



Solunum Sistemi Takibi ve Egzersizlerine Yönelik Cihazlar Üzerine Sistematik Bir İnceleme

Fatma Betül DERDİYOK^{1*} , Kasım SERBEST²

¹ Biyomedikal Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye.
22500305004@subu.edu.tr.

² Mekatronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye.
kserbest@subu.edu.tr

ÖZ

Solunum egzersizleri torakal bölgede duyuşsal ve mekanik uyarı oluşturma; göğüs duvarı altında bulunan akciğer bölgesinin havalanmasını artırmayı amaçlayan manuel olarak yapılan uygulamalardır. Solunum fonksiyonlarında problem olan kişilerin tedavisinde pulmoner rehabilitasyon programı kapsamında fizyoterapistler tarafından uygulanmakta ve ev rehabilitasyon programı içerisine dahil edilmesi gerekmektedir. Bu egzersizlerin hasta tarafından doğru postür ve biçimde yapılması bunun yanında hastanın progresyon takibinin yapılması tedavinin etkinliği açısından önem arz etmektedir. Derleme çalışması kapsamında, solunum sistemine yönelik cihazların; hasta verilerini almak, solunum eğitimini desteklemek, telerehabilitasyon ile entegre çalışmak üzere tasarlanan sistemlere odaklanıldığı sistematik bir inceleme çalışması sunulmaktadır. Çalışmada akademik araştırmalar, patentler ve ticari ürünlere ait cihazlar ve özellikleri incelenmektedir. İncelenen cihazlar güçlü ve zayıf yönlerine göre karşılaştırılmaktadır. Literatürde incelenen çalışmalar neticesinde solunum sistem verilerini almak ve solunum eğitimini aktif uyarılar ile karşılamak üzere tasarlanan cihazların hastaların solunum mekaniğini destekleyerek solunum kapasitelerini artırabilmekte olduğu değerlendirilmektedir. Buna ek olarak telerehabilitasyon ile entegre sistem tasarımlarının pulmoner rehabilitasyon için ev ortamında rehabilitasyona katkı sağlanabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Pulmoner rehabilitasyon, Giyilebilir teknoloji, Hasta- uzman arayüzü, Solunum kapasitesi

A Systematic Review on Devices for Respiratory System Monitoring and Exercises

ABSTRACT

Respiratory exercises create sensory and mechanical stimulation in the thoracic region; they are manual applications that aim to increase the ventilation of the lung area under the chest wall. In the treatment of people with problems in respiratory functions, they are applied by physiotherapists within the scope of pulmonary rehabilitation program and should be included in the home rehabilitation program. It is important that these exercises are performed by the patient in the correct posture and form, as well as the progression follow-up of the

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: 22500305004@subu.edu.tr

patient in terms of the effectiveness of the treatment. Within the scope of the review study, a systematic review of the devices for the respiratory system is presented, focusing on systems designed to receive patient data, support respiratory training, and work integrated with telerehabilitation. In the study, academic research, patents and commercial products and their features are analyzed. The analyzed devices are compared according to their strengths and weaknesses. As a result of the studies reviewed in the literature, it is evaluated that devices designed to receive respiratory system data and meet respiratory training with active stimuli can increase the respiratory capacity of patients by supporting respiratory mechanics. In addition, it is evaluated that system designs integrated with telerehabilitation can contribute to rehabilitation in the home environment for pulmonary rehabilitation.

Keywords: Pulmonary rehabilitation, Wearable technology, Patient-expert interface, Respiratory capacity

1 Giriş

Solunum sistemi solunum yolları, akciğer, göğüs kafesi, göğüs boşluğu, solunum kasları ve bu yapıları denetleyip kontrol eden sinir sisteminden oluşmaktadır [1]. Bu yapılar içerisinde akciğer; göğüs boşluğunda yer alan, alt kısmında diyafram kaburgalar (kosta) arası interkostal kaslar ile çevrili bir organdır. Akciğer, arası sıvı ile dolu çift katlı plevra adı verilen bir zar ile çevrilidir ve bu yapı içerisinde bulunan plevral sıvı etkisiyle recoil özellik kazanmaktadır. Akciğerin bu yapısı sayesinde, dış ve iç basınç değişimlerine duyarlı hale gelmekte ve solunum mekaniği sorunsuz bir şekilde gerçekleşmektedir. Solunum mekaniğinin sağlıklı bir şekilde ilerlemesi için solunum kaslarının etkili bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

Solunum Kasları; diyafram, eksternal- interkostal kaslar ve skalen, sternokleidomastoid gibi yardımcı kas gruplarından oluşmaktadır. Akciğeri tamamen sararak inspirasyon ve ekspirasyonda aktif rol oynayan interkostal kaslar, solunumda önemli rol oynayan kas grubu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kaslar içerisinde diyafram akciğerin mekanik olarak desteklenmesinde görev alarak zorlu ekspirasyon başta olmak üzere solunum döngüsünde önemli bir yere sahiptir. İnterkostal kaslar kaburgalar arası saran iki tabakalı kas filamentlerinden oluşmuş yapıdır. Kas liflerinin konumlanma şekli kostanın yönlendirilmesinde ve göğüs kafesinin hacminde değişim yaratmaktadır. Diyafram ve interkostal kaslar haricinde solunuma yardımcı kaslar da göğüs kafesinin hacminde değişim oluşturarak solunumda rol alabilmektedir.

Solunum kaslarının disfonksiyonu, solunum kaslarında güçsüzlüğü nedeniyle işlevini yerine getirmede zorlanma ve yetersizlik durumudur. Sağlıklı solunum sistemine sahip bireyde solunum kasları, hava yolu ve çevreleyen dokular gibi dış faktörlerin oluşturduğu dirence karşı koyabilecek güçtedir [2]. Ancak kas iskelet sistemi hastalıkları [3], obstrüktif ve restriktif hava yolu hastalıkları [4] gibi solunum kaslarının etkilendiği durumlarda solunum kasları aktivasyonu azalmakta ve kişilerin inspirasyon ve ekspirasyon fizyolojisi etkilenmektedir. Solunum fizyolojisi ve mekaniğinin bozulduğu durumlarda fizyoterapistler tarafından pulmoner rehabilitasyon adı verilen tedavi programı uygulanmaktadır.

Pulmoner rehabilitasyon, Avrupa Solunum Araştırmaları Derneği (ERS) ve Amerika Toraks Derneği (ATS) tarafından yapılan tanımlamaya göre; kronik solunum problemine sahip ve semptom gösteren, kişinin günlük yaşam aktivitelerine olumsuz yönde etkilendiği; kanıta dayalı, disiplinler arası çalışma sunan, kişiye özelleştirilmiş tedavi oluşturmayı hedefleyen uygulamalar bütünü olarak tanımlanmaktadır. Bu tedavi yaklaşımı kişilerin fiziksel ve psikolojik durumunu iyileştirme, uzun dönemli sağlığı koruma ve geliştirme üzerine yoğunlaşmaktadır. Pulmoner rehabilitasyonda temel amaçlar; kişilerin hastalık nedeni oluşan semptomlarını azaltmak, kişilerin fiziksel ve emosyonel iyilik halini koruma ve sürdürmeye yardımcı olmak, günlük yaşam aktivitelerini rehabilitasyon ile entegre ederek kişilerin bağımsız katılımını geliştirmeye, yaşam kalitesini artırmaya çalışmaktır. Pulmoner

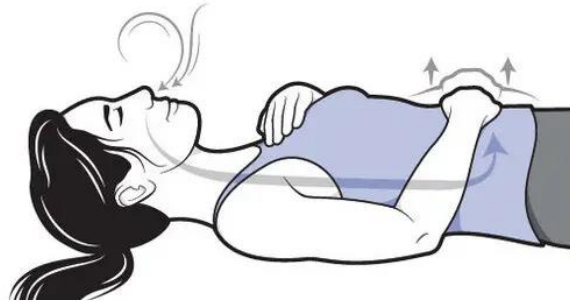
rehabilitasyon içerisindeki uygulamalar; hasta eğitimi, egzersiz programının oluşturulması ve eğitilmesi, çeşitli teknikler, genel yaşam aktiviteleri (GYA) ve psikososyal destek ve rehberlik ile çok çeşitli ve kapsamlıdır.

Pulmoner rehabilitasyonun önemli bir parçası olan solunum egzersizleri; solunum fonksiyonlarında azalma görüldüğü, solunum kas aktivitesinin yeterli düzeyde olmadığı durumda; akciğer hacmini artırmak, solunum iş yükünü azaltmak, inspirasyon ve ekspirasyonu fizyolojik standartlarına uygun gerçekleştirebilmek için pulmoner rehabilitasyon içerisinde yer alan terapötik müdahalelerden biri olarak tanımlanmaktadır [5]. Solunum egzersizleri diyafram solunumu, segmental solunum, kontrollü solunum vb. türleri içermektedir.

Diyafram Solunumu; diyafram kası ile gerçekleşen yavaş ve derin solunum olarak tanımlanmaktadır. Diyafram solunumunda hastadan arzu edilen; göğüs kaslarının daha az aktif olduğu, abdominal duvar kaslarının daha baskın yer aldığı bir solunum gerçekleştirmesidir. Bunun için hastanın baskın kullandığı elini kaburgaların bitiminde, karın bölgesinde tutması ve diğer elinin de göğüs üzerine konulması istenmektedir. Hasta derin solunum yaparken havanın karın bölgesine yönelmesi için abdominal duvara baskı yaparken, göğüs duvarının şişmemesi için kendisini kontrol etmesi istenmektedir [5] (Bkz. Şekil 1).

Diyafram solunumu ile;

- Ventilasyon ve akciğer havalanması artmaktadır.
- Solunum iş yükü azalmaktadır.
- Diyafram hareketliliği ve torakal mobilite artmaktadır.
- Alveollerde gaz değişimi düzenlenmektedir.
- Yardımcı solunum kas aktivitesi azalmaktadır.
- Soluk hacmi ve solunum parametrelerinde iyileşmeler sağlamaktadır [5].



Şekil 1: Diyafram solunumu. [6]

Literatürde torakal ekspansiyon egzersizleri olarak da adlandırılan segmental solunum egzersizleri ise göğüs kafesi üzerinde belli bölgelere basınç uygulayarak o bölgelerde proprioepsiyon uyarısı ve mekanik uyarı oluşturma; göğüs duvarı altında bulunan akciğer bölgesi havalanmasını artırmayı amaçlayan manuel uygulama olarak tanımlanmaktadır. Uygulama; ekspirasyon sonrasında akciğerin havalanması istenilen bölgesinin iz düşümü göğüs duvarı bölgesine, el ile uygulanan basınca karşı akciğerin o bölgesini şişirmeye çalışma şeklindedir. Basınç uygulanan göğüs duvarının altında bulunan interkostal kaslar uyarılmakta ve basınç uygulanan akciğer bölgesini havalandırmak için göğüs o yönde hareket etmektedir (Bkz. Şekil 2). Böylelikle hastanın o bölgeye olan dikkati ve farkındalığı artmakta ve o göğüs bölgesi daha aktif çalışmaya başlamaktadır [5].

Segmental solunum ile;

- Kişilerin solunum fonksiyonları düzelmekte
- Solunum mekaniği düzenlenmekte
- Sekresyon birikimi önlenmekte
- Torakal mobilite artmakta
- Plevral boşlukta sıvı birikmesi engellenmekte
- Stres seviyesi azalmaktadır [5].



Şekil 2: Segmental solunum [7].

Solunum sistemi problemleri yaşayan kişilerde, solunum egzersizleri rehabilitasyonun önemli kısmını oluşturmaktadır. Ancak hastanelerde; hasta istihdamının sınırlı olması, hastaya ayrılan vaktin kısıtlı olması nedeniyle rehabilitasyon hizmetine yeterince ulaşamamakta ve hastalar tarafından pulmoner rehabilitasyon uygulamaları konusunda bilgi eksikliği, tedaviye ulaşım imkanında problemler görülmektedir. Bunlara ek olarak, kliniklerde pulmoner rehabilitasyona ulaşım sağlayan kişilerin, solunum egzersizlerini; ev rehabilitasyon programı içerisinde, uzmanın tavsiye ettiği şekilde uygulaması gerekmektedir. Bu bağlamda her geçen gün değişen ve gelişen teknolojik yapılar, sağlık sistemine ait problemlere çözüm sağlamada öncülük etmektedir.

Bu çalışmanın amacı solunum sistemine yönelik son zamanlarda yapılmış çalışmış çalışmaların detaylı bir incelemesini yapmaktır. Bu doğrultuda sonraki kısımlarda çalışmalara ait bulgular araştırmalar sunulmaktadır.

2 Metodoloji

Bu derleme çalışmasında, farklı özelliklere sahip solunum sisteminin takip ve/veya tedavisinde kullanılmak üzere tasarlanan cihazları belirlemek amacıyla Ekim 2023'te araştırılan çalışmaları sunulmaktadır. Çalışma akademik yayımlar, patent/ faydalı modeller ve ticari ürün olarak üç ayrı grupta incelenmektedir.

Akademik araştırmalar geleceğe yönelik tasarım fikirlerinin ve etkilerinin ortaya konması için önemli bir araç olmuştur. Bu derleme çalışmasında, solunum sistemine yönelik cihazlar ve kullanıcıların değerlendirilmesinin sunulduğu çalışmalar incelenmiştir. Akademik yayımlar incelenirken Web of Science, Scopus, Google Akademik, IEEE Explore ve Springer Link veri tabanları üzerinde arama yapılmıştır. Araştırmalarda anahtar kelime olarak “breathe device”, “breathe guide device”, “ventilation conceptual design”, “segmental breathe exercises”, “wearable breathe device”, “telerehabilitation in

pulmonary rehabilitation” vb. sözcük grupları aranmıştır. Elde edilen çalışma örnekleri taranarak derleme çalışması kapsamına uygun çalışmalardan seçilen örnekler sunulmaktadır.

Solunum sistemi problemlerinin tespiti, analizi ve problemlerin çözümü için geçmişten beri çeşitli cihaz tasarımları oluşturulmuştur. Bu tasarımların bir kısmı patent olarak tescillenmektedir. Solunum ile ilgili patent araştırması için Ekim 2023’te; Google patent, Espacenet patent araştırmaları içeren internet sayfaları üzerinden “segmental breathing”, “breathe device”, “pulmonary rehabilitation”, “breathing exercises” vb. anahtar kelimeler ile arama yapılmış, bulunan patentler derleme çalışmasında sunulmaktadır.

Ticari ürünler belirli bir sorun karşısında toplumun ihtiyaç, talep ve yöneliminin belirlenebilmesinde yardımcı olabilmekte ve yerel ve uluslar arası pazarlarda kullanıcıya sunulmaktadır. Solunum sistemi problemleri yaşayan kişilerin solunum sistemini takip etmek ve desteklemek üzere piyasaya arz edilen çeşitli ticari ürünler çalışma kapsamında incelenmiştir. Bu açıdan Google arama platformu üzerinden “breathing device”, “pulmonary rehabilitation”, “breathing exercises” vb. anahtar kelimeleri kullanılarak yapılan aramalarda çeşitli ticari ürün yetkilisinin online platformuna ulaşılmış, derleme çalışmasında sunulmaktadır.

Derleme çalışması kapsamında incelenen araştırma, patent ve ticari ürünler yukarıda belirtilen anahtar kelimeler özelinde araştırması yapılmıştır. Araştırmada; tasarlanan ürünlerin solunum sistemi özelliklerine ait verilerin izlenmesi, semptomaya yönelik tedavi yaklaşımları, solunum verilerinin yapay zeka uygulamaları ile takibi üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Solunum sistemi takibi içerisinde solunum sesi, göğüs hacim değişimi, solunum ritmi, solunum kas kuvvet ölçümü gibi özellikleri içeren çalışmalar yer almaktadır. Solunum tedavisinde ise solunum kontrolünü sağlayarak stres kontrolünü amaçlayan giyilebilir ya da taşınabilir cihazlar, diyafram solunumunun eğitilmesine odaklanan cihazlar, solunum yollarında biriken sekresyonun atılımına yönelik giyilebilir cihazlar, solunum kapasitesini artırmaya yönelik taşınabilir ya da giyilebilir cihaz örnekleri yer almaktadır. Bu sonuçlar derleme çalışması kapsamında bir elemeye tabi tutulmaktadır. Bu eleme derleme çalışmamızın odak noktasına yakın olması nedeniyle solunum takip sistemleri, solunum kas aktivitesini artırmayı amaçlayan solunum egzersizlerinin öğretilmesini sağlayan cihazlar ve çeşitli donanımlar içeren mobil uygulamalı sistemler özelinde yapılmaktadır. Bu kapsamda akademik yayınlar, patentler ve ticari ürünler araştırılarak detaylı inceleme sonuçları sonraki kısımlarda sunulmaktadır.

2.1 Akademik Yayınlar

Solunum sistemine yönelik cihaz tasarımı araştırması konusunda literatürde birçok çalışma yer almaktadır. İncelenen çalışmalar; bir sonraki bölümlerde, solunum takibi yapmakta olan ve solunum veri takibi ile birlikte solunum egzersiz öğretilmesi üzerinde odaklanan cihazlar olarak iki başlıkta detaylandırılmaktadır.

2.1.1 Sensör bazlı cihaz tasarımına yönelik araştırmalar

Literatüre baktığımızda solunum hızı, ritmi, paterni gibi parametreleri değerlendiren giyilebilir sensörler ile hasta takibi yapabilen sistemler yer almaktadır (Tablo 1). Solunum takibi için torakal mobilitiyi inceleyen bir çalışma örneği, solunum parametrelerinin torasik hareketin kaydını içeren manyetik sensörlerden oluşmuş yelek tasarımıdır. Sensörlerin yer aldığı; sırt skapulaların alt ucundan başlayacak şekilde spinal kord boyunca, trakeanın alt ucunda, kostaların en alt ucunda olacak şekilde konumlandırılmış 4,6 ve 8 noktanın oluşturduğu torasik hacim şablonu MATLAB programı üzerinden takip edilmektedir. Aynı zamanda bu çalışma kişilerin solunum parametrelerini de spirometre cihazı ile ölçerek ağızdan ölçülen solunum hacimleri ile, torakal yer değiştirme verileri ile olan ilişkiyi

incelemektedir. Çalışma sonucuna göre 6 ve 8 köşeli solunum hacim ölçümünün solunum parametreleri ile daha uyumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir [8].

Solunum takibi için tasarlanan cihazlarda bulunan giyilebilir sensörlerin daha küçük boyutlarda geliştirilerek tekstil malzemeleri ile birleştirilmiş birçok çalışma örneği bulunmaktadır [9-11]. Bu örneklerden biri incelenecek olursa; Yang ve ark. [12] yaptığı çalışmada; obstrüktif solunum hastalıkları, astım gibi durumlarda hastanın takibini sağlayabilmek ve monitörize edebilmek için giyilebilir, yıkanabilir ve dayanıklı tekstil malzeme ile oluşturulmuş bir sensör sistemi tasarımı sunulmaktadır. Bu araştırma iletken iki gümüş iplik kumaş ile bağlantılı sensör ve bunları birbirinden ayıran suni elyaftan oluşan bir kemer tasarımından oluşmaktadır. Kemer göğüs ve abdominal bölgeye bağlanarak göğüs ve abdominal solunumu, dalga formunda takip edebilmektedir. Aynı şekilde bluetooth sistemi ile verileri mobil cihaza aktarabilmekte ve hasta takibini sağlayabilmektedir.

Solunum hastalıklarının sadece günlük yaşamda değil uyku sırasında takibinin yapılmasını sağlayan cihaz tasarımları da bulunmaktadır. Bunlardan biri olan uyku apnesinin belirlenebilmesi ve analizi için Bethel ve ark. [13] yaptığı çalışmada, uyku testlerinin karmaşık bir sistem olması, birçok kablo içermesi ve testin uygulanmasını zorlaştırması sorununa çözüm için tek bir giysi üzerinde birçok sensör barındıran, giyilebilir bir sinyal kaydedici sistem üretilmektedir. Giysi; solunum takibi, interkostal ve diyafram kasların EMG sinyali ve kalp hızı için EKG verilerinin alındığı sensörlerden oluşmaktadır. Solunum döngüsü içerisinde diyafram ve interkostal kas aktivitesi, EMG ile takip edilerek uyku apnesi incelenmektedir. Bunun yanı sıra kalp hızı ve inspirasyon analizi monitörize edilmekte ve apne tespiti yapılabilmektedir. Cihaz evde kullanıma olanak tanınması, uzaktan takip edilebilmesi ile telerehabilitasyon çalışmalarına ön ayak oluşturmaktadır.

Literatürde solunum ve fizyolojik parametrelerin sensörler ile alındığı tasarımlar görülmektedir. Alınan bu verileri sağlık uzmanına iletebilen, bağlantı kurabilen ve bir alanda depolayabilen bilişim sistemi oluşturma üzerinde tasarlanan bilişim sistemi çalışmaları da bulunmaktadır. Bu sistemlerden biri olan “WELCOME” adlı akıllı bulut bilişim sistemidir. Sistem; KOAH gibi solunum sistemi problemlerini belirlemek, hastadan giyilebilir sensörler aracılığı ile alınan verileri bir havuzda toplama, depolama ve hasta-doktor arasındaki erişimi ve 24 saat takip sağlamaktadır. Sistem hasta merkezi, sistem bulutu ve karar sistemini içermektedir. Hastadan veri alma sistemi, üzerine sensörler yerleştirilmiş bir yelekten oluşmaktadır. Yelek ile SpO₂, EIT (elektiriksel empedans tomografi bulguları, oskültasyon, EKG), aktivite verileri alınmakta ve hasta merkez platformunda toplanmaktadır. Sistem bulutu ise içerisinde depolama, özellik belirleme ve karar destek unsurlarını içermektedir. Karar destek sistemi ile hastanın klinik verileri, sensörlerden alınan veriler ve çıkarımlar ile ilgili hastayı bilgilendirici alarm, uyarı ve sağlık uzmanının klinik müdahaleleri için durum tahminleri yer almaktadır. [14]

Tablo 1. Sensör bazlı solunum cihazı çalışmaları ve özellikleri.

Referanslar	Amaç	Veri	Sensör	Uyarıcı sistem
[8]	Manyetik sensörler ile akciğer kapasitelerinin saptanması ve spirometre değerleri ile karşılaştırılması.	Akciğer hacmi	Manyetik sensör (trakSTARTM)	-

[9]	Solunum monitörizasyonu için bir tekstil sensörü tasarlama.	Solunum ritmi	Kapasitif sensör	Görsel geri bildirim
[10]	Solunum monitörizasyonu için bir tekstil sensörü tasarlama.	Solunum ritmi	Kapasitif sensör	Görsel geri bildirim
[11]	Solunum monitörizasyonu için bir tekstil sensörü tasarlama.	Solunum ritmi	Kapasitif sensör	Görsel geri bildirim
[12]	Solunum monitörizasyonu için bir tekstil sensörü tasarlama.	Solunum ritmi	Capacitive sensor (with silver fiber thread)	Görsel geri bildirim
[13]	Uyku apnesi tespiti için giyilebilir bir solunum takip cihazı geliştirme	Solunum kasi aktivitesi, Solunum ritmi, Kalp atış hızı	EMG, EKG	-
[14]	WELCOME bulut bilişim sistemi	Bioharness	-	Solunum verileri (ritm,sayısı vb.)

2.1.2 Solunumu yönlendirici sistem tasarımına yönelik araştırmalar

Pulmoner rehabilitasyon seanslarında öğretilen ve hastaların ev programı dahilinde uygulanması istenen solunum egzersizleri; hastanın tedaviyi doğru biçimde uygulaması ve tedavi devamlılığı takibi açısından değerlendirilememektedir. Solunum terapisinde, hastalığın takibi ve progresyonu ile ilgili bilgi almanın yanı sıra pulmoner rehabilitasyona destek olabilecek, hastaya rehberlik edebilecek cihazlara da ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde hastaların solunum sinyallerini değerlendiren ve solunum egzersizlerine destek ve rehberlik eden birçok tasarım örneği bulunmaktadır (Tablo 2).

Pulmoner rehabilitasyonun tedavi uygulamalarından olan; solunum eğitimi, relaksasyon egzersizleri, kontrollü solunum gibi tedavi yaklaşımları, stresle başa çıkmada önem arz etmektedir. Literatürde kontrollü solunum eğitimi ile stres yönetimi sağlamayı amaçlayan, sanal gerçeklik kullanılarak oluşturulmuş sistemler bulunmaktadır [15]. Bunlardan biri; yogik solunumdan örnek olarak derin ve kontrollü solunum yapabilmek amacıyla kişilerin solunumunu izleyebilen ve solunum tekniklerinin doğru bir şekilde uygulanması için kişilere rehberlik eden giyilebilir bir cihaz tasarımıdır. Cihaz kalp hızını tespit etmek için bileğe takılan bir sensör ve kişilerin postür ve solunum bilgilerinin alınmasını sağlayan, giyilebilir sensörlü bir kemerden oluşmaktadır. Bileğe takılan sistem, nabız sensörü içermesinin yanında kişilerin verilerini yansıtan, küçük bir ekran ile monitörize etmektedir. Abdominal bölgeye takılan kemer üzerinde kişilerin postürünü izlemeyi sağlayan fleks sensörü bulunmaktadır. Aynı sistem üzerinde solunum takibi için göğüsteki genişleme ve daralmaya duyarlı ivme ölçer içeren bir sensör bulunmaktadır. Bunların yanı sıra solunum paternindeki sapmaları uyarlamak için titreşim veren

bir titreşim motoru bileklik üzerinde yer almaktadır. Çalışma test edildiğinde, bu cihaz ile farklı solunum tiplerinin kolayca ayırt edilebildiği ve hastayı doğru solunum biçimine yönlendirebildiği değerlendirilmektedir [16].

Aynı amaçla oluşturulmuş başka bir çalışmada, kişilerin solunum hızlarını düzenleyerek stres seviyelerini azaltmak için geri besleme yöntemini içeren bir cihaz tasarımı görülmektedir. Bu emniyet kemeri gibi bir kemere veya bir kayışa kolayca takılabilen bir sistem şeklinde tasarlanmıştır. Sistem içerisinde hava keseleri, eyleyici dizisi ve solunum takibini monitörize eden bir yapı yer almaktadır. Sistemde, solunum hızının takibi için Bioharness cihazı ile solunum, Qsensör ile elektrodermal aktivite takibi yapılmaktadır. Pnömatik eyleyiciler, kişinin solunum tipini yönlendirebilmek için üzerinde bulunan hava keselerini şişirip içindeki havayı boşaltarak kişiye taktik uyarı vermektedir. Hava keselerini şişme sırası mobil cihaz üzerinden kontrol edilebilmektedir. Sistem denendiğinde, balonların sırası ile şişirilmesi ile kişilerde solunum biçimine daha kolay adaptasyon sağladığı, bu sayede solunumlarının düzenlendiği belirtilmektedir. Sistemin ileriki çalışmaları için gerçek koşullarda, günlük yaşam aktiviteleri sırasında ve yüksek stres seviyelerine sahip kişilerde uygulanması gerektiği değerlendirilmektedir [17].

Literatürde solunum analizi ve takibini inceleyen sistem tasarımları arasında görsel geri bildirim ile solunum egzersizlerine destek olan çalışma örnekleri yer almaktadır. Bu örneklerden biri olan; KOAH hastalarının solunum takibi üzerinde yapılan çalışmada; torakal mobilitayı ölçebilen ve mobilite takibi için hasta ve sağlık uzmanı için gerçek zamanlı monitörize edebilen bir cihaz tasarımı sunulmaktadır. Cihaz; göğsü çevreleyen bir kablo ve sternumun alt ucunda konumlandırılmış, göğüs çevresi değişimini ölçen bir encoderdan oluşmaktadır. Göğüs çevre değişimleri, görsel geri besleme özelliği ile bilgisayar ekranına aktarılması ile hasta takibi yapılabilmektedir. Sistemin iki genç erkek üzerinde denemesi yapılmıştır. Deneme sırasında ilk önce görsel geri bildirim olmadan, derin inspirasyon ve ekspirasyon yapılması istenmiş; daha sonra aynı solunumu şeklinde, eş zamanlı görsel geri bildirim ile kişilerin takip etmesi sağlanmıştır. Bu iki ölçüm arasında değerlendirme yapıldığında; görsel geri bildirim olmadığı durumda, kişilerde çabuk yorulma gerçekleşmesi nedeniyle torasik eklem hareket açıklığının (EHA) azaldığı, görsel geri bildiri ile kişilerde daha stabil ve geniş torasik EHA olduğu görüldüğü belirtilmiştir [18].

Görsel geri bildirim geliştirilip mobil oyun uygulama ile birleştirilmesi ile tasarlanan sistem çalışmaları da yer almaktadır. Bunlardan biri olan Stafford ve ark. [19] yapmış olduğu çalışma, solunum problemleri yaşayan insanların solunum egzersizlerini yapmada rehberlik edecek ve bu egzersizleri eğlenceli hale getirebilecek sistem tasarımıdır. Sistem solunum takibi için bir göğüs kemeri, mikrofon ve bir akıllı mobil cihazdan oluşmaktadır. Akıllı mobil uygulama olarak kurulmuş oyun sistemi, mikrofon ve kemerden alınan inspirasyon bilgisi ile ekranda bulunan karakterin inspirasyon ile yukarı yönde, ekspirasyon ile aşağı yönde hareket etmesini sağlayarak oyundaki engellerden geçilmesini şeklinde kurgulanmaktadır. Cihaz, akıllı mobil cihazı olan herkesin bu uygulamaya ulaşabilmesini, hasta solunum verilerinin alınmasını hedeflemektedir. Hastadan alınan ventilasyon döngüsü bilgisini, hastanın solunum sağlık profilini ve progresyonunu ortaya koyabilmesi ile sağlık uzmanlarına yol gösterici olabilmektedir. Mobil oyun ile uyarlanarak, çocukların egzersiz eğitimini desteklemek üzere sunulmuş bir örnek Siering ve ark. [20] yaptığı çalışmadır. Çalışma; solunum disfonksiyonu ve astım problemi gibi solunum problemi yaşayan; dispne, düşük egzersiz kapasitesi, yüzeysel solunum semptomları gösteren çocukların solunum ritimlerini düzenlemek için onların ilgisi ve odağını yakalayabilecek bir solunum eğitimi cihazı tasarlanmaktadır. Çocuklara derin solunum öğretilerek soluk hacmi ve akciğer kapasitesini artırmak amaçlanmaktadır. Bunun için sistem, çocuğun solunum derinliğini ölçebilen giyilebilir bir yelek ve egzersizle entegre bir mobil oyundan oluşmaktadır.

Giyilebilir yelek üzerinde LED ışıklar bulunmaktadır. Bu LED ışıklar arasında kullanılan sensör; parçaların birbiri ile olan uzaklığını analiz etmekte, parçaların birbirine yaklaşmasına duyarlı olması ile de sensörlerin birbirine uyguladığı basıncı ileterek göğüs duvarındaki değişimi gösterebilmektedir. Aynı zamanda bu yelege eklenmiş LED lambalar da bu değişim ile birlikte yanıp sönmektedir. LED lambalar, beyaz renge döndüğünde “solunum ritmi iyi değil”, ışıklar söndüğünde “solunum iyi ve ritmi normal” anlamına gelmektedir. Solunum ritmine ait bütün bilgiler oyun üzerine aktararak çocuğun solunum ritmi ve yeterliliği (derin, yüzeysel solunum) ile ilgili bilgi ekran üzerinde bulunan barlarda gösterilmektedir. Oyunun arayüzü incelendiğinde; oyun, uzayda yaşam süren karakterlerin hayatta kalmaları için gereken enerji ve oksijen miktarını karşılamak üzere kullanıcının solunumun verilerini oyun- oyuncu etkileşimi olarak kabul eden bir kurguya sahiptir. Oyun amacına uygun olarak karakterin enerji miktarı (solunum pozisyonu, derinlik) ve ihtiyaç duyduğu oksijen miktarı (solunum ritmi) çocuğun solunumunun düzgünlüğü ile karşılanmaktadır. Aynı şekilde ekran üzerinde yelek üzerindeki ışıklandırma durumu görsel olarak gösterilmektedir. Bu cihaz prototip olarak üretilmiş ve faydalılık denetimi için çocukların kullanımına sunulduğunda, çocukların solunum egzersizlerine odaklarında artma görülmekte ve sistem kullanılabilir bulunmaktadır. Özellikle cihazın LED ile uyarıcı görevi “Cihazın solunum egzersizlerine rehberliğinde daha açık ve anlaşılır olmasını sağlamıştır.” şeklinde yorumlanmaktadır. İlerleyen süreçler için “Bu sistem, solunum hastalıklarının kökeninin bulunması ve hastalık şiddetinin analiz edilmesinde kullanmak üzere geliştirilmesi ve çocuğun bedensel gelişimine bağlı olarak kişiselleştirilmesi sağlanabilir.” değerlendirmesi yapılmaktadır. Bunun yanında yelek tasarımının çocuklar için daha ilgi çekici ve güzel görünüme sahip olabileceği önerisi de bulunmaktadır.

Sağlıklı bir solunum döngüsünde, kişilerin ventilasyon ile oksijen dolan akciğer alanları maksimum seviyededir. Ancak dış (hava kirliliği, sigara vb.) ve iç (solunum yolu enfeksiyonları, solunum sistemi hastalıkları vb.) unsurlar nedeniyle bu alanların havalanmasında problemler görülebilmektedir. Pulmoner rehabilitasyonda sekresyon birikimini önlemek, havalanma alanlarını genişletmek için solunum egzersizlerinin yanı sıra solunum mekaniğine uygun, torakal hareketliliği artırıcı, normal solunumu destekleyici çeşitli uygulamalar (perküsyon, vibrasyon, postüral drenaj vb.) yapılmaktadır. Literatürde bu uygulamaları tıbbi cihaz ile yapabilen ve ventilasyon döngüsünü destekleyen bir çalışma örneği karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışma; tetrapleji (sinir hasarı) nedeniyle solunum kaslarında işlevsizliğe sebep olan, ileri seviye solunum kas güçsüzlüğü görülen kişilerde; zorlu ekspirasyon mekanizması desteklemek, solunum döngüsünü taklit etmek amacıyla solunum mekanik modeli kuran bir cihaz tasarlanmaktadır. Cihaz kullanıcının maksimum ekspiratuvar kas gücünü artırmak için karın ve göğüs üzerine negatif ve pozitif basınç uygulayan vakumlu bir sistemden oluşmaktadır. Negatif basınç sağlayan kompresyon aktivatörü diğer bir adıyla demir akciğer, dış iskelete modüle edilmekte, aynı zamanda pozitif basınç ile interkostal ve diyafram kasının kasılmasını taklit etmektedir. Pozitif basınç abdominal kasları sıkıştırarak diyaframı yukarı yönde hareket ettirmekte ve kapalı olan glottisin açılması ile havanın dışarı hızla çıkışı, yani maksimum ekspirasyonu sağlanmaktadır. Bu cihazın deneysel sonuçlarında kişilerin sekresyon atımlarını kolaylaştırdığı, akciğerin havalanma alanlarının genişlediği değerlendirilmektedir [21]. Mekanik uyarılar ile akciğerin havalanma alanlarını artırmayı amaçlayan pulmoner rehabilitasyon uygulamalardan biri segmental solunumdur. Mekanik uyarılar ile bu solunum tipini uyaraabilen giyilebilir bir cihaz tasarımı örneği Tsaknaki ve ark. [22] tarafından sunulmuştur. Sistem ses sanatçılarının nefes kontrolü sağlayarak fonetik yeteneklerini geliştirmesinden yola çıkarak, solunum kontrolünü deneyimlemeyi sağlayan bir cihaz tasarımı üzerinde yoğunlaşmaktadır. Çalışmada hem solunum tiplerinin deneyimlenmesi ve öğretilmesi hem de solunum sırasındaki farkındalığı yaklaşımlarına yer verilmektedir. Bunun için çalışmada ilk önce, ses eğitmenlerinin rehberliğiyle solunum tipleri öğretilmekte daha sonra sensörler yardımı ile solunum takibi yapılmaktadır. Solunum takibi için gerinim sensörü kullanılmış olup, gerilim değişimine duyarlı bir kemeri daha sert ve sıkı bir kemer olacak şekilde modifiye edilerek cihaz tasarımında sunulmaktadır. Aynı zamanda rektus

abdominus kasların aktivitesini, dansçıların kullandığı dar bir elbiseye monte edilen EMG sensörleri ile inceleyen giyilebilir ekipman da yer almaktadır. Ayrıca solunumun hissedilmesi, taktik uyarı ile doğru solunumun uyarılması ve eğitilmesini sağlamak için sensör- eyleyici yastık sisteminden oluşan “solunum kabuğu” adlı bir sistem oluşturulmuştur. Bu yastıklar toraksın anterior, lateral ve posteriorunda konumlanmaktadır. Yastıklar şişerek dışarıdan bir el gibi kişinin toraksına basınç uygulayarak solunumun o bölgede yoğunlaşmasını sağlamaktadır. Aynı şekilde nefes verildiğinde yastıklar içindeki hava boşalarak ekspirasyonu desteklemektedir. Tasarım denenmiş ve solunum takibi, destekleme ve farkındalığında etkili ve dikkat çekici olduğu yönünde değerlendirilme yapılmaktadır. Sistemin ileriye yönelik çalışmaları için fizyolojik sinyallerin takibi ile kişilerin solunumunu kapsamlı, ayrıntılı değerlendirme ve daha etkili destekleme sağlanabileceği değerlendirilmektedir.

Tablo 2: Aktivatör bazlı solunum cihazı çalışmaları ve özellikleri.

Referanslar	Amaç	Veri	Sensör	Uyarıcı sistem
[13]	Sanal gerçeklik kullanarak solunum kontrolünün sağlanması.	Solunum hızı, ritmi	EquiVital biyosensörü	Görsel geribildirim
[14]	Yogik solunum ve teknik uygulama performansını değerlendirmek için giyilebilir bir cihazın tasarımını araştırmak.	Kalp atış hızı Duruş Solunum ritmi ve paterni	Nabız sensörü Esnek sensör Jiroskop ve ivmeölçer (MPU 6050)	Titreşim aktüatörü Görsel izleme
[15]	Stres yönetimi için geri bildirim yöntemi ile solunum ritmini düzenleyen giyilebilir bir cihaz oluşturmak.	Solunum hızı	Bioharness göğüs kemeri	Pnömatik aktüatör
[16]	Torasik dilatasyonu inceleyebilecek ve geri bildirim sağlayabilecek bir cihaz tasarlamak	Torasik genişleme	Encoder (Microtech, MLS- 30)	Görsel geri bildirim
[17]	Solunum problemi olan hastaların solunum egzersizlerine katılımını artırmak için sanal bir oyun tasarlamak.	Solunum sayısı, göğüs genişleme miktarı	Akustik sensör, Advanpro göğüs kemeri (hızlanma sensörü dahil)	Görsel bildirimlerle mobil oyun
[18]	Solunum problemi olan çocuklarda nefes eğitimini desteklemek için çocukların motivasyonunu ve odağını	Solunum ritmi ve derinliği	Reflexible tekstil	Görsel geri bildirim

	artıran, mobil oyunla entegre giyilebilir cihaz tasarlamak.			LED ışık
[19]	Solunum sensörünü yatak ve sandalyeye entegre ederek hasta takibini sağlamak.	Göğüs genişleme miktarı Oksijen doygunluğu	Gerinim sensörü Pulse oximeter	-
[20]	Farklı solunum paternlerinin tespitini destekleyebilecek bir cihaz tasarlamak.	Solunum kası hareketi Göğüs genişleme miktarı	EMG, Gerinim sensörü (Basınç sensörü)	Pnömatik yastık aktüatörü

2.2 Patentler

Tablo 3'te yer alan patentler detaylı incelenecek olunursa; Patent örneklerinden ilki Dietz tarafından 1984 yılında, solunum hava akımının kısa süreli kesilmesi olarak tanımlanan apne rahatsızlığını tespit etmek için solunum sensör sistemi oluşturma düşüncesi üzerine şekillenmektedir. Bunun için torakal genişleme ve daralmayı pnömatik yollarla algılayan kemer şeklinde pnömatik sensör yer almaktadır. Hasta bu kemeri giymekte ve kemer üzerinden hava kanalları ile uygun bir monitöre bağlanmaktadır. Pnömatik sensörün çalışma mantığına göre, kişi inspirasyon yaparken göğü genişlemesi cihazdan pozitif hava akışına dönüşmekte yani basınç etkisi göstermekte; ekspirasyon yaparken göğüs kasılması, daralması ise negatif basınca dönüşmekte yani vakum etkisi göstermektedir. Bu şekilde oluşan değişimler monitörde takip edilebilmektedir. Cihaz pediatrik ve yetişkin grup dahil olmak üzere antropometrik ölçülere uyum sağlayabilen, hastanın vücut hareketlerine izin veren, kullanımı kolay ve ergonomik yapıda tasarlanmıştır. Cihazda, düşük maliyetli malzemelerden kolayca üretebilmek ve kullanılıp atılabilecek kadar basit halde tasarlamak amaçlanmaktadır [23].

İkinci çalışma 2004 yılında Verheem tarafından patentlenen; solunuma rehberlik etmek amacıyla sesli, görsel veya duyuşal sinyaller sağlayan elektronik zamanlayıcı cihaz tasarımıdır. Cihaz solunum rehberliğini; kişi solunum yaparken nefes alma, verme ve nefesi tutma uzunluğu oranını zamanlayıcı ile düzenleyerek yapmaktadır. Bunun için kullanıcının verilen uyarıya uygun olarak nefes alma, verme ve tutma uzunluğunu ayarlaması beklenmektedir. Cihaz göğüs, el bileği ve ayak bileğine takılabilecek şekilde kemer aparatı ile kullanılmaktadır [24].

Üçüncü çalışma 2007 yılında Murphy tarafından, kişilerin solunumunu algılamak için elektromekanik sensörler ve taktik uyarı ile geri bildirim sağlamak için dönüştürücü (elektronik transdüser) içermektedir. Sistem birbirlerine bağlanmış üç kemerli bir görünüme sahiptir. Solunum analizi içerisinde solunum hızı, derinliği elektrik sinyallerine elektromekanik sensörler ile dönüştürülmektedir. Solunumu takiben alınan elektrik sinyallerinin genliği solunum derinliğine, periyot uzunluğu solunum hızına karşılık gelmekte değerlendirmesinde bulunmaktadır. Aynı zamanda cihaz; solunum farkındalığını artırmak için kişilere, dönüştürücüler yardımıyla titreşim, darbeleme benzeri duyuşal uyarı ile geri dönütte bulunmaktadır [25].

Dört numaralı patent, Wasnick tarafından 2008 yılında patentlenen cihaz; derin nefes alma eğitimi vermek üzere tasarlanmış gövdeye takılan kemerden oluşmaktadır. Cihaz üzerinde göğüsün anahtar bulunmaktadır. Derin nefes egzersizi sırasında karının banda karşı genişlemesi bandı aktifleştirmektedir. Karın yeterince genişlemediği takdirde anahtar aktifleşmemekte gösterge aktifleşmemektedir. Bu şekilde kişi solunum derinliği ile ilgili geri bildirim alabilmektedir [26]. Bir sonraki patent, 2008 yılında Brauers tarafından tasarlanan, solunum egzersizlerine rehberlik etmek amacıyla solunum sensör sistemi ve sensör sinyalinin işleme yöntemi üzerinde çalışmaktadır. Bunun için kişinin ventilasyonunu izleyen bir kontrol ünitesi ve egzersiz ritmini düzenlemek için kullanıcıya sesli, görsel veya dokunsal uyarılar ile yönlendirmede bulunan bir talimat cihazı ve veri sinyalini işlemek ve solunum egzersizini ayarlamak için kontrolör içermektedir. Tasarımda, solunum fazlarını ve hızını inceleyebilen algılayıcı sistemler için piezoelektrik eleman veya kuvvet sensörü alternatiflerinin kullanılabilmesi belirtilmektedir. Bu sensörler kullanılarak inspirasyon ve ekspirasyonu içeren solunumun hangi aşamada olduğu saptanmakta ve her bir aşamanın süresi belirlenmektedir [27].

Altı numaralı, Amurthur ve ark. 2009 yılında patentlenmiş tasarım; uyku apnesi için solunum izleme sistemi üretmek amaçlı oluşturulmaktadır. Tasarım; izleme sistemi, yapışkan sensörler ve uzaktan izleme sistemini içermektedir. Sensörler içerisinde nabız sensörü ile kalp hızı takibi yapılmaktadır. Postürdeki değişimi incelemek ve solunumu takip etmek için ise ivme ölçer kullanılmaktadır. Sensörlerden alınan veriler sayesinde hastanın solunum durumunu belirlemek için mikroişlemci ile tanımlama yapılmaktadır [28]. Ayrıca kablosuz iletişim cihazına bağlı uzaktan izleme sistemi ile hasta takibi yapılmaktadır. Bir sonraki çalışma; 2012'de Dijk arkadaşları tarafından; solunum yönlendirme, egzersize uygun nefes alma tekniğini öğretmek için işitsel ve dokunsal bilgi sağlayan taşınabilir solunum cihazı tasarımıdır. Sistem, bilgi çıktısının alındığı bilgi çıkış aracı ve solunum bilgisine ait çıktıyı kontrol eden solunuma rehberlik eden solunum yönlendirme cihazından oluşmaktadır. Sistemde solunum hızını, solunum modelini ve değişimleri izlemek için ivme ölçer, kişinin hareketini takip edebilmek için basınç sensörü içermektedir. Bunun yanında kişinin egzersize odaklanmasını incelemek ve ortamdaki gürültü oranını analiz etmek için mikrofon, ışık sensörü ve fizyolojik sensörler yer almaktadır. Kullanıcı sisteme önceden tanımlanmış, solunum egzersizi bilgisine uygun modu seçerek egzersizini yapmaktadır. Fizyolojik verilerin takibi için EKG, EMG içerebileceği alternatif çözüm olarak belirtilmiştir. Cihaz solunuma rehberlik etmek için sesli, görüntülü, taktik (titreşim) uyarıcılar içermekte ve solunumdan sapmalar olduğu durumda geri dönüşte bulunabilmektedir [29]. Bir sonraki çalışma; Gavish ve Doron tarafından 2013 yılında tasarlanan; solunum analiz etmek amacıyla yeni bir yöntem sunan cihaz tasarımıdır. Sistem mikrofon kulaklık ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Ventilasyon periyodunu, ekspirasyon ve ekspirasyon süresini belirlemek için mikrofon ile alınan düşük frekanslı sesleri incelemekte ve dışarı gürültüsü ile ayırt etmektedir. Aynı zamanda kişiyi solunumunu yönlendirmek için kulaklık ile talimat verme özelliği de barındırmaktadır [30]. Bir sonraki çalışma; Al Thalab tarafından 2014 yılında; bronşial astım problemi yaşayan bebeklerin solunum seslerini izlemek için giyilebilir sensör ve bakım vereni uyarmak için göstergeler içeren bir tasarımıdır. Sistem elastik kayış, oksimetre ve alınan bilgileri ileten bir verici sistemden oluşmaktadır. Kemer üzerinde solunum modellerini algılayan akustik sensör içermektedir. Kemere bağlı olan oksimetre bebeğin oksijen alma yüzdesini ölçmektedir. Cihaz aynı zamanda sinyal işleyici ile solunumu, oksimetre değerini birlikte incelemektedir. Bebeğin solunumunun şiddetine göre bebek bakıcısını uyaran bir sesli bir alarm içererek solunum takibi yapabilmeyi sağlamaktadır [31].

Bir sonraki çalışma; Persidsky ve Ahlund tarafından 2015 yılında; solunum egzersizlerine göre solunumu izleme, yönlendirmek ve değerlendirmek üzere cihaz tasarlamışlardır. Sistemde solunumun takip edilmesi için içerisinde aç ve yer değiştirme sensörü barındıran kemer yer almaktadır. Yer değiştirme sensörü, inspirasyon ve ekspirasyonu takip ederken, aç sensörü ise seçilen nefes modeline

yer değiştirme sensörü verilerini karşılaştırma ve kalibre etmek üzere kişinin duruşu ve vücut hareketini izlemektedir. Bunun yanında diyafram nefesini tanımlayıp, takip eden ve oluşan herhangi bir sapma durumunu geri bildirim ile göstermektedir [32]. Bir sonraki çalışma; 2016 yılında Roy ve ark. tarafından, solunum indüktans plestismografisini kullanarak solunum aktivitesini analiz eden sistem tasarlanmıştır. Oluşturulan sistem bir t-shirt ve üzerine sarılmış tel ve bu tele bağlı Colpitts osilatörü içeren elektronik cihazdan oluşmaktadır. Vücutu saran her bir tel vücut parçasının etrafında halka oluşturmaktadır. Oluşan bu halkadan plestismografik sinyal ölçülmekte ve buna göre kişinin fizyolojik ve solunum verileri bu sinyal üzerinden elde edilebilmektedir [33]. Bir sonraki çalışma; 2017 yılında Dwarika tarafından; solunum özelliklerini her koşulda izlemek ve uyarı sistemi oluşturmak üzere tasarım oluşturmuşlardır. Cihaz taşınabilir, vücut üzerinde elbise, takı vb. yapılara yapıştırılabilir küçük boyutta tasarlanmaktadır. Bu cihaz içerisinde akustik sensör barındırmakta ve bunun yanında ivme ölçer, sıcaklık ölçer ve titreşim sensörü içermektedir. Cihaz wifi ile bağlantı kurarak sensörlerden alınan bütün veriler bulut depolama alanında depolanmaktadır [34].

Tablo 3. Patentler.

Ref.	Patent no	Özellik
[23]	US4602643	Ventilasyon sırasında göğüs, karın ve sırttaki hacim artış ve azalışını pnömatik olarak algılar ve izler.
[24]	US2004022482 2A1	Nefes egzersizlerini yönlendirmek için basınç ve elektrik akımı gibi sesli, görsel ve duyuusal sinyaller sağlayan elektronik bir zamanlayıcı cihaz tasarımıdır.
[25]	US2007020343 3A1	Ventilasyon monitörizasyonu ile solunum hızı ve solunum derinliğini ölçen elektromekanik sensörlü elektronik transdüserler ile dokunsal geri bildirim sağlayan giyilebilir bir cihazdır.
[26]	US2008014200 4A1	Anahtar, derin nefes almayı eğitmek için göğüs kemeri ve göğüs genişletme ile etkinleştirilen gösterge sistemidir.
[27]	WO2008139380 A2	Sistem, solunum kemeri ve tekstil kumaşı üzerine monte edilen sensörler ile nefes egzersizlerini yönlendirmek, inspirasyon ve ekspirasyon yoğunluğunu izlemek ve egzersizle bütünleşik bir şekilde yönlendirmek için görsel, işitsel ve dokunsal uyarı sağlayan bir cihazdır.
[28]	WO2009036327 A1	Giyilebilir solunum izleme (biyoempedans sensörü) ve uykuda solunum kalıplarını incelemek için fizyolojik verileri (nabız oksimetresi) ve duruş için hareket bilgilerini (ivmeölçer) alan sensörler ve verileri uzaktan izleyebilen bir kablosuz izleme işlemcisinden oluşur.
[29]	WO2012117376 A1	Özellikle fiziksel aktivite sırasında solunumu yönlendirmek ve yönetmek için hareketi ölçen ses, ışık ve fizyolojik sensörler (ivmeölçer), solunum hızı, solunum paterni, ses, ışık ve fizyolojik sensörlerden oluşan cihaz tasarım önerileri.

[30]	US2013028943 1A1	Solunum süresini, inspirasyonu ve son kullanma süresini analiz etmek için mikrofon ve hoparlör sistemi tasarımı.
[31]	US8663126	Pediyatrik grubun solunum seslerini izlemek için akustik sensörlü giyilebilir göğüs kemeri ve solunum seslerini izlemek ve veri toplamak için mikroışlemcili bir cihazdır.
[32]	US2015034251 8A1	Solunum egzersizlerine göre solunumu izlemek (yer değiştirme sensörü), yönlendirmek ve değerlendirmek (yer değiştirme sensörü) ve duruşu izlemek (açı sensörü) için bir mikrodenetleyici içeren giyilebilir bir nefes eğitim sistemidir; sinyal verilerini alın, işleyin ve iletin.
[33]	CA2896498C	Kişinin fizyolojik parametrelerini, solunum hızını, tidal hacmini, dakika ventilasyonunu pletismografik sinyali ölçerek ölçebilen giyilebilir bir cihazdır.
[34]	US2017007150 6A1	Fizyolojik parametrelerin ve solunumun izlenmesi için akustik sensörlerden (ivmeölçer, mikrofon, titreşim sensörü vb.) oluşan, kötüleşen ilerleme için uyarı sistemine sahip, bluetooth üzerinden veri aktarımı yapılabilen ve toplanabilen giyilebilir bir cihazdır.

2.3 Ticari Ürünler

Solunum takibi için Tablo 4’te gösterilen ticari ürünler incelendiğinde; incelen cihazların birincil amacı çoğunlukla egzersiz performansını değerlendirmek olmakla birlikte literatürde yapılan birçok çalışmada solunum hastalıklarının takibi için de kullanılabilirdiği gösterilmektedir. Belirtilen cihazlar içerisinde solunum takibinin yanında yoga solunumu eğitimi ile relaksasyon sağlamayı amaçlayan Prana cihazı [37] üretilmiştir. Relaksasyon sağlayarak kan basıncını düzenlemek, uyku kalitesini artırmak için üretilmiş bir cihaz örneği de “RESPeRATE” dir [41]. Tabloda belirtilen cihazlar incelendiğinde, cihazların solunum ile ilgili veri alma ve takip özelliklerinin yanı sıra fizyolojik parametrelerden kalp hızı, vücut sıcaklığı gibi verileri ve bunlara ek olarak antrenman sırasındaki aktiviteyi değerlendirmek üzere hareket takibi yapmaktadır. Cihazlar genel olarak veri izlemeyi hedefliyor olsa da birçoğu solunum eğitimi için görsel ve dokunsal geri bildirim sistemleri içermektedir. Görsel geri bildirim için, ekran üzerinden ve mobil uygulama ile veri monitorizasyonunu sağlayabilen; dokunsal geri bildirim için titreşim eyleyicisi içeren cihazlar yer almaktadır. Solunum ile ilgili ticari ürün araştırması yapıldığında, giyilebilir cihazların dışında relaksasyon sağlamak için solunumu yönlendirici, taşınabilir cihazlara rastlanmıştır. Bu cihazlardan ilki; solunum ritmi ve paternini düzenlemek için geliştirilmiş “Bulo” adlı bir solunum egzersiz cihazıdır [42]. Cihaz ağızdan nefes üflenmesi için plastik yapıda bir boru ve nefes analizi yapmayı sağlayan bir aparat içermektedir. Cihaz aynı zamanda mobil uygulama ile elde edilen verileri sunmakta ve solunum egzersizi sırasında kişileri yönlendirmektedir. Cihaz hastanın akciğer kapasitesi, dayanıklılığı ve akciğer yaşına ait bilgiler vermektedir. Hastaya nefes egzersizleri vermekte ve egzersiz sonuçlarını haftalık aylık ve yıllık bazda göstermektedir.

Başka bir cihaz olan “Melo” stres ve anksiyete kontrolü için solunum ve meditasyon egzersizlerini destekleyen taşınabilir bir el cihazıdır [43]. Cihaz elde taşınabilecek kadar küçük boyutta tasarlanmıştır.

Cihaz, kişinin solunum egzersizlerini yönlendirmek üzere ışık ve titreşim şeklinde uyarılar vermektedir. Cihazın, kişilerin solunum kapasitesi derecesine bağlı olarak uygun cihaz tasarımları bulunmaktadır.

Benzer amaçla oluşturulmuş diğer bir ticari ürün, cihaz solunum ritmini düzenlemek için kullanıcıya dokunsal bildirim veren “Moonbird” adlı cihazdır. Cihaz bildirim vermek üzere ritim ile şişip inen bir balon mekanizması ile kişinin cihazın bu ritmine uygun olacak şekilde soluk alıp vermesini istemektedir. Bu şekilde hasta solunum ritmi düzenlenerek, relaksasyon sağlanabilmektedir [44].

Tablo 4: Solunum izleme ve eğitim için ticari giyilebilir ürünler.

Ref.	Ürünler	Özellik	Görsel
[35]	Spire	Solunum verileri ve Fizyolojik veriler (Kalp atış hızı vb.) izleme. Mobil uygulama ile izleme.	
[36]	Oxa	Solunum (Pletisismografi), Kalp Atış Hızı (EKG) ve vücut ısısı (Kızılötesi sensör) izleme. Egzersiz takibi (İvmeölçer).	
[37]	Prana	Diyafram nefesi izleme, duruş kontrolü ve dokunsal stimülasyon ile solunum eğitimi. Mobil oyun ile görsel geri bildirim ve eğlence sağlamak.	
[38]	Eq lifemonitor	Solunum Hızını, Kalp Atış Hızını (EKG) ve vücut ısısını (Termometre) izleyin. Egzersiz takibi (3 eksenli ivmeölçer).	

[39] BioHarness
Zehr

Solunum izleme, veri analizi.



[40] Hexoskin

Solunum hızı ve hacmi (Pletismografi), Kalp atış hızı (EKG) izleme; yorgunluk ve stres seviyesi izleme. Egzersiz hareketi izleme (ivmeölçer).



[41] RESPeRATE

Solunum hızı (gerinim sensörü), gevşemeyi teşvik etmek için sesli geri bildirim sağlar.



[42] Bulo

Solunum kapasitesini belirlemek ve derin nefes almayı kontrol eden bir aparat- mobil uygulama sistemidir.



[43] Melo

Solunum ritmini düzenlemek için kullanıcıya titreşim geri bildirimini vermektedir.



[44] Moonbird

Solunum ritmini düzenlemek için solunum döngüsünü uyarıcı kumanda sistemidir.



3 Tartışma

Bulgular kısmında sunulan çalışma, patent/ faydalı model ve ticari ürünler incelendiğinde; tasarlanan cihazların birçoğunun, stres seviyesinin düzenlenmesi, spor aktiviteleri sırasında kullanıcının solunumunu değerlendirmek ve solunum sistemine ait hastalıkların tespit ve tedavisini incelemek ve desteklemek gibi amaçlar ile geliştirildiği görülmektedir. Çalışma içeriklerinde; solunuma ait parametrelerde solunum hızı, ritmi, paterni, göğüs genişleme miktarı, solunum derinliği, akciğer total hacmi, solunum kas aktivitesi gibi veriler ele alınmaktadır. Bir kısım çalışma, solunum parametreleri yanında; kalp hızı, kan basıncı, oksijen satürasyonu, vücut ısı değişimi gibi fizyolojik değişkenleri; bunlara ek olarak postüral değişim, yorgunluk gibi diğer değişkenleri incelemektedir. Çalışmalarda solunum parametreleri veri takibinde kullanılan sensörler içerisinde en sık kullanılan sensör ivme ölçer olmak üzere gerinim sensörü, kuvvet sensörü, manyetik sensör, EMG, encoder, akustik sensör gibi çeşitli tipleri yer almaktadır. İncelenen çalışma örnekleri çoğunlukla solunum veri takibi amaçlı oluşturulmaktadır. Bu çalışmalarda genelde uyarıcı sistem, görsel geri bildirim yolu üzerinden monitörizasyon ile sağlanmaya çalışılmaktadır. Çalışmaların bir kısmında görsel uyarıcı sistemler, telerehabilitasyon ile entegre olacak şekilde geliştirilmektedir. Bunun yanında bazı çalışmalar; solunum eğitiminde yönlendirici olmak amacıyla sesli uyarı ve taktil uyarı sistemleri eklemektedir. Taktil uyarı oluşturmayı hedefleyen çalışmalarda eyleyici sistemlerinde; titreşim, yumuşak eyleyici unsurlar yer almaktadır.

Solunum sistemine yönelik tasarlanan cihazların; kişilerdeki solunum performansı ve kullanıcı memnuniyeti açısından değerlendirmesi gelecekte oluşturulacak cihazlar için bir ışık tutmaktadır. Bu bağlamda kullanıcı üzerindeki fizyolojik etkilerinin incelendiği çalışmalar incelenmektedir.

Vanegas ve ark. [45] solunum izleme sistemlerini teknik olarak inceledikleri derleme çalışmasında, ele alınan çalışmaların %60'lık oranı solunum verileri içerisinde göğüs duvarı hareketini inceledikleri gösterilmektedir. Bu veri; solunum parametreleri ile ilgili dolaylı değerlendirme yapılabilme imkanı sağlayabilmesi ile solunum verileri içerisinde göğüs duvarı hareketliliği dolayısıyla solunum hızı, solunum ritmi ve derinliği ile ilgili değerlendirme yapmaktadır. Aynı zamanda, solunum veri takibi için kullanılan sensörler gösterilmiş ve sensörler içerisinde en çok tercih edilen ilk üç algılayıcının, sırası ile optik sensör, direnç sensörü, ivme sensörü olduğunu belirtmiştir. Cao ve ark. [46] yaptığı çalışmada; KOAH hastalığının progresyonu, takibi için hastanın vital bulguları dahil olmak üzere solunum paterni, solunum hızı gibi bilgilerini monitörize etmek amacıyla giyilebilir sensör kullanımının, güvenilirliği ve yeterliliği değerlendirmektedir. Katılımcılara pulmoner rehabilitasyon programı içerisinde; solunum paterni, solunum egzersiz eğitimi, 6MWT (6 Dakika Yürüme Testi) ve 24 saatlik fizyolojik takibi yapılmış ve katılımcılar giyilebilir kemer solunum takip cihazı olan SenseEcho cihazını

kullanılmaktadır. Katılımcılar KOAH hastası olan ve olmayan iki grup oluşturulmuş ve bu grupların 6MWT içerisindeki: EKG, oksijen saturasyonu (spO₂), kalp hızı, solunum hızı; 24 saat monitörizasyonda ise: fizyolojik değerleri (vücut ısıları, kan basınçları da dahil sanırım), uyku kalitesi, uyku bozukluğu tespiti vb. bulguları; solunum paterni içerisinde: göğüs solunumu ve diyafram solunumu değerlendirilmektedir. Çalışma sonuçlarına göre cihazın fizyolojik ve solunum parametrelerinin detaylı olarak değerlendirmesini sağlayabilmesi ile hasta uyumu ve solunum rehabilitasyonunun etkileri hakkında daha detaylı ve faydalı bilgiler elde edilebilmesini sağlayabilmekte olduğu; giyilebilir sensör kullanımının solunum hastalarının takibi için önemli olduğu ve pulmoner rehabilitasyon için yol gösterici olabileceği değerlendirilmektedir. Çalışma sonuçları değerlendirilerek, veri analizi ve karıştırıcı faktör düzeltilmesi için kapsamlı bilgi sağlamak üzere elektronik sağlık kayıtlarından alınan bilgileri giyilebilir sistemler tarafından, fizyolojik verilerle birlikte takip etmek gerektiği değerlendirilmektedir. Bu amaca uygun olarak solunum sistemine yönelik tasarlanması planlanan cihazların takip ettiği veriler içerisinde; solunum verileri ve bunların çeşitli sensörler ile dolaylı olarak değerlendirilebileceği görülmektedir. Bunlara ek olarak solunum verileri yanında fizyolojik parametrelerden kalp hızı ve saturasyon bilgisi takibinin dahil edilmesi değerlendirilmelidir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışmalarda uyarı sistemleri genellikle görsel geri bildirim şeklinde olduğu görülmektedir. Zhu ve ark. [47] geri beslemenin ve geri besleme türünün solunum eğitimi üzerindeki etkisini incelemektedir. Çalışmada katılımcılara solunum egzersiz eğitimi verilmekte, egzersiz sırasındaki kalp hızı takibi yapılmaktadır. Katılımcılar herhangi bir geri bildirim uygulanmayan ve görsel, işitsel geri bildirim uygulanan olmak üzere iki gruba ayrılarak değerlendirme yapılmaktadır. Çalışma sonucunda geri beslemenin solunum eğitimi üzerinde önemli etkiye sahip olduğu; uyaran tipi olarak incelendiğinde ise görsel geri bildirim sesli geri bildirim oranla daha etkili olduğu değerlendirilmektedir. Görsel geri besleme üzerinde geliştirilen bir başka çalışmada, sanal gerçeklik ile entegre mobil uygulama tasarlanarak askerlere kontrollü solunum eğitimi için geri besleme yöntemi uygulanmakta ve kişilerin stres seviyelerindeki değişim incelenmektedir. Sistemin test edilmesinin ardından, geri besleme yönteminin kullanılmasının kişilerin katılım ve öğrenmesini geliştirdiği; eğitim başarısına önemli bir katkıda bulunduğu değerlendirilmektedir [15]. Bu nedenle, biofeedback bileşeninin, kişiselleştirilmiş ventilasyon döngüsü, nefesteki düzeltmeler, kararlı bir solunum paterni ve solunum hızını azaltma becerisi geliştirme konusunda daha etkili bir yaklaşım geliştirmede son derece yararlı olduğu değerlendirilmektedir. Cihaz tasarımlarında yer alan diğer bir uyarıcı bileşen taktil uyarı sistemidir. Taktil uyarı propriosepsiyon duyusunu geliştirerek dış dünya ile olan etkileşimimizi derinleştirerek solunum eğitiminde aktif olan sinir yapılarını geliştirmektedir. Teknolojik gelişmeler ile birlikte cihaz- kullanıcı arasında veri aktarımı sağlanarak duyuşal etkileşim sağlanabilmektedir. Bu cihazlar; bedensel farkındalığımızı artırmada yardımcı olarak, duyuşal yeteneklerimiz daha etkili şekilde gelişebilmektedir. Karpashevich ve ark.[48] solunum egzersizleri için şekil değiştirebilen uyarıcı sisteme sahip soma korse tasarımını değerlendirdikleri çalışmada; solunum ritmi ile uyumlu dokunsal uyaran veren pnömatik sistem kurulmuştur. Sistem kişinin solunum döngüsüne uygun olarak kişinin solunum ritmine özel olacak şekilde uyarı sistemini aktive etmektedir. Çalışma sonucunda; bu uyarıcı sistemin, kas sinir sistemi reaksiyonunu geliştirerek solunum egzersizlerini öğrenmede etkili bir yol olduğu değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda kapsamlı bir solunum sistemine rehabilitasyon cihaz tasarımında uyarıcı sistem barındırması ve bu uyarıcı sistemin görsel, sesli ve özellikle taktil uyaranlardan en az biri ile desteklenmesinin rehabilitasyonda hasta farkındalık ve katılımını artıracak olduğu değerlendirilmektedir.

Solunum takibi ile ilgili çalışmaların birçoğu görsel geri bildirim sağlanması için kullanıcıya mobil cihazlar üzerinden ulaşılabilen uygulama vb. arayüz sistemleri sunmaktadır. Bununla birlikte bu cihazların birçoğu hasta takibi yapmak ve hastaya geri dönüşte bulunmaya imkan tanıyan uzaktan takip

özellikleri barındırmamakta buna karşın çalışmaların ileriye yönelik hedefleri içerisinde bahsedilmektedir. Literatürde telerehabilitasyon ile entegre solunum takip cihazları incelendiğinde, araştırmalar içerisinde bulut bilişim sistemlerine ait çalışmaların yer aldığı görülmektedir. Bu sistemlerden biri olan WELCOME; solunum takibi için giyilebilir sensörlü yapı ve bulut bilişim sistemi ile hasta değerlendirmesi yapabilmektedir. Sistemin etkinliğini değerlendirmek üzere Kaimakamık ve ark. [49] KOAH hastalarını WELCOME sistemi ve giyilebilir sensörlü yelek kullanarak hasta verilerini ve gelişimini uzaktan takip etmektedir. Çalışmaya 17 semptom gösteren KOAH hastası (GOLD seviye 2-4) olan, hastane yatışı verilmiş kişiler dahil edilmektedir. Hastaların takibi, hastanede yatış süresi boyunca WELCOME sistemi ile yapılmaktadır. Çalışma sonucunda uzaktan takip sisteminin, hasta verilerini değerlendirebilmesini ve altta yatan hastalık durumlarının daha iyi anlaşılmasını sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Aynı zamanda diğer sağlık profesyonelleri ile iletişim kurabilme yeteneği ile birden fazla komorbiditye sahip hastaları incelemede uzmanlar arasında işbirliğini destekleyebileceği; bu işbirliği ile hastalarının hastalık durumu ve yaşam kalitesi hakkında çok yüksek bir durumsal farkındalık ve hastalıkla ilgili değişkenlerde göze çarpmayan detayların fark edilmesini sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Özellikle Covid 19 salgını sonrasında; solunum rehabilitasyonuna ihtiyaç duyan kişilerin uzaktan takibini sağlayabilecek sistem tasarımı çalışmaları artmakta ve telerehabilitasyon sistemlerinin hastaların solunum fonksiyonlarını iyileştirmede ve olası komplikasyonların azalmasına yardımcı olabileceği değerlendirilmektedir [50- 51]. Derdiyok [52] solunum egzersizleri içerisinde yer alan segmental solunuma yönelik giyilebilir bir cihaz tasarlamakta ve tasarımlar arasında değerlendirme yaparak en ideal cihaz tasarımını detaylı bir şekilde incelemektedir. Yaptığı çalışma içerisinde solunum sisteminin değerlendirmesi, tedaviye yön verici unsur içermesi ve telerehabilitasyon özelliğini barındıracak şekilde özellikler eklenmek üzerinde yoğunlaşmakta, bu özelliklerin solunum cihazında yer alması ile pulmoner rehabilitasyona önemli bir katkı sağlanabileceğini değerlendirmektedir. Solunum fizyoterapistlerine olan ilgi ve ihtiyaç artmakta; kişiler hastane ortamından uzaktan takip edilebilen tedavi yöntemlerine başvurmaya başlamaktadır. Solunum tedavisine olan ihtiyacı karşılamak için tasarlanan cihazlar ile hastaların uzaktan takibi ve desteklenmesi yapılabilmektedir. Bunun yanında solunum tedavisine olan ilgi ve bilgi artabilmektedir. Bu sayede solunum terapisi farkındalığı oluşmakta ve tedaviye olan erişim olanağı artmaktadır. Solunum sistemi rehabilitasyon programının bölgesel ve ulusal yayılımının sağlanması için solunum sistemine yönelik tasarlanan cihaz sistemlerinde telerehabilitasyon özelliğinin yer alması cihazı öne taşıyabileceği ve kullanıcı kitlesinin kapasitesini artırmada önemli rol oynayabileceği değerlendirilmektedir.

4 Sonuç

Bu makale solunum sistemi rehabilitasyonun uygulamalara yönelik tasarım, cihaz, sistemler ile ilgili mevcut patent, araştırmalar ve ticari ürünlerin çeşitli kaynakların taranması ile ayrıntılı bir derleme çalışması sunmaktadır. İncelenen çalışmalar; solunum sistemine ait verilerin alınması, solunum egzersizlerinin çeşitli amaçlarla desteklenmesi özelinde araştırılarak solunum sistemi rehabilitasyonu içerisinde ihtiyaç duyulabilecek cihazları ortaya koymaktadır.

İncelenen tasarımların içerisinde solunum sistemi hastalıklarına sahip kişilerin progresyonunun takip edilmesini sağlayabilme özelliği olan cihazların sağlık uzmanları için daha hızlı ve etkili değerlendirme yapabilmelerine imkan sağlayabilecek veriler sunabilmekte olduğu görülmektedir. Ayrıca sporcuların kullanımına yönelik tasarlanan cihazlar ile de solunum verileri alınarak, sporcunun kondisyonunu değerlendirme imkanı sunulabilmektedir. Bu cihazların klinikte ve klinik dışında aktif kullanılabilmesi sağlandığı takdirde kullanıcıların daha güvenli bir solunum rehabilitasyon sürecini yaşayabileceği değerlendirilmektedir.

Solunum sistemi problemi yaşayan kişiler ya da solunum kontrolü sağlamak isteyen kişiler için solunum egzersizlerinin eğitimi ve bu egzersizler dahilinde solunum kontrolünün uyarılmasını sağlayabilen aktif cihazlar yer almaktadır. Sistem içerisinde eyleyici bulunduran bu cihazların solunum sistemi fizyolojisi ve mekaniğini destekleyerek solunum kontrolü sağlama, akciğer kapasitesi artırmaya yönelik tedaviyi destekleyici olabileceği değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra solunum kontrolü sağlanarak stres seviyesini azaltmak da olduğu da ortaya konulan sonuçlardan biridir.

Çalışma sonucunda solunum sistemini destekleyen çalışmaların sayısının gün geçtikçe artmakta olduğu, ihtiyaçlar doğrultusunda fonksiyonlarının gelişmekte olduğu ve hatta yapay zeka ile entegre sistemleri kullanmaya yöneldiği görülmektedir. Buna ek olarak solunum sistemi verilerini almak, değerlendirmek; solunum rehabilitasyonunu desteklemek üzere solunum sistemi problemi olsun olmasın herkesin solunum sisteminin kontrol ve gelişimini sağlamak açısından solunum sistemine yönelik değerlendirme ve destekleme odaklı cihazlar solunum sistemini rehabilite etmede önemli bir yere sahip olduğu değerlendirilmektedir. Bununla birlikte yapay zeka ile desteklenen tasarımların mobil uygulama formunda kullanıcıya ulaştırılması ile daha fazla kişinin solunum rehabilitasyonuna ulaşım imkanı sağlanabilmekte, kontrollü izleme ile progresyon takibi yapılabilmektedir.

Solunum sistemine yönelik cihaz tasarımı planlanması durumunda tasarımcıların; sistem içerisinde solunum verileri yanında fizyolojik verilerin takibinin yapıldığı; solunum eğitiminin desteklendiği ve bu amaçla görsel/ sesli/ taktik uyarıcıların sisteme dahil edildiği ve telerehabilitasyon ile entegre bir yazılım içeren tasarım oluşturulduğu bir sistem ile solunum rehabilitasyonuna önemli katkı sağlayabileceği, optimum tasarımı oluşturabileceği değerlendirilmektedir.

5 Beyanname

5.1. Rakip Çıkarlar

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

5.2. Yazarların Katkıları

Fatma Betül DERDİYOK: Çalışma fikrinin oluşturulması, literatür incelemesi, patent ve ticari çalışmaların incelenmesi, derleme sonuçlarının sunulması, makale yazımı ve sorumluluğu.

Kasım SERBEST: Çalışma fikrinin oluşturulması, makalenin gözden geçirilmesi ve yazım düzenlemelerinin yapılması.

Kaynakça

- [1] Bacak, G., & Gümtüştekin, K. (2007). ÖSS'ye Hazırlanan Öğrencilerin Deneme Sınavları Ortalamaları İle Solunum Parametreleri Arasındaki İlişki. (Yüksek lisans tezi). Atatürk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Fizyoloji Anabilim Dalı, Erzurum.
- [2] Yamak, D., & Yamak, B. (2019). Solunum Mekanikliği. (s. 21). Ankara: Hipokrat kitabevi.
- [3] Aboussouan, L. S. (2009). Mechanisms of exercise limitation and pulmonary rehabilitation for patients with neuromuscular disease. *Chronic Respiratory Disease*, 6(4), 231-249.
- [4] Laghi, F., & Tobin, M. J. (2003). Disorders of the respiratory muscles. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 168(1), 10-48.
- [5] nytimes.com [Internet]. USA; Breathe Better With These Nine Exercises; 2018 [Alıntılama tarihi: 22 Kasım 2022] Erişim adresi: <https://www.nytimes.com/2020/07/18/at-home/coronavirus-breathing-exercises.html>
- [6] fizyoo.com [Internet]. Türkiye; Solunum Egzersizleri Fizik Tedavi; 2018 [Alıntılama tarihi: 22 Kasım 2022] Erişim adresi: <https://fizyoo.com/solunum-egzersizleri-fizik-tedavi/>
- [7] Ergene, T., Karabibik, D. (2019), Pulmoner Fizyoterapi- Rehabilitasyonun Teknikleri ve Tamamlayıcıları, (89-101) Ankara: Hipokrat Kitabevi.
- [8] Loubet, M., Goujon, L., & Barthod, C. (2021). Recording breathing volumes with magnetic motion sensors, dedicated to COPD during the CPT session. 3rd Eurasia Conference on Biomedical Engineering, Healthcare and Sustainability.(s. 60-62).Taiwan: Tainan, Mayıs 28-30.
- [9] Yang, C. M., Huang, W. T., Yang, T. L., Hsieh, M. C., & Liu, C. T. (2008). Textiles digital sensors for detecting breathing frequency. 5th International Summer School and Symposium on Medical Devices and Biosensors. (s. 276-279). China: Hong Kong, Haziran 1-3.
- [10] Xiao, G., Ju, J., Lu, H., Shi, X., Wang, X., Wang, W., ... & Lu, Z. (2022). A Weavable and Scalable Cotton-Yarn-Based Battery Activated by Human Sweat for Textile Electronics. *Advanced Science*, 9 (7), 1-14.
- [11] Zhao, C., Liu, D., Xu, G., Zhou, J., Zhang, X., Liao, C., & Wang, Y. (2022). Recent advances in fiber optic sensors for respiratory monitoring. *Optical Fiber Technology*, 72, 1-12.
- [12] Yang, C. M., Yang, T. L., Wu, C. C., Hung, S. H., Liao, M. H., Su, M. J., & Hsieh, H. C. (2014). Textile-based capacitive sensor for a wireless wearable breath monitoring system. *IEEE International Conference on Consumer Electronics*. (s. 232-233). USA: Las Vegas, January 10-13
- [13] Bethel, S. J., Joslin, C. T., Shepherd, B. S., Martel, J. M., & Dow, D. E. (2015). Wearable at-home recording system for sleep apnea. 17th International Conference on E-health Networking, Application & Services, (s. 149-152). USA: Boston, October 14-17.
- [14] Chouvarda, I., Philip, N. Y., Natsiavas, P., Kilintzis, V., Sobnath, D., Kayyali, R., ... & Maglaveras, N. (2014). WELCOME—innovative integrated care platform using wearable sensing and smart cloud computing for COPD patients with comorbidities. 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, (s. 3180-3183). USA: Chicago, August 26- 30.
- [15] Kluge, M. G., Maltby, S., Walker, N., Bennett, N., Aidman, E., Nalivaiko, E., & Walker, F. R. (2021). Development of a modular stress management platform (Performance Edge VR) and a pilot efficacy trial of a bio-feedback enhanced training module for controlled breathing. *PLoS one*, 16(2), 1-22.
- [16] Puranik, K. A., & Kanthi, M. (2019). Wearable Device for Yogic Breathing. *Amity International Conference on Artificial Intelligence*. (s. 605-610). United Arab Emirates: Dubai, Şubat 4-6.
- [17] Choi, K. Y., Lee, J., ElHaouij, N., Picard, R., & Ishii, H. (2021). Aspire: clippable, mobile pneumatic-haptic device for breathing rate regulation via personalizable tactile feedback. *Conference on Human Factors in Computing Systems*, (pp. 1- 8). Japan: Yokohama, Mayıs 8-13.
- [18] Ando, T., Kawamura, K., Fujitani, J., Koike, T., Fujimoto, M., & Fujie, M. G. (2011). Thoracic ROM measurement system with visual bio-feedback: System design and biofeedback evaluation. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, (pp. 1272-1274). USA: Boston, Ağustos 30- Eylül 3.
- [19] Stafford, M., Lin, F., & Xu, W. (2016). Flappy breath: A smartphone-based breath exergame. *IEEE First International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies*. (pp. 332-333). USA: Washington, Haziran 27-29.
- [20] Siering, L., Ludden, G. D., Mader, A., & van Rees, H. (2019). A Theoretical Framework and Conceptual Design for Engaging Children in Therapy at Home—The Design of a Wearable Breathing Trainer. *Journal of Personalized Medicine*, 9(2), 27.

- [21] Zhang, Y., Wang, Z., Ge, Q., Wang, Z., Zhou, X., Han, S., ... & Wang, D. (2022). Soft Exoskeleton Mimics Human Cough for Assisting the Expectorability of SCI Patients. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 30, 936-946.
- [22] Tsaknaki, V., Cotton, K., Karpashevich, P., & Sanches, P. (2021). "Feeling the Sensor Feeling you": A Soma Design Exploration on Sensing Non-habitual Breathing. *Conference on Human Factors in Computing Systems*. (s. 1-16). USA: New York, Mayıs 8-13.
- [23] Dietz, H. G. (1986). U.S. Patent No. 4,602,643. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [24] Verheem, J. B. (2004). U.S. Patent No. 10/839,998. Carlsbad, CA: U.S. Patent Application Publication
- [25] Murphy, M. (2007). U.S. Patent No. 11/657,831. New York, NY: U.S. Patent Application Publication.
- [26] Wasnick, M. S. (2008). U.S. Patent No. 11/639,657. Poulsbo, WA: U.S. Patent Application Publication.
- [27] Brauers, A. (2008). W.O. International Application Number: PCT/IB2008/051797
- [28] Amurthur, B., Bly, M. J., Libbus, I., & Manicka, Y. D. (2009). U.S. Patent No. 2008/0142004. Chicago: US. Patent Application Publication.
- [29] Dijk, E. O., Janssen, J. H., Westerink, J. H. D. M., De Vries, J. J. G., & Dooren, M. Van. (2012). Patent No. PCT/IB2012/050984. Gronenewoudseweg, Eindhoven: U.S. World Intellectual Property Organisation, International Application Published Under the Patent Cooperation Treaty.
- [30] Gavish, B. ve Doron, Y. (2013). U.S. Patent No. 13/926,840. Gereda, IL: U.S. Patent Application Publication.
- [31] Al Thalab, F. S. (2014). U.S. Patent No. 8,663,126. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [32] Persidsky, A. M., & Ahlund, R. A. (2015). U.S. Patent No. 14/706,939. San Francisco: U.S. Patent Application Publication.
- [33] Roy, J. F., Fournier, P. A., Robillard, C., Corriveau, R., Dubeau, S., Gagne-turcotte, A., & Khouya, D. (2016). CA Patent No. 14/955,749. Ottawa: Canadian Intellectual Property Office.
- [34] Dwarika, J. (2017). U.S. Patent No. 15/147,293. Rochester, N.Y.: U.S. Patent Application Publication.
- [35] techcrunch.com [İnternet]. San Francisco (CA): Josh Constine; [Alıntılama tarihi: 22 Kasım 2022]. Erişim adresi: <https://techcrunch.com/2014/06/17/spire-breath-taker/>
- [36] thegadgetflow.com [İnternet]. New York (USA): Genevieve Healey; 2022 [Alıntılama tarihi: 22 Kasım 2022]. Erişim adresi: <https://thegadgetflow.com/portfolio/oxa-breathing-wearable-uses-live-biofeedback-to-both-reduce-stress-improve-sleep/>
- [37] prana.co [İnternet]. USA; Prana; 2022 [Alıntılama tarihi: 22 Kasım 2022] Erişim adresi: <https://prana.co/pages/how-it-works>
- [38] equivital.com [İnternet]. Cambridge (UK): Eq lifemonitor; 2022 [Alıntılama tarihi: 22 Kasım 2022]. Erişim adresi: <https://equivital.com/products/eq02-lifemonitor/>.
- [39] zephyranywhere.com [İnternet]. Colorado (ABD): Zephyr; 2022 [Alıntılama tarihi: 22 Kasım 2022]. Erişim adresi: <https://www.zephyranywhere.com/system/overview>
- [40] hexoskin.com [İnternet]. Montréal (Canada): Hexoskin; 2013 [Alıntılama tarihi: 22 Kasım 2022]. Erişim adresi: <https://www.hexoskin.com/>.
- [41] Resperate.com [İnternet]. New Jersey (ABD): Resperate; c 2017-2023 [güncelleme 2023 4 Eylül; Alıntılama tarihi: 22 Kasım 2022]. Erişim adresi: <https://www.resperate.com/how-it-works/>.
- [42] Bulo.breathing.co.kr [İnternet]. Seoul (South Korea): Bulo; 2022 [Alıntılama tarihi: 22 Kasım 2022]. Erişim adresi: <https://www.kickstarter.com/projects/breathings/bulo-increase-performance-with-curated-breathing-exercises/>.
- [43] theawellbeing.com [İnternet]. London (UK): Melo; 2022 [Alıntılama tarihi: 22 Kasım 2022]. Erişim adresi: <https://me.currentbody.com/products/melo-handheld-anxiety-and-meditation-breathing-device/>.
- [44] Moonbird.life [İnternet]. London (UK): Moonbird; 2022 [Alıntılama tarihi: 22 Kasım 2022]. Erişim adresi: <https://www.moonbird.life/>.
- [45] Vanegas, E., Igual, R. and Plaza, I. (2020). Sensing systems for respiration monitoring: A technical systematic review, *Sensors*, 20(18), p. 5446. Erişim: <https://doi.org/10.3390/s20185446>.

- [46] Cao, D., Zhang, Z., Liang, H., Liu, X., She, Y., Li, Y., ... & Yu, M. (2018). Application of a wearable physiological monitoring system in pulmonary respiratory rehabilitation research. 11th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics, (pp. 1-6).China: Beijing, 13-15 Ekim.
- [47] Zhu, Q., Kong, X. L., & Xie, Y. Y. (2012). The influence of biofeedback on respiratory training effect. In 2012 International Conference on Systems and Informatics (ICSAI2012) (pp. 1067-1071). China: Yantai, 19-20 Mayıs.
- [48] Karpashevich, P. et al. (2022). Touching our breathing through shape-change: Monster, organic other, or Twisted Mirror, ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 29(3), s. 1-40. Erişim: <https://doi.org/10.1145/3490498>.
- [49] Kaimakamis, E., Perantoni, E., Serasli, E., Kilintzis, V., Chouvarda, I., Cheimariotis, G. A., ... & Maglaveras, N. (2019). Applying translational medicine by using the welcome remote monitoring system on patients with COPD and comorbidities. EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI) (s. 1-4). USA: Chicago, Mayıs 19-22.
- [50] Bermejo-Gil, B. M., Pérez-Robledo, F., Llamas-Ramos, R., Silva, L. A., Sales-Mendes, A., Leithardt, V. R. Q., & Llamas-Ramos, I. (2021). RespiraConNosotros: a viable home-based telerehabilitation system for respiratory patients. Sensors, 21(10), 3318.
- [51] Kilintzis, V. et al. (2022). CoCross: An ICT platform enabling monitoring recording and fusion of clinical information chest sounds and imaging of covid-19 ICU patients, Healthcare, 10 (2), s. 276 Erişim: <https://doi.org/10.3390/healthcare10020276>.
- [52] Derdiyok, F. B. (2023). Segmental solunuma yönelik giyilebilir bir telerehabilitasyon sisteminin kavramsal tasarımı (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi).



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).