

Velostat ile Nefes Takip Sistemi Tasarımı

Breath Tracking System Design with Velostat

Ünal Hancılar ve Umut Engin Ayten

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Yıldız Teknik Üniversitesi

İstanbul, Türkiye

f0418027@std.yildiz.edu.tr, ayten@yildiz.edu.tr

Özetçe— Bu çalışmada, velostat (basınca duyarlı folyo), neopren kumaş ve iletken iplik kullanılarak nefes takip sistemi için sensör tasarımı yapılmıştır. Üzerindeki basınç arttıkça velostat üzerinden okunan direnç değeri düşmekte, basınç azaldıkça direnç değeri artmaktadır. Bu özelliği ile nefes alıp verme sırasında oluşan diyafram hareketlerinden faydalanarak bir kemer ile vücuda bağlanmış ve nefes tespiti sağlanmıştır. Literatürde kullanılan diğer sensör tipleri ile de normal nefes, derin nefes, sık nefes ve nefes tutma olarak 4 farklı şekilde deneyler yapılmıştır. Düşük maliyetli ve ergonomik olarak avantajları öne çıkan önerilen sensör için Bluetooth modülü içeren baskı devre tasarımı yapılmış ve verileri Matlab üzerinde değerlendirilmiştir. Tasarlanan sensör ile 6 farklı test gerçekleştirilmiş ve sonuçları literatürdeki diğer yöntemlerle değerlendirme kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Duyarlılık %94.63, özgüllük %94.25, keskinlik %95.6, standart sapma 0.58 nefes/dk, kök ortalama kare hatası 1.080 nefes/dk, ortalama mutlak hata 0.83 olarak bulunmuş ve kabul edilebilir seviyede olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler — Nefes; non-invaziv solunum takibi; giyilebilir sensör; sensör tasarımı.

Abstract— In this study, a sensor design for the breath tracking system was made using velostat (pressure sensitive foil), neoprene fabric and conductive yarn. As the pressure on it increases, the resistance provided on the velostat decreases, and as the pressure decreases, the resistance value increases. With this feature, it is connected to the body with a belt by taking advantage of the diaphragm movements during breathing and breath detection is provided. With the other sensor types used in the literature, experiments were carried out in 4 different ways as normal breathing, deep breathing, frequent breathing and breath holding. A printed circuit board with a Bluetooth module has been designed for the proposed sensor, which has low cost and ergonomic advantages, and its data has been evaluated on Matlab. 6 different tests were performed with the designed sensor and the results were compared with other methods in the literature according to the evaluation criteria. Sensitivity was 94.63%, specificity 94.25%, precision 95.6%, standard deviation 0.58 breaths/min, root mean square error 1.080 breaths/min, mean absolute error 0.83 and it was shown to be at an acceptable level.

Keywords — Breath; non-invasive respiratory tracking; wearable sensor; sensor design.

I. Giriş

Literatürdeki solunum takibi sistemleri, solunum hızı belirleme metotları incelendiğinde genel olarak çalışmaların iki başlık altında toplandığı görülmektedir; temaslı ve temassız sistemler. Temaslı sistemlerde sensörler vücuda bağlanacak şekilde yer alırken temassız sistemlerde ise hiçbir şekilde vücut ile temas bulunmamaktadır. Bu sistemlerde çalışma sırasında deneyin, sadece temassız sistemlerin kurulu olduğu belli bir ortamda olması ve belli bir pozisyonda durması beklenmektedir çünkü kullanıcının solunumu tespiti için temassız olarak ölçülen sinyallerde ortamda yalnızca solunum kaynaklı bir sinyal tespit edilmelidir. Kullanıcının en küçük vücut hareketleri veya dış etmenlerden kaynaklanabilecek gürültüler temassız sensörün algılayacağı sinyalleri bozabilir. Bu sebeplerden ötürü temassız sistemlerin dezavantajları bulunmaktadır.

Temaslı sistemler genel olarak çeşitli sensörlerden, teknolojilerden ve özel malzeme yapılarından elde edilen sistemler olarak ortaya çıkmaktadır. Diyafram duvarı hareketini izlemeyi temel alan bir çalışmada, geliştirilen sensör sistemi ultrason tekniğine dayanmaktadır [1]. Nefes alıp verme sırasında oluşan göğüs hareketlerini temel alan ve literatürde en çok tercih edilen sensörlerden ivmeölçer içeren atalet sensörleri de kullanılmıştır [2-5]. Hekimlere akciğer hastalıklarının teşhisinde yardımcı olmak için belirli akciğer seslerini otomatik olarak tanımlayabilen elektronik stetoskop ve hırıltı seslerini otomatik olarak ayırabilen algoritma geliştirilmiştir [6]. Aynı zamanda başka bir mikrofon yardımı ile de kalp atış hızını takip edebilmektedir [7, 8]. Tıpta çokça kullanılan EKG (Elektrokardiyografi) yöntemi de hem solunum hem de kalp ritmi izlemek için literatürde temaslı yöntemler arasında yerini almıştır [9,10].

Solunum sırasında dışa verilen nefesin analizi için Grafen Oksit tabanlı, neme bağlı olarak direnç değişikliği gösteren malzemeler ile yüz maskesi kullanımı tercih edilmiştir [11, 12]. Yine nem değişimine dayalı olan başka bir çalışmada ise alüminyum oksitle kaplanmış metal elektrot dizileriyle oluşturulan sensör yapısı nem değişimiyle kapasitif özellik gösterdiği ortaya koyulmuştur [13].

Ağız-burun bölgesine konumlandırılan başka bir çalışmada piezo elektrik malzemenin rezonans frekansı değişimi temel alınmış [14], Kağıdın higroskopik özelliğinden yararlanılarak,

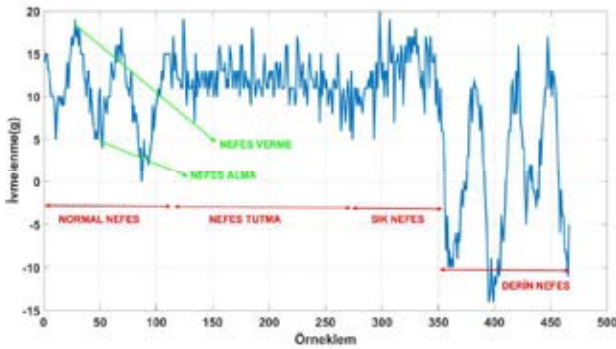
selüloz liflerinin yüzeyindeki su miktarı takip yapılmıştır [15]. Fiber anten üzerinde göğüs hareketlerinden dolayı oluşan gerginlik kullanılarak [16], Rezistif ve esneyebilir baskı devre tasarımında solunum kaynaklı vücut hareketleri ile değişen direnç değeri [17] ve kuvvete duyarlı sensör üzerinde yine solunum kaynaklı vücut hareketleri ile değişen direnç değeri de [18] solunum takibinde kullanılmıştır. Temaslı sistemler kategorisinde tekstil tabanlı bir çalışmada ise iletken gümüş iplikli sensör ile solunum verileri elde edilmiştir [19].

Bu çalışmada, ticari olarak satılan velostat malzemenin basınç karşısında direnç değişimi kullanılmıştır. Ancak malzemenin tek başına yetersiz kalması sebebiyle neopren kumaşlar arasında sıkıştırılarak iletken iplikler ile iletkenlik sağlanmış ve hassasiyet artırılmıştır.

II. KULLANILAN YÖNTEMLER

A. İvmeölçer

MMA845X ivmeölçer ve Arduino Uno ile yapılan deneyde, sensör diyafram bölgesine bir kemer ile bağlanmış ve nefes alıp verme sırasında oluşan hareketten faydalanılmıştır. Öncelikle normal nefes alıp verme ile başlayan deneyi sırasıyla nefesin tutulması, sık nefes alıp verme ve derin nefes alıp verme takip etmiştir. Şekil. 1'de ivmeölçerin z ekseninden okunan veriler gösterilmiştir. Nefesin tutulması ve sık nefeste anlamlı veriler elde edilemediği gözlenmiştir.



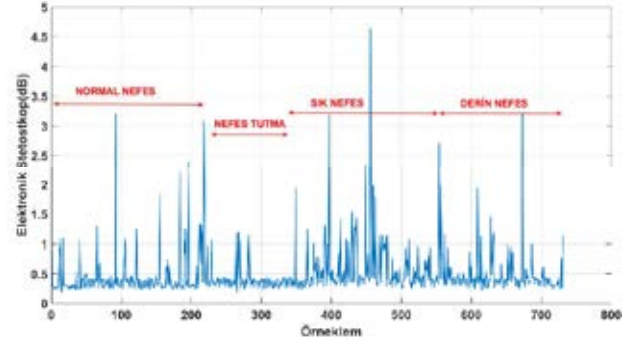
Şekil 1. İvmeölçer Verileri

B. Elektronik Stetoskop

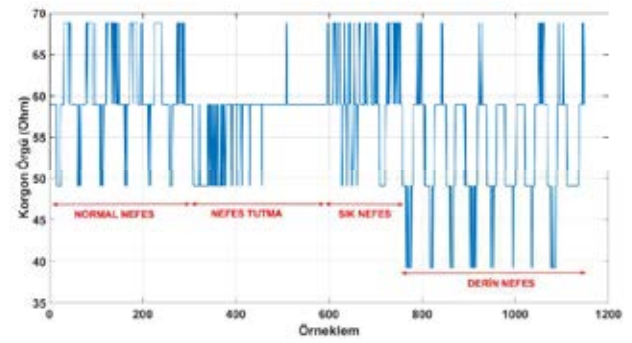
MAX4466 mikrofon modülü ile GALENA stetoskop içine yerleştirilen mikrofon ile oluşturulan elektronik stetoskop ile göğüs altı diyafram bölgesinden deney yapılmıştır. Şekil. 2'de gösterildiği gibi anlamlı veriler elde edilememiştir.

C. İletken İplikli Kordon Örgü

İletken iplik ve örgü ipi yapılan kordon örgü esnek bir yapıya sahip olmuştur. Bu esneme sayesinde diyafram bölgesine kemer ile bağlanıp nefes sırasında oluşan diyafram hareketlerinden örgü gerginleşip gevşemektedir. Gerilmesi sırasında iletken ipliklerin birbirine teması, örgünün iki ucundan alınan direnç değerini değiştirmiş böylelikle rezistif bir yapı elde edilmiştir. Şekil. 3'te gösterildiği gibi istenilen şekilde anlamlı veriler elde edilememiştir.



Şekil 2. Elektronik Stetoskop Verileri



Şekil 3. Kordon Örgü Verileri

D. Önerilen Sensör Yapısı - Velostat

Bu çalışma kapsamında tasarlanan sensör yapısında basınç ile direnç değişikliği gösteren velostat malzeme kullanılmıştır. Bu malzemenin hassasiyetini artırmak için nispeten sert olan neopren kumaş aynı ölçülerde kesilerek üzerlerine iletken iplik dikiş noktaları işaretlenmiştir. İşaretlenen yerlerden iletken iplik ile geçilmiştir. İletken iplik iletken yol olarak görev alırken, üzerlerine iletken iplik dikilmiş olan neopren kumaşlar birbirine zıt yönlerde arasında velostat malzeme koyularak kapatılmıştır. Şekil 4'te sensör yapısı gösterilmiştir.

Kapatılan kumaşlar daha sonra normal etamin iplik ile kenarlarından dikilerek birbirine yapışması sağlanmıştır.



Şekil 4. Önerilen Sensörün Yapısı

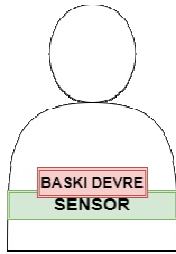
Neopren kumaş sert yapısı gereği velostat üzerinde küçük dokunuşlarda ve bükülmelerde basınç oluşturmaktadır. Aynı zamanda iç kısımda kalan iletken iplikler hem velostat üzerinden direnç okumamızı hem de ipliklerin üst üste binmesi ile velostat üzerinde oluşturulan basıncı artırmada görev almaktadır.

Giyilebilir olması için Bluetooth tabanlı ESP32-WROOM-32D mikrodenetleyici ile lipo pil ile çalışabilen baskı devre tasarımı yapılmıştır. Aynı zamanda vücut hareketlerinden kaynaklanan bozulmaları yakalayabilmek için MPU-6050 atalet sensörü devre kartı üzerine konumlandırılmıştır. Şekil. 5'te tasarlanan devre kartı gösterilmiştir.



Şekil 5. Baskı Devre Kartı

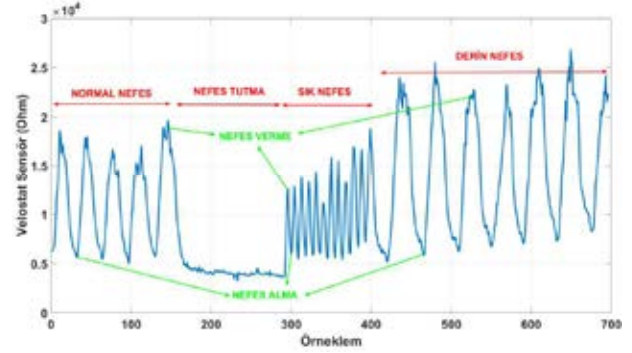
Sensör bir kemer ile diyafram bölgesine bağlanmış ve veriler Bluetooth ile Matlab üzerinden alınmıştır. Şekil. 6'da sensör sisteminin vücut üzerinde konumlandırılması gösterilmiştir.



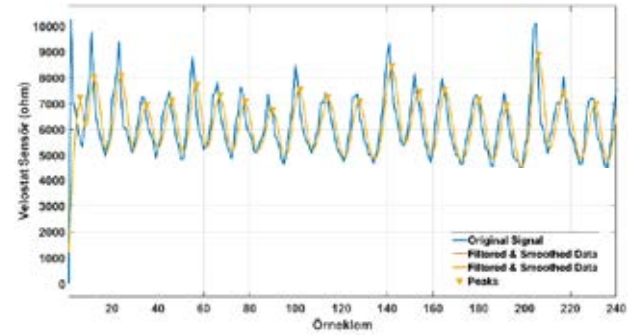
Şekil 6. Sensör Sistemi Vücut Konumu

Yapılan deney sonucunda ölçülen direnç değerleri 4 kohm ile 25 kohm arasında değişmiştir ve Şekil. 7'de gösterilmiştir. Dik oturma pozisyonunda normal bir şekilde nefes alıp verme sırasında yapılan testte ham veriler elde edilmiştir. 2 Hz kesim frekasında, 2. Dereceden Alçak Geçiren Butterworth filtreden geçirildikten sonra Savitzky-Golay filtresi ile yumuşatılmıştır. Uzman görüşüne göre test sırasında 20 tam nefes alıp verilmiştir. Matlab üzerinde yapılan analizde nefes sayısı tespiti için findpeaks fonksiyonu ile tepe noktaları sayılarak 20 nefes/dakika tespit edilmiştir. Şekil. 8'de testin ham verileri ve filtreden geçirilen verileri gösterilmiştir.

Dik oturma pozisyonunda yapılan testin 2 tekrarının yanı sıra, 2'şer kez ayakta ve yatarak testler gerçekleştirilmiş ve sonuçları gözlenmiştir. Tablo I'de gerçekleştirilen 6 farklı testin sonuçları verilmiştir.



Şekil 7. Önerilen Sensör Verileri



Şekil 8. Normal Nefes Testi

TABLO I. ÖNERİLEN SENSÖR TEST SONUÇLARI

Test No.	Önerilen Sensor Testleri		
	Test Koşulu	Uzman Görüşü – Nefes Sayısı	Tespit Edilen Nefes Sayısı
Test 1	Dik oturma	20 nefes/dk	20 nefes/dk
Test 2	Dik oturma	17 nefes/dk	17 nefes/dk
Test 3	Ayakta	16 nefes/dk	15 nefes/dk
Test 4	Ayakta	16 nefes/dk	15 nefes/dk
Test 5	Yatarak	14 nefes/dk	17 nefes/dk
Test 6	Yatarak	13 nefes/dk	14 nefes/dk

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde değerlendirme kriterleri olarak duyarlılık, özgüllük, keskinlik [1,8], kök ortalama kare hatası [2, 5, 7, 8], ortalama mutlak hata [4, 5] ve standart sapma [2, 3, 7, 8] değerleri hesaplanmış ve sonuçlar sunulmuştur. Yapılan 6 testin sonuçları ile bu kriterlere göre hesaplamalar yapılmış ve literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırması Tablo II'de gösterilmiştir.

TABLO II. LİTERATÜRDEKİ DİĞER YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRMA

	Karşılaştırma Sonuçları					
	Duyarlılık	Özgüllük	Keskinlik	KOKH. ^a (nefes /dk)	S.S. ^b (nefes /dk)	OMH. ^c (nefes /dk)
Önerilen Sensör	%94.63	%94.25	%95.6	1.080	0.58	0.83
[1]	%84	%93	%94	-	-	-
[2]	-	-	-	2.27	1.26	-
[3]	-	-	-	-	1.37	-

	Karşılaştırma Sonuçları					
	Duyarlılık	Özgüllük	Keskinlik	KOKH. ^a (nefes/dk)	S.S. ^b (nefes/dk)	OMH. ^c (nefes/dk)
[4]	-	-	-	2	-	-
[5]	-	-	-	1.84	-	0.26
[7]	-	-	-	0.92	0.63	-
[8]	%98.1	%98.3	-	0.93	0.62	-

^a Kök Ortalama Kare Hatası, ^b Standart Sapma, ^c Ortalama Mutlak Hata

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında, literatürde farklı kullanımları olan ivmeölçer sensör denemesinin yanında elektronik stetoskop ve iletken iplikli örgü yapı tasarlanıp denenmiştir. Ancak önerilen velostat tabanlı sensör ile yapılan deneyler sonuçlarında vücut hareketlerinden dolayı gürültüler daha az rastlanırken, ham veriler açısından da nefes alıp vermenin kolaylıkla yakalandığı gözlenmiştir. Literatürdeki değerlendirme kriterlerine göre duyarlılık %94.63, özgüllük %94.25, keskinlik %95.6, kök ortalama kare hatası 1.080 nefes/dk, standart sapma 0.58 nefes/dk ve ortalama mutlak hata 0.83 nefes/dk olarak hesaplanmıştır ve diğer çalışmalara göre karşılaştırma tablosunda gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde sonuçların kabul edilebilir seviyede olduğu görülmüştür. Literatürdeki sensörlere göre giyilebilir teknolojilere daha uyumlu bir sensör önerilmiştir. Günlük giyilebilir olarak kullanımı ve kablosuz veri aktarımı sisteme avantaj sağlamıştır.

Önerilen sensör sistemini validasyonunu sağlamak için literatürde altın standart olarak kabul edilen cihazlar ile eş zamanlı olarak ölçümlerinin yapılması ve dakikadaki nefes sayısını tespit etmede başarı oranının belirlenmesi önemlidir. Validasyon ile farklı test durumlarını test etmek gelecekteki çalışmaların öncü konusu olabilir.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: FBA-2021-4213.

KAYNAKLAR

- [1] A. Shahshahani, C. Laverdiere, S. Bhadra, and Z. Zilic, "Ultrasound Sensors for Diaphragm Motion Tracking: An Application in Non-Invasive Respiratory Monitoring," *Sensors*, vol. 18, no. 8, p. 2617, Aug. 2018.
- [2] R. Abbasi-Kesbi, A. Nikfarjam and A. Akhavan Hezaveh, "Developed wearable miniature sensor to diagnose initial perturbations of cardiorespiratory system," in *Healthcare Technology Letters*, vol. 5, no. 6, pp. 231-235, 12 2018, doi: 10.1049/htl.2018.5027.
- [3] S. P. Preejith, A. Jeelani, P. Maniyar, J. Joseph and M. Sivaprakasam, "Accelerometer based system for continuous respiratory rate monitoring," 2017 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA), Rochester, MN, 2017, pp. 171-176, doi: 10.1109/MeMeA.2017.7985870.
- [4] A. Cesareo, Y. Previtali, E. Biffi, and A. Aliverti, "Assessment of Breathing Parameters Using an Inertial Measurement Unit (IMU)-Based System," *Sensors*, vol. 19, no. 1, p. 88, Dec. 2018.
- [5] Jortberg E, Silva I, Bhatkar V, McGinnis RS, Sen-Gupta E, Morey B, Wright Jr JA, Pindado J, Bianchi MT. "A novel adhesive biosensor system for detecting respiration, cardiac, and limb movement signals during sleep: validation with polysomnography", *Nat Sci Sleep*. 2018;10:397-408.
- [6] D. Chamberlain, J. Mofor, R. Fletcher and R. Kodgule, "Mobile stethoscope and signal processing algorithms for pulmonary screening and diagnostics," 2015 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), Seattle, WA, 2015, pp. 385-392, doi: 10.1109/GHTC.2015.7344001.
- [7] A. Valipour and R. Abbasi-Kesbi, "A heartbeat and respiration rate sensor based on phonocardiogram for healthcare applications," 2017 Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), Tehran, 2017, pp. 45-48, doi: 10.1109/IranianCEE.2017.7985502.
- [8] R. Abbasi-Kesbi, A. Valipour and K. Imani, "Cardiorespiratory system monitoring using a developed acoustic sensor," in *Healthcare Technology Letters*, vol. 5, no. 1, pp. 7-12, 2 2018, doi: 10.1049/htl.2017.0012.
- [9] A. M. Chan, N. Selvaraj, N. Ferdosi and R. Narasimhan, "Wireless patch sensor for remote monitoring of heart rate, respiration, activity, and falls," 2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Osaka, 2013, pp. 6115-6118, doi: 10.1109/EMBC.2013.6610948.
- [10] Breteler MJM, Huizinga E, van Loon K, et al, "Reliability of wireless monitoring using a wearable patch sensor in high-risk surgical patients at a step-down unit in the Netherlands: a clinical validation study", *BMJ Open* 2018;8:e020162.
- [11] M. C. Caccami, M. Y. S. Mulla, C. Di Natale and G. Marrocco, "Wireless monitoring of breath by means of a graphene oxide-based radiofrequency identification wearable sensor," 2017 11th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), Paris, 2017, pp. 3394-3396, doi: 10.23919/EuCAP.2017.7928355.
- [12] M. C. Caccami, M. Y. S. Mulla, C. Occhiuzzi, C. Di Natale and G. Marrocco, "Design and Experimentation of a Batteryless On-Skin RFID Graphene-Oxide Sensor for the Monitoring and Discrimination of Breath Anomalies," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 21, pp. 8893-8901, 1 Nov.1, 2018, doi: 10.1109/JSEN.2018.2867208.
- [13] N. Andre et al., "Miniaturized Wireless Sensing System for Real-Time Breath Activity Recording," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 178-184, Jan. 2010, doi: 10.1109/JSEN.2009.2035666.
- [14] S. Moradian and R. Abdolvand, "MEMS-based passive wireless respiration profile sensor," 2016 IEEE SENSORS, Orlando, FL, 2016, pp. 1-3, doi: 10.1109/ICSENS.2016.7808422.
- [15] F. Güder et al., "Paper-Based Electrical Respiration Sensor", *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 55, no. 19, pp. 5727-5732, 2016. Available: 10.1002/anie.201511805.
- [16] M. Roudjane, S. Bellemare-Rousseau, M. Khalil, S. Gorgutsa, A. Miled, and Y. Messaddeq, "A Portable Wireless Communication Platform Based on a Multi-Material Fiber Sensor for Real-Time Breath Detection," *Sensors*, vol. 18, no. 4, p. 973, Mar. 2018 [Online]. Available: 10.3390/s18040973.
- [17] Niu, S., Matsuhisa, N., Beker, L. et al, "A wireless body area sensor network based on stretchable passive tags", *Nat Electron* 2, 361-368 (2019). Available: 10.1038/s41928-019-0286-2.
- [18] M. Hesse, P. Christ, T. Hörmann and U. Rückert, "A respiration sensor for a chest-strap based wireless body sensor," *SENSORS*, 2014 IEEE, Valencia, 2014, pp. 490-493, doi: 10.1109/ICSENS.2014.6985042.
- [19] C. M. Yang et al., "Textile-based capacitive sensor for a wireless wearable breath monitoring system," 2014 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, NV, 2014, pp. 232-233, doi: 10.1109/ICCE.2014.6775985.