



# TIPTEKNO'17

TIP TEKNOLOJİLERİ KONGRESİ

12-14 Ekim 2017 / TRABZON

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Prof.Dr. Osman Turan Kongre Merkezi



Biyomedikal ve Klinik  
Mühendisliği Derneği



Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

İnteraktif Sunumlar 1

Poster Alanı

# MAX30100 SpO<sub>2</sub>/Nabız Duyargasının Performans Değerlendirmesi Performance Assessment of MAX30100 SpO<sub>2</sub>/HeartRate Sensor

Kerim Bedri Saçan ve Gökhan Ertaş  
Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Yeditepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye  
gokhan.ertas@yeditepe.edu.tr

**Özetçe** – Farklı vücut bölgelerinde kullanılabilmesi ve bu özelliğin yenilikçi birçok farklı tasarıma fırsat vermesinden ötürü yansıtma tipi optik SpO<sub>2</sub>/Nabız duyargaları günümüzde oldukça rağbet görmektedir. Fakat bu duyargalardan güvenilir ve kararlı ölçüm sonuçların elde edilmesine yönelik performans testlerine ve değerlendirmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada MAX30100 SpO<sub>2</sub>/Nabız duyargasıyla ölçüm denemeleri gerçekleştirilerek duyarganın performansı değerlendirilmiş bulunmaktadır. Duyargayla işaret parmağı, alın ve şakak kemiğinden SpO<sub>2</sub> ve nabız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler esnasında duyarganın içerisindeki kızılötesi LED'e sabit 50mA tatbik edilirken, kırmızı LED için akım değeri 4,4mA ila 20,8mA arasında ayrı zaman dilimlerinde değiştirilmiştir. Tüm ölçümlerle eş zamanlı olarak sağ işaret parmağından bir puls oksimetre cihazı ile referans ölçümler alınmıştır. Bulgular 14,2mA kırmızı LED akım değerinin referans cihaz ile benzer sonuçların alınmasını sağladığını göstermektedir. Alın ve şakak kemiğinden alınan ölçümler referans cihaz ile alınan ölçümlerle karşılaştırıldığında kabul edilebilir yakınlıktadır. Gelecek çalışmada en uygun kırmızı LED akım değerini deri rengine ve kalınlığına bağlı olarak otomatik olarak tespit edebilecek ve günlük temel aktiviteler gerçekleştirilirken ölçüm alabilecek MAX30100 barındıran giyilebilir bir cihaz geliştirmeyi planlamaktayız.

**Anahtar Kelimeler** — SpO<sub>2</sub>; nabız; MAX30100.

**Abstract**— Reflective optical SpO<sub>2</sub>/Heartbeat sensors are very popular nowadays due to their ability to be used in different body regions that makes many different innovative designs possible. However, performance tests and evaluations are needed to obtain reliable and stable measurement results from these sensors. In this study, the performance of such a sensor, namely MAX30100 SpO<sub>2</sub>/Heartbeat sensor, has been assessed by performing measurement trials. SpO<sub>2</sub> and heartbeat measurements were performed from the index finger, forehead and temporal bone. During measurements, a constant value of 50mA applied to the infrared LED in the sensor while the current value for the red LED was changed

between 4,4mA and 20,8mA in discrete time intervals. Reference measurements were taken with a pulse oximeter from the right index finger simultaneously during all measurements. The findings show that the 14.2mA red LED current value provides similar results with the reference device. The measurements taken from the forehead and temporal bones are acceptable when compared to the measurements taken with the reference device. We plan to develop a wearable device equipped with MAX30100 sensor that will automatically determine the most suitable red LED current value depending on the skin color and thickness and that can perform measurements during basic daily activities.

**Keywords** — SpO<sub>2</sub>; heartrate; MAX30100.

## I. GİRİŞ

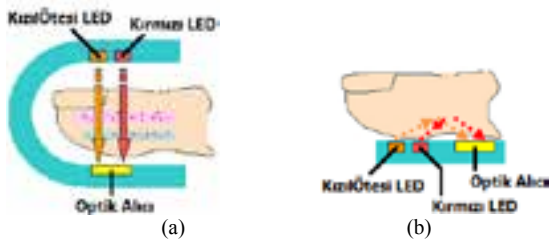
Oksijen vücudun tüm canlı dokularına kırmızı kan hücrelerindeki hemoglobin proteini tarafından taşınmaktadır. Oksijenlenmiş hemoglobin (HbO<sub>2</sub>), kırmızı ışıktan daha fazla kızılötesi ışığı emerken oksijenden arınmış hemoglobin (Hb), kızılötesi ışığa kıyasla daha fazla kırmızı ışığı emer. Bu temel prensip kan oksijen doygunluk düzeyinin (SpO<sub>2</sub>) optik tekniklerle dolaylı olarak tespit edilmesine olanak tanımaktadır [1].

Optik temelli bir SpO<sub>2</sub> duyarga düzeneği; kırmızı ve kızılötesi ışık yayan diyotlardan (genelde sırasıyla 650nm ve 950nm dalga boylarında), bir optik alıcıdan ve tamamlayıcı elektronik devrelerden oluşur [2]. Duyarganın çalışma prensibi iki farklı yöntem dayanmaktadır: İletim veya yansıtma [3]. İletim temelli yöntemde hedeflenen vücut bölgesi kırmızı ve kızılötesi ışık kaynakları ile optik alıcı arasına yerleştirilir ve iletilen ışık şiddetine bağlı olarak SpO<sub>2</sub> ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde dayalı duyargaların yerleştirilebileceği ölçüm bölgeleri oldukça kısıtlıdır: El parmak ucu, kulak memesi veya ayak parmağı vb. Yansıtma yönteminden ise ışık kaynakları ve optik alıcı yan yana yerleştirilmiştir ve SpO<sub>2</sub> ölçümleri yansıyan ışık

## İnteraktif Sunumlar 1

## Poster Alanı

şiddetinden hesaplanır. İletim yöntemi kullanan duyargalar parmak ucu, kulak memesi, ayak parmağı gibi bölgelerin yanı sıra alın, bilek veya göğüs bölgesi gibi düz yüzeylerden de ölçüm yapılabilmesine imkân tanımaktadır [4].



Şekil 1. Optik yöntemler: (a) İletim ve (b) yansıtma tipi

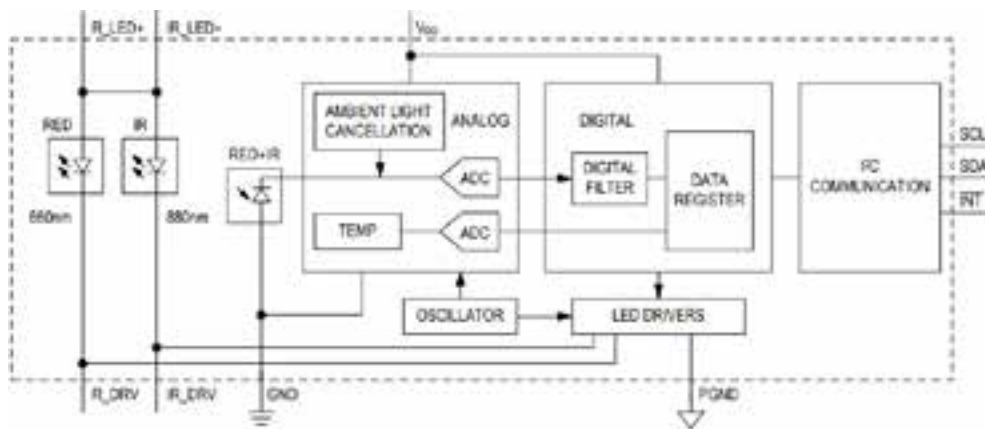
Birçok farklı vücut bölgesinde kullanılabilmeleri ve bu özelliğin yenilikçi birçok farklı tasarıma fırsat vermesinden ötürü yansıtma tipi optik SpO<sub>2</sub> duyargaları günümüzde oldukça rağbet görmektedir. Öte yandan bu tip duyargalar çok az sayıda firma tarafından üretilmektedir. NJL5501R (New Japan Radio Co, Ltd., Japonya) ve DCM01 (APMKorea, Kore) duyargaları pratik kullanımlar için tamamlayıcı karmaşık devrelere ihtiyaç duymaktadır. MAX30100 ve MAX30102 (Maxim Integrated, ABD) duyargaları ise daha basit tamamlayıcı devrelerle kolayca çalıştırılabilmektedir. Samsung Galaxy S5, S6 ve S7 cep telefonlarında bu duyargalar yer almaktadır [5, 6]. Fakat bu duyargalardan güvenilir ve kararlı ölçüm sonuçlarının elde edilmesine yönelik performans testlerine ve değerlendirmelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada MAX30100 SpO<sub>2</sub>/Nabız duyargasıyla detaylı ve tamamlayıcı ölçüm denemeleri gerçekleştirilerek duyarganın performansı değerlendirilmiş bulunmaktadır.

## II. MAX30100 SPO2/NABIZ DUYARGASI

MAX30100 (Maxim Integrated, ABD) yansıtmalı optik teknolojiye dayalı bütünleşik bir SpO<sub>2</sub>/Nabız duyargasıdır. Duyargada 660nm dalga boyunda bir kırmızı LED ve 880nm dalga boyunda bir kızılötesi LED yer almaktadır (Bakınız Şekil 2a). Bir fotodiyot yardımıyla her iki LED den dokuya çarpıp yansıyan ışık yakalanmakta, bir takım işlemlerden geçirildikten sonra sayısalaya çevrilmekte ve sonrasında sayısal bir filtre yardımıyla filtrelenmektedir. Sonuç değerler I2C haberleşme protokolü üzerinden okunabilmektedir. Ayrıca bu protokol vasıtasıyla duyarganın çalışmasını düzenleyen birçok parametrede ayarlanabilmektedir. Bu parametrelerin başlıcaları analog-sayısal çevrim çözünürlüğü, örnekleme hızı, raporlama süresi iken en önemlileri kırmızı ve kızılötesi LED akım değerleridir. Bu akım değerleri 0mA ile 50mA arasında farklı kademelerde ayarlanabilmektedir: 0mA, 4,4mA, 7,6mA, 11,0mA, 14,2mA, 17,4mA, 20,8mA, 24,0mA, 27,1mA, 30,6mA, 33,8mA, 37,0mA, 40,2mA, 43,6mA, 46,8mA ve 50,0mA.

Bu çalışma kapsamında Şekil 2b' da gösterilen MAX30100 duyargası barındıran bir devre kartı (RCWL 0530) bir Arduino Uno geliştirme kartı üzerinden bilgisayara bağlanmıştır. Arduino Uno geliştirme kartı üzerindeki ATmega328 mikrodenetleyicisi Arduino IDE ortamında programlanarak farklı akım değerleri için (Kızılötesi LED'e sabit 50mA tatbik edilirken, kırmızı LED için akım değeri 4,4mA ila 20,8mA arasında değiştirilerek) ayrı zaman dilimlerinde SpO<sub>2</sub> ve nabız ölçümleri elde edilmiş ve seri haberleşme ile 115200bps hızında bilgisayara gönderilmiştir. Elde edilen ölçümler bilgisayar ortamında Arduino IDE ile gelen seri izleyici modül kullanılarak görselleştirilmiştir.



Şekil 2. (a) MAX30100 duyargasına ait öbek çizim [7] ve (b) MAX30100 duyargası barındıran devre kartının üstten görünüşü [8]

## İnteraktif Sunumlar 1

## Poster Alanı



Şekil 3. NewTech PM100 oksimetre cihazı [9]

### III. ÖLÇÜM DÜZENEKLERİ

Yirmi altı yaşında sağlıklı bir erkek gönüllü üzerinde on beş saniye boyunca SPO2 ve nabız ölçümleri üç farklı vücut bölgesinden gerçekleştirilmiş bulunmaktadır. Bu bölgeler işaret parmağı, alın ve şakak kemiğidir.

İşaret parmağı ölçümlerinde öncelikle sol ve sağ işaret parmağı ölçümleri arasındaki uyumun tespitine yönelik olarak bu parmaklardan iki farklı MAX30100 tümleşik devresi kullanılarak eş zamanlı ölçümler alınmıştır. Sonrasında, ayrı bir zaman diliminde, bir MAX30100 duyargası ile sol işaret parmağından ve güvenilir bir cihaz olarak öngörülen NewTech PM100 (NewTech Medical Limited, ABD) oksimetre cihazı ile sağ işaret parmağından eş zamanlı ölçümler gerçekleştirilmiş bulunmaktadır (Bakınız Şekil 3). Ölçümler süresince MAX30100 duyargası ilgili parmağa siyah, esnek ve hava alabilen bir bant kullanılarak nazikçe sabitlenmiştir. Alın ve şakak kemiklerinden ölçümlerde ise MAX30100 duyargası elektrot kısmı çıkarılmış bir EKG elektrot pedinin sırtına yerleştirildikten sonra ilgili bölgeye sabitlenmiş bulunmaktadır (Bakınız Şekil 4). Eş zamanlı olarak NewTech PM100 oksimetre cihazı ile sağ işaret parmağından ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Tüm eş zamanlı alınmış olan ölçümler için ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmış ve ölçüm düzenekleri aralarındaki sistematik fark Wilcoxon signed-rank test ile sınanmıştır ( $P < 0,10$  istatistiksel anlamlı).



Şekil 4. Ölçüm bölgeleri olarak (a) alın ve (b) şakak kemiği

### IV. SONUÇLAR

İki farklı MAX30100 duyargası tarafından sol ve sağ işaret parmaklarından eş zamanlı alınmış ortalama ölçümler Tablo 1 ve 2' de görülmektedir. SpO<sub>2</sub> için her iki MAX30100 ile kırmızı LED akımları 11,0mA veya 14,2mA olarak ayarlanarak alınmış ölçümler arasında anlamlı fark bulunmamaktadır. Diğer akım değerleri için

ise anlamlı farklar söz konusudur. Nabız için ise 20,8mA hariç tüm akım değerleri ayarlanarak alınmış ölçümler arasında anlamlı fark bulunmamaktadır. Bu bulgular çoklu MAX30100 duyarga kullanımlarında kırmızı LED için en uygun akım değerinin 14,2mA veya 11,0mA olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. İşaret parmaklarından SpO<sub>2</sub> ölçümleri (iki farklı MAX30100 duyargasıyla)

I <sub>RED</sub> (mA)	SpO <sub>2</sub> (%)		P
	MAX30100 (1)	MAX30100 (2)	
4,4	95,5 ± 0,5	96,2 ± 0,4	< 0,10
7,6	99,0 ± 0,0	96,0 ± 0,0	< 0,10
11,0	97,0 ± 0,0	97,0 ± 0,0	1,00
14,2	97,0 ± 0,0	97,0 ± 0,0	1,00
17,4	96,0 ± 0,0	96,5 ± 0,5	< 0,10
20,8	93,0 ± 0,0	94,0 ± 0,0	< 0,10

Tablo 2. İşaret parmaklarından nabız ölçümleri (iki farklı MAX30100 duyargasıyla)

I <sub>RED</sub> (mA)	Nabız (Atım/dak)		P
	MAX30100 (1)	MAX30100 (2)	
4,4	56,3 ± 5,4	56,3 ± 4,7	0,57
7,6	58,1 ± 6,1	58,2 ± 5,9	0,66
11,0	54,9 ± 7,5	55,1 ± 6,8	0,24
14,2	57,3 ± 7,0	57,4 ± 7,1	0,32
17,4	56,0 ± 4,4	56,3 ± 5,0	0,42
20,8	38,7 ± 11,5	30,9 ± 5,9	< 0,10

MAX30100 duyargası ve referans cihaz tarafından sol ve sağ işaret parmaklarından eş zamanlı alınmış ortalama ölçümler Tablo 3 ve 4' de görüldüğü gibidir. SpO<sub>2</sub> için MAX30100 ile kırmızı LED akımı 4,4mA, 7,6mA, 17,4mA veya 20,8mA olarak ayarlanarak alınmış ölçümler ile referans cihaz ölçümleri arasında anlamlı farklar bulunmamaktadır. Öte yandan kırmızı LED akımı 11,9mA veya 14,2mA olarak ayarlanarak alınmış ölçümler ile referans cihaz ölçümleri arasında anlamlı fark bulunmamaktadır. Bununla birlikte nabız için MAX30100 ile kırmızı LED akımı yalnız 14,2mA olarak ayarlanarak alınmış ölçümler ile referans cihaz ölçümleri arasında da anlamlı fark bulunmamaktadır. Bu bulgular 14,2mA kırmızı LED akım değerinin referans cihaz ile benzer sonuçların alınmasını sağladığını göstermektedir. Çoklu duyarga kullanımlarında da bu akım değerinin en uygun olması muhtemeldir.

Tablo 3. İşaret parmaklarından SpO<sub>2</sub> ölçümleri (MAX30100 duyargası ve Referans Cihaz ile)

I <sub>RED</sub> (mA)	MAX30100	Referans Cihaz	P
	SpO <sub>2</sub> (%)	SpO <sub>2</sub> (%)	
4,4	96,0 ± 0,0	97,7 ± 0,5	< 0,10
7,6	96,9 ± 0,4	98,0 ± 0,0	< 0,10
11,0	99,0 ± 0,0	99,0 ± 0,0	1,00
14,2	97,9 ± 0,3	98,0 ± 0,0	0,32
17,4	97,0 ± 0,0	98,0 ± 0,0	< 0,10
20,8	95,0 ± 0,0	99,0 ± 0,0	< 0,10



## İnteraktif Sunumlar 1

## Poster Alanı

**Tablo 4.** İşaret parmaklarından nabız ölçümleri (MAX30100 duyargası ve Referans Cihaz ile)

MAX30100		Referans Cihaz	P
I <sub>RED</sub> (mA)	Nabız (atm/dak)	Nabız (atm/dak)	
4,4	57,9 ± 15,1	72,5 ± 1,2	< 0,10
7,6	66,9 ± 11,9	73,5 ± 1,0	< 0,10
11,0	68,0 ± 10,5	74,3 ± 0,8	< 0,10
14,2	73,2 ± 1,7	73,7 ± 1,6	0,43
17,4	30,1 ± 0,8	75,0 ± 2,2	< 0,10
20,8	29,5 ± 0,5	78,5 ± 1,1	< 0,10

Kırmızı LED akımı 14.2mA olarak ayarlanmış MAX30100 duyargası ile alın ve şakak kemiğinden ve bunlarla eş zamanlı olarak referans cihaz ile sağ işaret parmağından alınmış ortalama ölçümler Tablo 5 ve 6' da görülmektedir. SpO<sub>2</sub> için MAX30100 duyargasıyla alın ve şakak kemiğinden ölçümler ile referans cihazla sağ işaret parmağından temin edilmiş ölçümler arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Öte yandan dikkatlice incelendiğinde bu farkın %1' den daha az bir sapmadan kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Nabız için referans cihazla sağ işaret parmağından temin edilmiş ölçümler ile MAX30100 duyargasıyla alından ölçümler arasında anlamlı bir fark bulunurken şakak kemiğinden ölçümleri arasında fark anlamsızdır. Bu bulgular MAX30100 ile şakak kemiğinden ölçümlerin referans cihaz ölçümleriyle benzer olduğunu göstermektedir. MAX30100 duyargasıyla elde edilmiş tüm SpO<sub>2</sub> değerleri referans cihaz ile elde edilmiş değerlerden %2' den daha az mutlak sapmaya sahiptir. Bu mutlak sapma değeri literatürde kabul edilebilir olarak bahsedilmektedir [10]. Nabız değerlerinde ise sapma kırmızı LED akımına bağlı olarak oldukça yüksek değerler alabilmektedir. Bununla birlikte uygun bir değere ayarlanarak sapmasın düşürülmesi mümkündür.

**Tablo 5.** SpO<sub>2</sub> ölçüm sonuçları (MAX30100 duyargası ve Referans Cihaz ile)

MAX30100		Referans Cihaz	P
Ölçüm Yeri	SpO <sub>2</sub> (%)	SpO <sub>2</sub> (%)	
Alın	97,0 ± 0,0	96,0 ± 0,0	< 0,10
Şakak kemiği	97,0 ± 0,0	96,0 ± 0,0	< 0,10

**Tablo 6.** Nabız ölçüm sonuçları (MAX30100 duyargası ve Referans Cihaz ile)

MAX30100		Referans Cihaz	P
Ölçüm Yeri	Nabız (Atm/dak)	Nabız (Atm/dak)	
Alın	88,9 ± 2,0	88,2 ± 1,4	< 0,10
Şakak kemiği	87,9 ± 3,5	88,5 ± 2,0	0,32

Yansıtma tipi SpO<sub>2</sub>/Nabız duyargaları parmak ucu, kulak memesi, ayak parmağı gibi bölgelerin yanı sıra alın, bilek veya göğüs bölgesi gibi düz yüzeylerden de ölçüm yapılabilmesine imkân tanımaktadır. Bu çalışma şakak

kemiğinden de ölçümlerin alınabileceğini göstermiştir. Bu bulgunun yenilikçi birçok farklı tasarıma fırsat vereceğini öngörmekteyiz.

Bu çalışmanın bir takım kısıtlamaları bulunmaktadır. Analizlerde sadece bir gönüllüden temin edilmiş ölçümler göz önüne alınmıştır. Daha fazla sayıda gönüllünün çalışmaya dâhil edilerek istatistiksel olarak daha güçlü sonuçların elde edilmesi mümkündür. En uygun akım değerinin gönüllü ten rengine ve deri kalınlığına bağlı olarak ihtimali oldukça yüksektir. Farklı ten renklerine sahip gönüllüler çalışma dâhil edilerek bu etkinin incelenmesi mümkün olacaktır.

Gelecek çalışmada daha fazla sayıda gönüllü üzerinde en uygun akım değerini otomatik olarak tespit edebilecek ve gönüllü günlük temel aktivitelerini gerçekleştirirken ölçüm alabilecek bir giyilebilir cihaz geliştirmeyi planlamaktayız. Ayrıca bu cihazı su geçirmez hale getirerek ve cihaza uzağa ölçüm gönderme kabiliyeti ekleyerek suda boğulma veya sportif dalışlar esnasında bayılma gibi durumların anlık tespiti üzerine bir çözüm geliştirmeyi hedeflemekteyiz.

### KAYNAKÇA

- [1] Cohen, A. ve Wadsworth, N., "A Light Emitting Diode Skin Reflectance Oximeter," *Medical and Biological Engineering*, 10:385-391, 1972.
- [2] WHO. *Monitoring Emergency Obstetric Care—A Handbook*. Geneva: WHO; 2009.
- [3] Jawahar, Y., "Design of an Infrared Based Blood Oxygen Saturation and Heart Rate Monitoring Device", pp 9-25, 2009.
- [4] Philips Healthcare. <http://incenter.medical.philips.com/>. Son ziyaret: 15/09/2017.
- [5] MAX30100 ve Samsung GS5/GS6. <http://www.techinsights.com/about-techinsights/overview/blog/samsung-galaxy-s5-teardown/>. Son ziyaret: 19/08/2017.
- [6] MAX30102 ve Samsung GS7. [https://www.slideshare.net/Yole\\_Developpement/maxim-integrated-max30102-optical-heart-rate-sensor-2016-teardown-reverse-costing-report-published-by-yole-developpement](https://www.slideshare.net/Yole_Developpement/maxim-integrated-max30102-optical-heart-rate-sensor-2016-teardown-reverse-costing-report-published-by-yole-developpement). Son ziyaret: 19/08/2017.
- [7] Max30100 Datasheet. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30100.pdf>. Son ziyaret: 19/08/2017.
- [8] Max30100 Diagram. <http://www.icstation.com/max30100-heart-beat-sensor-heart-rate-pulse-sensor-oximeter-module-p-8777.html>. Son ziyaret: 19/08/2017.
- [9] NewTech PM100. [http://lviv.all.biz/en/pulsoksimetr-newtech-rm100-pulsoksimetr-g1033432#\\_WZgMfmCzIU](http://lviv.all.biz/en/pulsoksimetr-newtech-rm100-pulsoksimetr-g1033432#_WZgMfmCzIU). Son ziyaret: 19/08/2017.
- [10] American Thoracic Society – Pulse Oximetry. <https://www.thoracic.org/patients/patient-resources/resources/pulse-oximetry.pdf>. Son ziyaret: 15/09/2017.