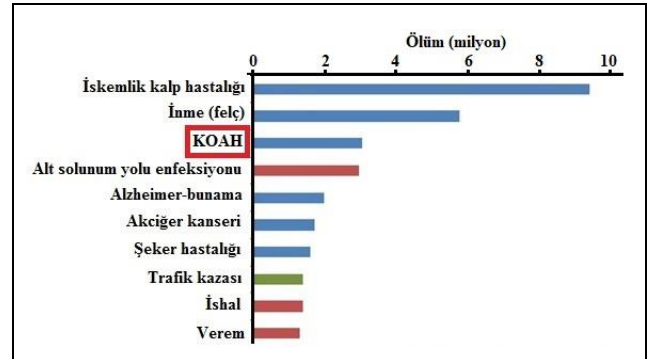
The importance and need for respirators has once again shown itself due to the coronavirus (Covid-19) epidemic, which has recently spread around the world and has been declared as a Pandemic (epidemic worldwide) by the world health organization. Monitoring respiratory activity plays a vital role in detecting respiratory diseases such as Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD). In this study, a working group of 6 participants was formed to measure respiratory parameters. Each individual was provided to perform FVC, VC, MVV, RR and TV performance. The measurements were carried out simultaneously with the medical spirometre device. A total of 1860 data (1500 data for VC, 360 data for MVV) were sampled and all data were analyzed in Matlab program. It was observed that the results obtained were quite similar to each other ($R_{mvv}=0.998$ for MVV; $R_{vc}=0.997$ for VC). One of the most important contributions of this study is that the measured data can be sent to the computer and saved to the SD card. Thus, with the thermal printers in standard spirometers, paper wastage was prevented and the data was stored in digital environment. The developed system offers a practical and low cost solution. The developed device is expected to take an important place in biomedical device technology with its ability to measure COPD parameters.

Keywords: COPD, Lung, Spirometer, Microcontroller.

1 Giriş

Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH); zatürre, astım, bronşit gibi tüm dünyada oldukça yaygın görülebilen solunumsal hastalıklardandır. Günümüzde bu tip hastalıkların teşhis ve tedavi sürecinde bilgisayarlı tomografi (BT), röntgen (x-ray), MRI gibi görüntüleme teknikleri kullanılmaktadır [1]. Koah son yıllarda tıbbi çalışmalarda yoğun bir ilgi görmesine rağmen, hala tam anlamı ile müdahale edilemeyen ve hala ölümle sonuçlanabilen önemli bir hastalıktır [2]. Mann ve diğ. göre gelişmiş ülkelerin nüfusunun yaklaşık %7'si, Koah'dan etkilenmiştir ve bu oran günden güne artmaya devam etmektedir [3]. Bu açıdan dünyadaki en yaygın akciğer hastalıklarından birisi olan Koah'ın artan sigara içme oranı ve birçok ülkede meydana gelen demografik değişimlerden dolayı ölüm oranlarında oldukça yüksek sayılara ulaşabileceği öngörülmektedir [4],[5]. Dünya sağlık örgütü 2018 verilerine

göre Koah, dünyadaki en ölümcül 3. hastalık durumundadır ve sadece 2016 yılında yaklaşık 3 milyon can almıştır (Şekil 1).



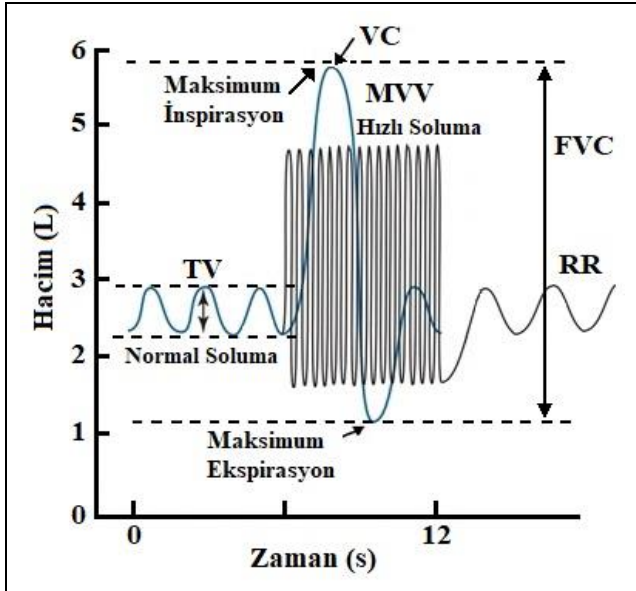
Şekil 1. Küresel çaptaki ilk 10 ölüm nedeni [6].

Figure 1. Top 10 causes of death globally [6].

*Yazışılan yazar/Corresponding author

Sarlabous ve diğ. göre Koah hastalarında, solunum kas fonksiyonu ve göğüs kafesi mekaniği çok fazla etkilenmektedir. Aynı şekilde kas kullanım yapısı (kasın elektrik ve mekanik faaliyetleri arasındaki ilişki), hastalık tarafından üretilen torako-diyafragmatik yapıda meydana gelen değişikliklerden dolayı oldukça azalır ve büyük miktarda enerji israfına sebep olurken aynı zamanda kasın etkisiz kasılmasına sebep olur [7]. Böylece solunum sırasında zorlanmalar ve nefes alış-veriş sırasında hırıltılar başlar.

Koah tanısı süreci uzun zaman alır ve karmaşık, yüksek maliyetli teknik teşhis detayları gerektirir. Koah tanısında en sık kullanılan yöntem solunum fonksiyon testleri (SFT) yöntemidir [8]. SFT yönteminde ölçüm yaparken Spirometre adı verilen cihaz kullanılmaktadır. Spirometrenin solunum yolu tıkanıklığı tanısında önemli bir yeri vardır ve Koah tanısında kullanılan en önemli araçtır [9]-[11]. Spirometre ile akciğere dair FVC (Forced Vital Capacity), VC (Vital Capacity), MVV (Maximum Voluntary Ventilation), RR (Respiratory Rate), TV (Tidal Volum) ve daha birçok parametre ölçülmektedir. Bu parametrelerin detaylı tanımları [12],[13] de, grafik üzerindeki tanımları ise Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Akciğer hacim-zaman grafiği üzerindeki önemli parametreler [12].

Figure 2. Important parameters on the lung volume-time graph [12].

Spirometre, mevcut durumda akciğer parametrelerini ölçmede en sık kullanılan ölçüm aracı olmasına rağmen, çoğunun taşınabilir olmaması (taşınabilir olanların ise fiyatlarının oldukça yüksek olması), kullanımının teknisyen gerektirmesi, ev ortamında kullanılamaması, çıktılarının dijital ortamda kayıt yerine kâğıt üzerinde olması ve yüksek maliyetli oluşu gibi olumsuzlukları vardır. Bunun yanı sıra, son zamanlarda Koah tanısı koyabilmek amacıyla diyafraim üzerinden Koah parametreleri ölçmek için farklı metotlar (giyilebilir algılayıcılar [14] ve Actimetry [15]) geliştirilmişse de en popüler olan metot ivmeölçer kullanmaktır [16],[17]. Bu cihazlar taşınabilir yapıdadır ve oldukça pratik çözümler sunabilmektedir. Fakat litre biriminde çıktı verememektedirler. Bu çalışmada, hâlihazırda kullanılan spirometrenin belirtilen olumsuzlukları bulunmayan alternatif bir ölçüm sistemi tasarımı geliştirilmiş ve üretimi yapılarak

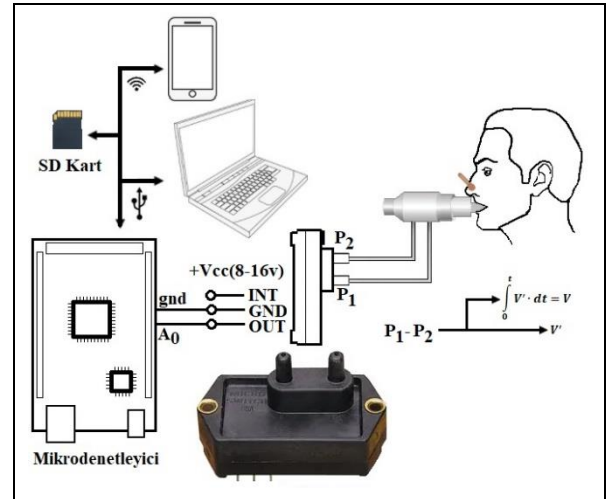
ölçümler gerçekleştirilmiştir. Aynı denekler üzerinde hem spirometre ile hem de geliştirilen cihaz ile ölçümler alınmıştır. Geliştirilen sistem detayları “2. Materyal ve Metot” bölümünde, ölçüm sonuçları ise “3. Sonuçlar ve Değerlendirme” bölümünde verilmiştir.

Son zamanlarda bütün dünyaya yayılan ve dünya sağlık örgütü tarafından Pandemi (dünya geneli salgın) ilan edilen koronavirüs (Covid-19) salgını nedeni ile solunum cihazlarına olan önem ve ihtiyaç bir kez daha kendisini göstermiştir. Hastalar sağlık hizmetlerindeki değişkenlik nedeniyle bakım süreçlerinde sorunlar yaşamakta, buna karşılık, hizmet sağlayıcılar aşırı iş yükü (özellikle salgın dönemlerinde) nedeniyle şikâyetler ile ivedilikle ilgilenememektedir. Bu ve benzeri sebepler, evde hastaların kendilerinin kullanabilecekleri biyomedikal cihazların önemini bir kez daha ortaya koymaktadır [18]-[21]. Özellikle solunum sistemleri ve bu alandaki medikal cihaz üretimlerinde yurtdışına bağlı oluşumuz ve ülkemizde yerli-milli medikal cihaz üretimi konusundaki yetersizlikler, bu çalışmanın yapılmasındaki en önemli motivasyon kaynağını oluşturmaktadır.

2 Materyal ve metot

2.1 Ölçüm sistemi

Bu çalışma çerçevesinde geliştirilen ölçüm sistemine ait prensip şema, Şekil 3’te verilmiştir. Önerilen yeni ölçüm sisteminde ilk olarak hastanın burnu bir mandala kapatılır. Sonrasında ise spirometrenin ağızlığına benzer bir tüp ile hastanın ağızından akciğerlere girip çıkan hava hacmi ölçülür. Son adım olarak ise zamana göre alınan ve çıkarılan hava miktarı ile ilgili grafiksel görüntüleme ve verileri kayıt işlemleri gerçekleştirilir.



Şekil 3. Ölçüm sistemi şematik gösterim.

Figure 3. Schematic representation of the measurement system.

Solunum parametrelerini ölçme sistemindeki en önemli parçalardan birisi, hava akımının elde edildiği iki bölüme ayrılmış olan tüptür. Diferansiyel basınç sensöründe bulunan hava giriş ve çıkış delikleri, tüpte görülen kısımlara plastik bir hava hortumu ile bağlanmıştır ve böylece nefes alış esnasında her iki delikteki basınç farkı ölçülmüştür. Yapılan hacimsel akış hızı hesaplamaları için Bernoulli prensipleri kullanılmıştır. Çalışmada, profesyonel bir spirometrenin tüpü kullanılmış olup ölçümler esnasında tek kullanımlık karton ağızlıklar kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan tüp Şekil 4’te verilmiştir.

Şekil 4'te gösterilen medikal tüpün giriş ve çıkış bölümleri arasında üretilen, hacimsel akış hızı, denklem (1) ile ifade edilmektedir [22].

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\mu \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right)}} = A_1 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\mu \left(\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1\right)}} \quad (1)$$

Burada;

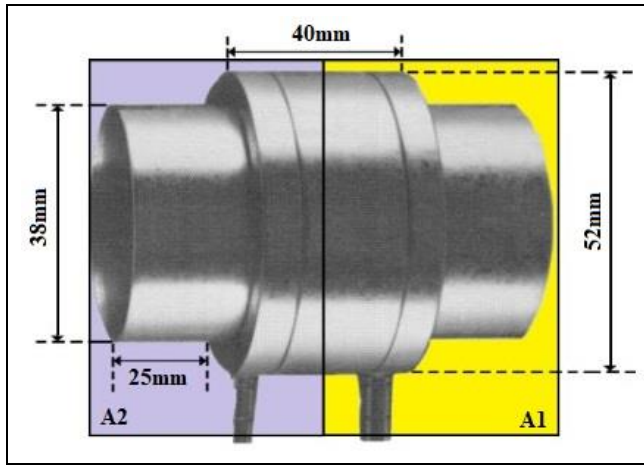
P_i ; sensörden ölçülen tüpün basıncını, $i=1,2$

A_k ; hava/giriş/çıkış kesit alanı, (m^2) ($k = 1,2$)

μ ; hava öz kütleini (1.225 kg/m^3) göstermektedir. ($P_1 - P_2$), diferansiyel basınç dönüştürücü ile ölçülmüştür.

Hava akış hızı ise denklem (2) kullanılarak hesaplanır;

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} \text{ metre/s, } v_2 = \frac{Q}{A_2} \text{ metre/s} \quad (2)$$



Şekil 4. Ölçümlerde kullanılan medikal hava akış tüpü ve boyutları.

Figure 4. Medical air flow tube and dimensions used in measurements.

Tüpten geçen bir havanın toplam basıncı, statik ve dinamik basınç bileşenlerinin toplamıdır. Statik basınç bileşeni, akışkan dururken tüp duvarlarına uygulanan basınçtır ($hız = 0 \text{ m/s}$), dinamik bileşen ise hareket halindeyken akışkan tarafından uygulanan basıncı verir. Dinamik basınç, boyutsal olarak birim hacim başına kinetik enerjideki değişim olarak adlandırılır. Hacimsel akış oranı, zamanın bir fonksiyonu olduğundan, hacim (V), denklem (3)'teki gibi hesaplanabilir [23];

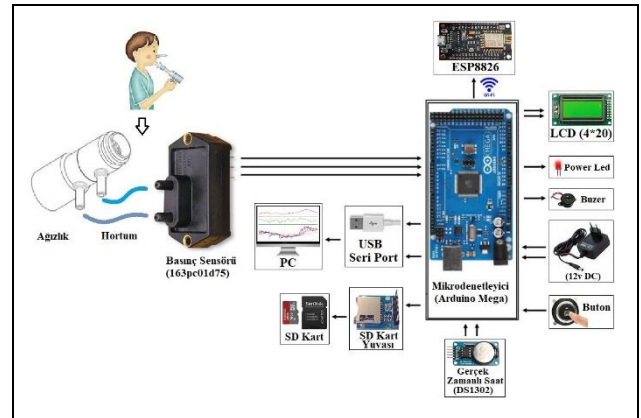
$$V = \int_{t_1}^{t_2} (P_1 - P_2) \cdot dt \quad (3)$$

Ölçüm sisteminin ilk adımı olan, alınan ve verilen hava miktarını hesaplayabilmek amacıyla, hava basıncını ölçmek için pnömatik fark basınç sensörü 163PC01D75 (ölçüm aralığı $\pm 623 \text{ Pa}$, doğruluk ± 0.15 tam ölçekli, Honeywell, Minneapolis, MN, USA) kullanılmıştır. Bu sensör 5 Volt'ta 10 mW'lık düşük bir güç tüketimine sahiptir ve böylece az enerji tüketir. Bu sensör, birçok medikal uygulamada kullanılmakta olan oldukça popüler bir sensördür [24]-[26].

Kullanılan diferansiyel basınç sensörü, uygulanan basınçla orantılı bir çıkış voltajı sağlar [27]. Alınan hava akış bilgisi, mikroişlemcinin (Arduino Mega 2550) ADC (analog digital

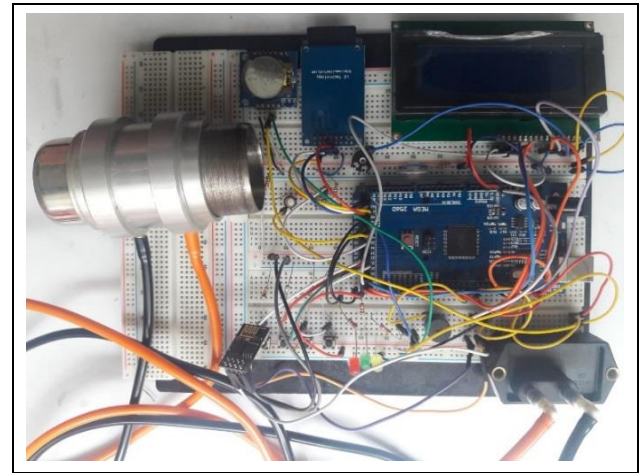
converter) girişine uygulanarak sayısal olarak çevrilir ve yazılan program kodlarına göre işlenen veri SD (Secure Digital) karta kaydedilirken aynı zamanda veri kablosu ile geliştirilen ara yüz sayesinde bilgisayar ekranından eş zamanlı olarak izlenebilmektedir. Donanımın sahip olduğu wi-fi modül aracılığı ile de istenirse bu veriler cep telefonu, tablet gibi ortamlara da kablosuz olarak aktarılabilir.

Ölçüm sistemi detaylı blok şeması Şekil 5'te, board üzerine kurulmuş ölçüm sistemi devre kartı ise Şekil 6'da verilmiştir. Ölçüm sistemi; verilerin kaydedildiği SD kart yuvası, ölçümlerin gerçek zamanlı yapılmasını sağlayan gerçek zaman saati (DS1302 RTC Modül), verilerin eş zamanlı cihaz üzerinden de görüntülenmesini sağlayan LCD ekran, ölçüm sonuçlarının kablosuz olarak iletilmesini sağlayan ESP8266 wi-fi modülden oluşmaktadır.



Şekil 5. Ölçüm sistemi detaylı blok şeması.

Figure 5. Measurement system detailed block diagram.

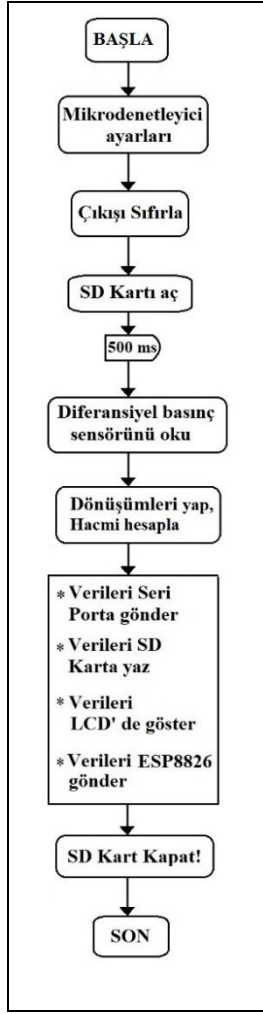


Şekil 6. Ölçüm sistemi devre kartı.

Figure 6. Measurement system circuitual setup.

2.2 Yazılım ve donanım

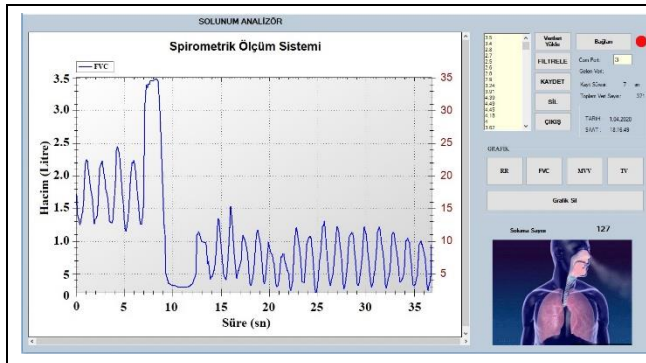
Geliştirilen ölçüm cihazının örnekleme hızı 200 ms'dir. Akciğer fonksiyon değerlendirmesi için gerekli olan FVC, VC, MVV, RR ve TV parametreleri nefes alıp- nefes verme süreci boyunca cihaz ile ölçülür ve sonuçlar ilgili bölümlere gönderilir (SD kartı, seri monitör, wi-fi bağlantı noktası). Program akış diyagramı Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. İş akış diyagramı.

Figure 7. Work flow diagram.

Şekil 8'de ise C# programlama dili komutları kullanarak hazırlanan ara yüz programı görülmektedir. Bu ara yüz programı sayesinde ölçülen parametreler anlık olarak ekrandan izlenebilmektedir.



Şekil 8. Ara yüz programı (C# programlama dili komutları kullanılarak hazırlanmıştır).

Figure 8. Interface program (prepared using C# programming language commands).

Ölçümler için Tablo1'de verilen farklı özelliklere sahip bireylerden oluşan 6 kişilik çalışma grubu oluşturulmuştur.

Tablo 1. Çalışma grubunun genel özellikleri (n=6)

Table 1. General characteristics of the study group (n = 6).

Birey No.	Boy (cm)	Kilo (kg)	Cinsiyet (K/E)	BMI (kg/m ²)	Yaş (yıl)
B1	174	82	E	27.1	42
B2	175	65	K	21.2	20
B3	168	71	K	25.2	29
B4	187	108	E	30.9	34
B5	160	76	K	29.7	50
B6	174	83	E	27.4	38

B: Birey, K: Kadın, E: Erken, BMI: Beden kütle indeksi.

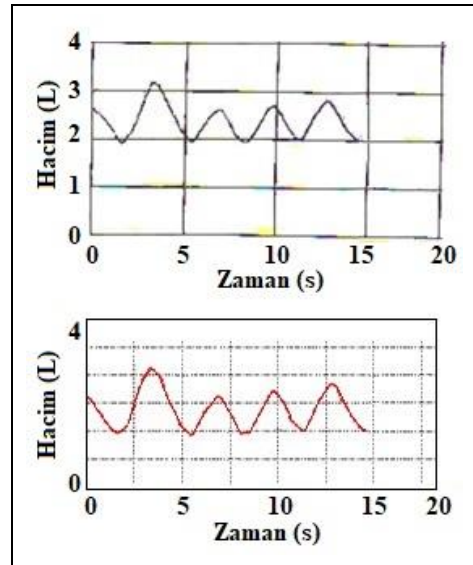
Ölçümlerden önce bireylerin ölçüm sonucunu olumsuz etkileyebilecek yorucu aktivite (son 2 saat içerisinde koşma, merdiven çıkma vb.) yapmamış olmaları istenmiştir. Tüm veriler SD karta kaydedilmiş ve bilgisayarda analizi gerçekleştirilmiştir.

3 Deneysel bulgular

Ölçümler medikal bir spirometre (Fukuda Sangyo brand spiroanaliz ST-75 model) ile eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler için tek tüp kullanılmış olup plastik hortumlar ile havanın ulaştığı pnömatik sensör pinleri aynı anda hem medikal spirometreye hem de tasarlanan devreye iletken kablolar aracılığı ile bağlanmıştır. Böylece aynı sensörden alınan bilgiler ışığında ölçümler gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonuçlarının doğruluğu test edilmiştir.

Doktorlar, gerek radyolojik verilerin analizinde ve gerekse EKG-EEG gibi biyolojik işaretlerin incelenmesinde analog verilerden çok grafiksel gösterim üzerinde durmakta ve değerlendirmelerini buna göre daha hızlıca yapabilmektedir. Spirometre ile yapılan ölçüm sonrası da doktorlar hastanın hava akım-hacim grafiğine bakarak yorum yapmaktadırlar. Bu yüzden bu çalışmada sonuçlar grafik formatında verilmiştir.

Şekil 9, TV parametresinin B1 üzerinden her iki cihaz ile eş zamanlı olarak ölçülmesi sonucu elde edilen hacim-zaman grafiğini göstermektedir.

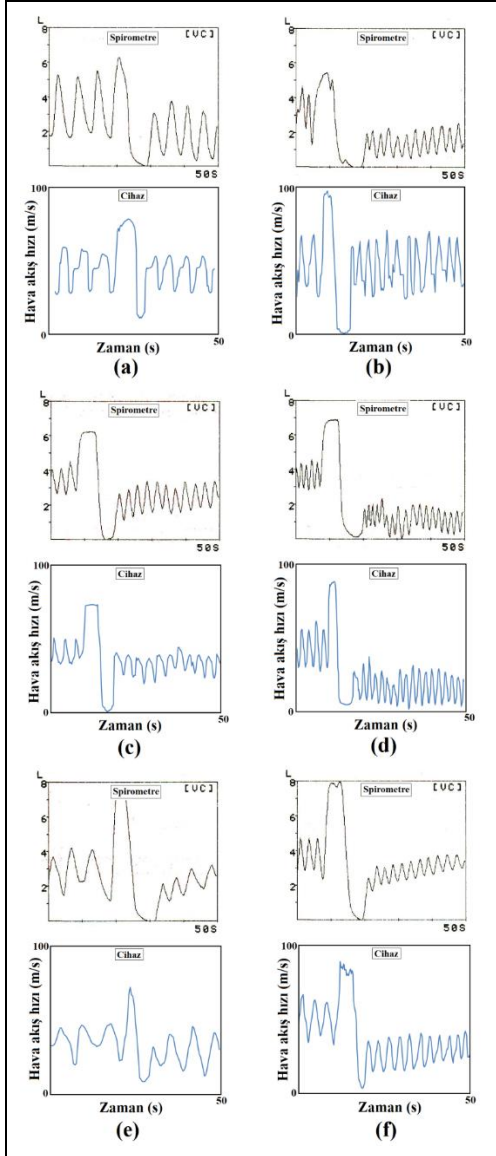


Şekil 9. TV parametresinin eş zamanlı ölçülmesi. (a): Spirometre, (b): Geliştirilen cihaz.

Figure 9. Simultaneous measurement of TV parameter. (a): Spirometer, (b): Developed device.

Ayrıca, Şekil 9 üzerinden solunum hızı (RR-Respiratory Rate) parametresi de ölçülmüştür (Solunum sinyalindeki tepe noktalar nefes almayı (inspirasyon), çukur noktalar ise nefes vermeyi (ekspirasyon) göstermektedir. Buna göre bu örnek için solunum oranı $RR=4$ 'tür).

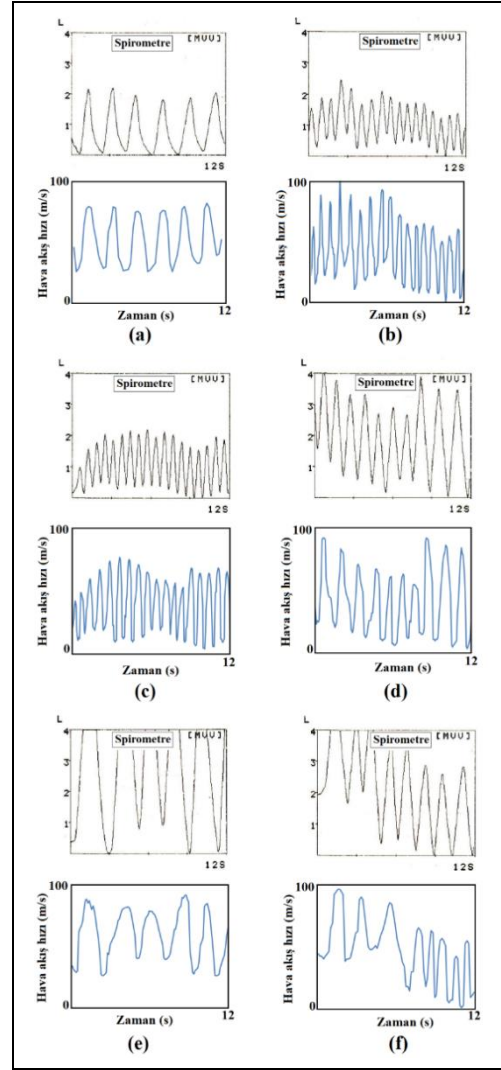
Şekil 10'da eşzamanlı ölçülen VC grafikleri görülmektedir. Bu ölçüm sırasında katılımcılardan ilk başta normal soluk alıp vermeleri (TV) ve daha sonra maksimum bir inspirasyon (nefes almaları) sonrasında ise hızlı bir şekilde dışarı atmaları istenmiştir. Daha sonrada tekrar birkaç kez normal solunum yapılarak ölçüm sona erdirilmiştir.



Şekil 10. VC parametresi grafiği. (a): B1, (b): B2, (c): B3, (d): B4, (e): B5, (f): B6.

Figure 10. VC parameter graph. (a): B1, (b): B2, (c): B3, (d): B4, (e): B5, (f): B6.

Her iki şekil içinde ölçüm birimleri karşılaştırması yapılırken ampirik bir yaklaşım sergilenmiştir. RR parametresi de her iki ölçüm içinde aynı çıkmıştır. Şekil 11'de ise hem medikal spirometre ile hem de geliştirilen ölçüm cihazı ile eşzamanlı ölçülen MVV grafikleri verilmiştir.



Şekil 11. MVV parametresi grafiği. (a): B1, (b): B2, (c): B3, (d): B4, (e): B5, (f): B6.

Figure 11. MVV parameter graph. (a): B1, (b): B2, (c): B3, (d): B4, (e): B5, (f): B6.

Tablo 2'de hem endüstriyel Spirometre ile hem de geliştirilen ölçüm cihazı ile elde edilen MVV ve VC parametreleri verilmiştir.

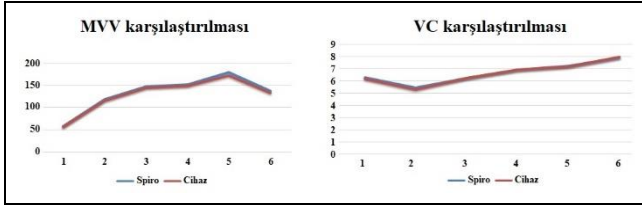
Tablo 2. Ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.

Table 2. Comparison of measurement results.

No	Medikal Spirometre		Ölçüm Sistemi	
	MVV (L/s)	VC (L)	MVV (L/s)	VC (L)
B1	58.4	6.3	58.2	6.2
B2	118.9	5.46	118.2	5.44
B3	147	6.25	146	6.2
B4	151.4	6.95	151	6.93
B5	179	7.1	172	7.18
B6	136.8	7.96	135	7.9

Şekil 12'de ise ölçüm sonuçları grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Ölçüm sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğunu görmek ve geliştirilen ölçüm sisteminin güvenilirliğini belirlemek amacı ile yukarıda verilen ölçüm sonuçlarının korelasyon analizi yapılmış ve Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 12. MVV ve VC parametrelerinin grafiksel karşılaştırılması.

Figure 12. Graphical comparison of MVV and VC parameters

Tablo 3. Korelasyon sonuçları(R).

Table 3. Correlation results (R).

MVV	VC
0.998721928	0.997599191

Buna göre ölçüm sonucu olarak bazı parametreler için (VC ve MVV) sayısal değerler elde edilirken, diğer parametreler içinse grafik formatında ampirik bir yaklaşım ile değerlendirmeler (FVC, TV ve RR için) paylaşılmıştır. Elde edilen sonuçların, medikal cihaz ile ölçülen grafiklere oldukça yakın olduğu ve benzerlik oranının da (MVV için $R=0.998721928$; VC için $R=0.997599191$) oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

4 Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmada, önemli KOAH parametrelerinin (FVC, VC, MVV, RR ve TV) grafiksel olarak ölçülmesinde kullanılabilecek bir medikal cihaz geliştirilmiştir. Bu çalışmanın en önemli katkılarından biri, ölçülen verilerin bilgisayara gönderilebilmesi ve verilerin SD karta kaydedilebilmesidir. Böylece standart spirometrelerde bulunan termal yazıcılar ile kâğıt israfının önüne geçilmiş ve veriler dijital ortamda saklanmıştır. Bu özellik sadece koah hastaları için değil aynı zamanda solunum sıkıntısı (obstrüktif-rekstriktif) çeken ve bu konuda tedaviye devam eden hastalar için de gereklidir. Çünkü geliştirilen sistem, hem hastanede SFT testlerinin yoğunluğunu azaltacak hem de solunum parametrelerini ölçmek için evde ölçüm yapma imkânı verecektir. Geliştirilen sistem, oldukça kullanışlı, pratik ve düşük maliyetli bir çözüm sunar. Bu cihaz, bazı obstrüktif hastalıkların tanısında da güvenilir olarak kullanılabilir. Geliştirilen cihazın biyomedikal cihaz teknolojisinde KOAH parametrelerini ölçme kabiliyeti ile önemli bir yer alması ve solunum fonksiyon testlerinde alternatif bir yöntem olarak kabul edilmesi beklenmektedir. Bu çalışmadan görüleceği üzere gerek KOAH hastaları, gerekse solunum sıkıntısı çeken hastalar kendi evlerinde solunum fonksiyon testlerini istedikleri sayıda gerçekleştirebilecek ve kendi veri tabanlarını oluşturabileceklerdir. Cihaz, solunum konusunda tedavi sürecinde olan kullanıcılar içinde uygundur. Böylece kullanıcılar iyileşme durumlarını kendileri izleyebileceklerdir. Bu ise SFT için hastaneye gidilmesini ortadan kaldıracak ve hastanedeki ilgili birimin yükünü hafifletmiş olacaktır.

5 Conclusions

In this study, a medical device has been developed that can be used to graphically measure important COPD parameters (FVC, VC, MVV, RR and TV). One of the most important contributions of this study is that the measured data can be sent to the computer and the data can be saved to the SD card. Thus, paper wastage in standard spirometers (thermal printers) was prevented and data were recorded in digital environment. This feature is necessary not only for patients with COPD, but also

for patients suffering from respiratory distress (obstructive-reflexive) and continuing treatment in this regard. Because the developed system will both reduce the intensity of PFT tests in the hospital and allow measurements at home to measure respiratory parameters.

The developed system offers a very useful, practical and low cost solution. This device can also be used reliably in the diagnosis of some obstructive diseases. The developed device is expected to take an important place in biomedical device technology with its ability to measure COPD parameters and to be accepted as an alternative method in pulmonary function tests. As can be seen from this study, both COPD patients and patients with respiratory distress will be able to perform respiratory function tests as many times as they want and create their own databases. The device is suitable for users in the respiratory therapy process. Thus, users will be able to monitor their own recovery. This will eliminate going to the hospital for PFT and relieve the burden of the relevant unit in the hospital.

6 Teşekkür

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) koordinatörlüğü tarafından PYO.YMY.1901.20.001 No.lu proje ile desteklenmiştir.

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Harun SÜMBÜL, tasarımın yapılması ve literatür taraması yazım denetimi ve içerik açısından, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, ve sonuçların incelenmesi başlıklarında; Ahmet Hayrettin YÜZER, deneylerin yapılması ve verilerin elde edilmesi, kullanılan malzemelerin temin edilmesi, makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Klinik Araştırma Birimi Etik Komitesi tarafından 2015/123 No.lu Sayı ile onaylanmıştır".

"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

9 Kaynaklar

- [1] Sümer E, Engin M, Ağıldere M, Oğul H. "Monitoring nodule progression in Chest X-ray images". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(5), 934-941, 2018.
- [2] Vestbo J, Hurd SS, Agustí AG, Jones PW, Vogelmeier C, Anzueto A, Barnes PJ, Fabbri LM, Martinez FJ, Nishimura M, Stockley RA, Sin DD, Roisin RR. "Global strategy for the diagnosis, management and prevention of chronic obstructive pulmonary disease". *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 187(4), 347-65, 2013.
- [3] Mann J, Rabinovich R, Bates A, Giavedoni S, Macnee W, Arvind DK. "Simultaneous activity and respiratory monitoring using an accelerometer". *Body Sensor Networks (BSN), International Conference on. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, Dallas, TX, USA, 23-25 May 2011.
- [4] Sümbül H, Yüzer AH, Şekeroğlu K. "A novel portable real-time low-cost sleep apnea monitoring system based on the global system for mobile communications (GSM) network". *Medical & Biological Engineering & Computing*, 60, 619-632, 2022

- [5] Mathers CD, Loncar D. "Projections of global mortality and burden of disease from 2002 to 2030". *PLOS Medicine*, 3(11), 2011-2030, 2006.
- [6] World Health Organization. "The Top 10 Causes of Death". <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> (17.04.2020).
- [7] Sarlabous L, Torres A, Fiz JA, Gea J, Martínez-Lorens JM and Jane R. "Evaluation of the respiratory muscular function by means of diaphragmatic mechanomyographic signals in COPD patients". *31st Annual International Conference of the IEEE EMBS*, Minneapolis, Minnesota, USA, 2-6 September 2009.
- [8] Sümbül H, Yüzer AH. "Measuring of diaphragm movements by using iMEMS acceleration sensor". *9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO 2015)*, 166-170, Bursa, Turkey, 26-28 November 2015.
- [9] Devi GM, Venkatesan P. "Least squares support vector regression for spirometric forced expiratory volume (FEV1) values". *International Journal of Science and Technology*, 3(1), 74-78, 2013.
- [10] Waghmare KA, Wakode BV, Chatur PN. "Spirometry data analysis and classification using artificial neural network: an approach". *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(1), 67-70, 2012.
- [11] Al-Ashkar F, Mehra R, Mazzone PJ. "Interpreting pulmonary function tests: Recognize the pattern and the diagnosis will follow". *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 70(10), 866-881, 2003.
- [12] Feher J. *Lung Volumes and Airway Resistance*. Editors: Merken S, McFadden N. Quantitative Human Physiology an Introduction, 563-571, Boston, USA, Academic Press is an Imprint of Elsevier, 2017.
- [13] Barthel P, Wansel R, Bauer A, Müller A, Wolf P, Ulm K, Huster KM, Francis DF, Malik M, Schmidt G. "Respiratory rate predicts outcome after acute myocardial infarction: a prospective cohort study". *European Heart Journal*, 34(22), 1644-1650, 2012.
- [14] Patel S, Healey, Moy M. "Using wearable sensors to monitor physical activities of patients with COPD: a comparison of classifier performance". *Sixth International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, Berkeley, CA, USA, 3-5 June 2009.
- [15] Fox NA, Heneghan C, Gonzales M, Shouldice RB, Chazal P. "An evaluation of a non-contact biomotion sensor with actimetry". *Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Lyon, France, 23-26 August 2007.
- [16] Sümbül H, Yüzer AH. "Development of diagnostic device for COPD: A MEMS based approach". *International Journal of Computer Science and Network Security*, 17(7), 196-203, 2017.
- [17] Sümbül H, Yüzer AH. "Estimating the value of the volume from acceleration on the diaphragm movements during breathing". *Journal of Engineering Science and Technology*, 13(5), 1205-1221, 2018.
- [18] Deniz N, Özçelik F. "Sağlık hizmet süreçlerinin yalın düşünce aracılığıyla geliştirilmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(4), 739-748, 2018.
- [19] Agarwal V, Ramachandran NCS. "Design and development of a low-cost spirometer with an embedded web server". *International Journal Biomedical Engineering and Technology*, 1(4), 200-439, 2008.
- [20] Zhou P, Yang L, Huang Y. "A Smart phone based handheld wireless spirometer with functions and precision comparable to laboratory spirometers". *Sensors*, 19(11), 2487-2498, 2019.
- [21] He Y, Yang B, Xiong S, Li Q. "Design of portable spirometer based on internet of things of medicine". *Chinese*, 42(2), 103-106, 2018.
- [22] Tardi G, Massaroni C, Saccomandi P, Schena E. "Experimental assessment of a variable orifice flowmeter for respiratory monitoring". *Journal of Sensors*, 7, 1-7, 2015.
- [23] Mehta P, Sinha V. "Development of first proto-types of a low-cost computer based solid-state spirometer for application in rural health-care centres across India". *Global Journal of Medical Research*, 13(12), 7-17, 2013.
- [24] Lo Presti D, Romano C, Massaroni C, D'Abbraccio J, Massari L, Caponero M A, Oddo CM, Formica D, Schena E. "Cardio-Respiratory monitoring in archery using a smart textile based on flexible fiber bragg grating sensors". *Sensors*, 19(16), 3581-3595, 2019.
- [25] Schena E, Lupi G, Cecchini S, Silvestri S. "Linearity dependence on oxygen fraction and gas temperature of a novel Fleisch pneumotachograph for neonatal ventilation at low flow rates". *Measurement*, 45(8), 2064-2071, 2012.
- [26] Schena E, Massaroni C, Saccomandi P, Cecchini S. "Flow measurement in mechanical ventilation: A review". *Medical Engineering & Physics*, 37(3), 257-264, 2015.
- [27] Diferansiyel Basınç Sensörü. "160PC Series Pressure Sensor". <https://tr.farnell.com/honeywell/163pc01d75/pressure-sensor-2-5-h2o/dp/731882> (21.01.2021).