



## SPORMETRE

The Journal of Physical Education and Sport Sciences  
Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi

DOI: 10.33689/spormetre.1019059



Geliş Tarihi (Received): 04.11.2021

Kabul Tarihi (Accepted): 17.03.2022

Online Yayın Tarihi (Published): 30.03.2022

### FOTOPLETİSMOGRAFİ TEKNOLOJİSİNE DAYALI KALP ATIM HIZI ÖLÇÜMÜ YAPAN GIYİLEBİLİR AKILLI SAATLERİN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ: HUAWEI HONOR BAND 5 VS XIAOMI MI SMART BAND 5

Oğulhan Kayabaş<sup>1\*</sup>, Mutlu Cuğ<sup>2</sup>, Cemalettin Budak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, ERZİNCAN

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, KOCAELİ

**Öz:** Bu araştırmanın amacı, kalp atım hızı (KAH) ölçümünde fotopletişmografi (PPG) teknolojisini kullanan Huawei Honor Band 5 (Huawei) ve Xiaomi Mi Smart Band 5 (Xiaomi) giyilebilir akıllı saatlerinin (GAS) KAH ölçümünde altın standart olarak referans alınan Polar V800 (Polar) saati karşısında geçerli veriler verip veremeyeceğinin kontrol edilmesidir. Araştırmaya, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi (EBYÜ), Spor Bilimleri Fakültesi öğrencisi, 11'i kadın, 19'u erkek toplam 30 katılımcı (Yaş: 21,9±3 yıl, Boy: 172±9,5 cm, Kilo: 70,6±12,4 kg) gönüllülük esasına göre katılmıştır. Katılımcılara Polar, Huawei ve Xiaomi saatleri aynı anda ve farklı kollara takılmıştır. Polar saat takılı olduğu sağ kolda sabit kalırken, Huawei sağ ve Xiaomi ise sol kola takılmıştır. Katılımcıların Dinlenik Kalp Atım Hızları (DKAH) kaydedildikten sonra katılımcılar şiddeti sürekli artan Yo-Yo dinlenmeli koşu testine tabi tutularak ulaşabildikleri maksimum KAH'larının %75 ve %100'üne ulaşan değerleri ölçülmüştür. Her mekik sonunda katılımcıların üzerinde yer alan üç farklı saatten KAH ölçümleri alınarak kaydedilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde One-Sample T Testi, Pearson Korelasyon Katsayısı, Sınıfıçı Korelasyon Katsayısı (ICC) ve Bland-Altman Analizi kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, katılımcıların DKAH ölçümlerinde bu üç saat arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı (Polar: 81,3 atım/dk, Huawei: 81,9 atım/dk, Xiaomi: 81,1 atım/dk) ( $p>0.05$ ), fakat katılımcıların maksimum KAH'larının %75 (Polar: 142,9 atım/dk, Huawei: 121,1 atım/dk, Xiaomi: 121,2 atım/dk) ( $p<0.05$ ) ve %100'üne (Polar: 190,5 atım/dk, Huawei: 162 atım/dk, Xiaomi: 157,5 atım/dk) ( $p<0.05$ ) denk gelen ölçümlerinde ise istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre, KAH takibinde Huawei ve Xiaomi saatlerinin günlük kullanımlarının uygun olabileceği, ancak egzersiz sırasında sporcu gelişimi ve sağlığı açısından kullanımlarının uygun olmayacağı anlaşılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Fotopletişmografi, Giyilebilir Teknolojiler, Kalp Atım Hızı

### COMPARATIVE EVALUATION OF WEARABLE SMARTWATCHES THAT MEASURE HEART RATE BASED ON PHOTOPLETHYSMOGRAPHY TECHNOLOGY: HUAWEI HONOR BAND 5 VS XIAOMI MI SMART BAND 5

**Abstract:** The purpose of this study was to investigate whether Huawei Honor Band 5 (Huawei) and Xiaomi Mi Smart Band 5 (Xiaomi) could provide valid scores when compared the Polar V800 (Polar), that has been accepted as gold standard for heart rate assessment. In total, 11 females and 19 males (Age: 21.9±3 years, height: 172±9.5 cm, weight: 70.6±12.4 kg) individuals from Erzincan Binali Yıldırım University (EBYU) voluntarily participated in this study. Participants wore Polar, Huawei and Xiaomi watches at the same time and on different wrists. The Polar watch is fixed on the right wrist, while Huawei is on the right and Xiaomi is on the left. After recording resting heart rate, participants were asked to perform Yo-Yo intermittent recovery test protocol. During the test 75% and 100% of maximal heart rate scores were recorded. Each shuttle result was measured. One sample t-test, Pearson Correlation Coefficient, Intra Class Correlation Coefficient and Bland-Altman were used for statistical analysis. Results showed that there were no significant differences among each other at resting conditions (Polar: 81.3 bpm, Huawei: 81.9 bpm, Xiaomi: 81.1 bpm) ( $p>0.05$ ). However significant findings were observed in both 75% (Polar: 142.9 bpm, Huawei: 121.1 bpm, Xiaomi: 121.2 bpm) ( $p<0.05$ ) and 100% (Polar: 190.5 bpm, Huawei: 162 bpm, Xiaomi: 157.5 bpm) ( $p<0.05$ ) of their maximal heart rate. According to findings, Huawei and Xiaomi can be used for daily use, on the other hand it may not be appropriate for athletic performance assessments.

**Key Words:** Photoplethysmography, Wearable Technology, Heart Rate

\* Sorumlu Yazar: Oğulhan KAYABAŞ, Arş. Gör., E-mail: ogulhan.kayabas@erzincan.edu.tr

## GİRİŞ

Giyilebilir akıllı saatler (GAS) veya fitness takip cihazları son birkaç yıldır tüketicilerin ilgisini önemli ölçüde çekmiştir (Islam ve ark., 2015; Rawassizadeh ve ark., 2015; Wright ve ark., 2017). Yaşamsal verilerin her yerde, sürekli ve yaygın olarak izlenmesi için giyilebilir teknoloji pazarında hızlı talep büyümesi yaşanmıştır (Ghamari ve ark., 2015). Bu talep artışı ile birlikte giyilebilir teknoloji piyasasının 2019'daki büyüklüğü 32,63 milyar \$ olarak gerçekleşmiş ve 2020'den 2027'ye kadar da %15,9 yıllık büyüme oranında da genişlemesi beklenmektedir (Grand View Research, 2021).

Son yıllarda GAS'lar artık sadece adım sayısı gibi kondisyon izleme ölçümlerine odaklanmakla kalmayıp, KAH ölçümü, tansiyon ölçümü, stres durumu tespiti ve kandaki oksijen miktarının belirlenmesi gibi kişisel sağlığa dönük birçok ölçüm gerçekleştirmektedir (Ghamari ve ark., 2015). Sağlık ve zindelik durumlarını takip etmek için bu GAS'lardan faydalanan tüketiciler, GAS'lardan doğruluk ve tutarlılık beklerken, verilerin olduğundan daha fazla veya daha az çıkmasından dolayı olası sağlık risklerine de maruz kalabilirler. Egzersiz sırasında korunması gereken bir KAH aralığı için, KAH'ını takip etmek adına bu saatlerden yararlanan hastalar bu duruma örnek verilebilmektedir. Buna ek olarak, egzersiz yapan bireyler için egzersiz sırasında KAH'ı takip etmek, egzersize karşı fizyolojik adaptasyonun, egzersiz şiddetinin ve maruz kalınan eforun belirlenmesi adına gereklidir (Achten ve Jeukendrup, 2003; Takacs ve ark., 2014). Bu noktada özellikle egzersiz esnasında KAH'ın doğru ve istikrarlı bir şekilde izlenmesi önem arz etmektedir.

GAS'ların tümü KAH ölçümü için "Fotopletismografi" (PPG) adı verilen bir teknoloji kullanır. PPG teknolojisinin son yıllarda popüler hale gelmesindeki en temel sebeplerin başında bu teknolojiyi kullanmanın kolay ve düşük maliyetli olması yatmaktadır. PPG, KAH'ı takip etmek amacıyla karmaşık bir optik ölçüm yöntemi kullanmaktadır (Lai ve Kim, 2015). PPG, periferik dolaşımdaki kanın hacimsel değişikliklerini invazif olmayan bir şekilde ölçmek için cilt yüzeyinde düşük yoğunluklu kızılötesi yeşil LED ışık kullanan bir teknoloji içerir (Pietilä ve ark., 2017; Wang ve ark., 2013). Tipik bir PPG cihazı bir ışık kaynağı ve bir fotodetektör kullanır. Işık kaynağı bir dokuya ışık yayar ve fotodetektör dokudan yansıyan ışığı ölçer. Böylelikle bireyin KAH'ını tespit ederek elde edilen veriyi ilgili ekrana yansıtmaktadır (John ve Bronzino, 2012; Kavsaoglu ve ark., 2015). Genellikle elde edilen KAH verilerinin özellikle hareketsiz ve rutin durumlarda daha doğru oranda gerçekleştiği, ancak hareket nedeniyle PPG sinyal kalitesinin azaldığı bilimsel çalışmalarda raporlanmıştır (Zhang ve ark., 2015).

Bilimsel araştırmalara göre; GAS'lar genellikle adım sayısının izlenmesinde iyi bir geçerlilik ve güvenilirliğe sahipken, KAH ölçümünde PPG teknolojisini kullanan izleme monitörleri için benzer bir kanıya varmak oldukça zordur (Benedetto ve ark., 2018; Jo ve ark., 2016; Li ve Kim, 2017; Massimiliano ve ark., 2018; Yang ve ark., 2018).

Bu çalışmanın amacı, KAH ölçümleri odağında bilimsel olarak henüz bir geçerlilik çalışması yapılmamış olan ve KAH ölçümlerinde PPG teknolojisini kullanan Huawei Honor Band 5 (Huawei Co; Shenzhen, China) ile Xiaomi Mi Smart Band 5 (Xiaomi Inc; Anhui, China) GAS'larının KAH ölçümlerindeki verilerinin doğruluğunu ve geçerliliğini, KAH ölçümlerinde altın standart olarak kabul edilen Polar V800 (Polar Electro OY; Kempele, Finland) (Caminal ve ark., 2018; Giles ve ark., 2016; Huang ve ark., 2021) saati karşısında değerlendirmek ve tüketicilere bilgi sağlamaktır. Bu iki cihaz arasında ilk kez yapılacak olan karşılaştırma çalışmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır.

## YÖNTEM

### Araştırma Modeli

Bu araştırma kontrol grubu olmayan yarı deneysel bir araştırma modeline sahiptir.

### Araştırma Grubu

Araştırmaya, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi öğrencisi, farklı spor branşlarında amatör olarak spor yapanlar ve sedanter bireylerden oluşan 11'i kadın, 19'u erkek toplam 30 katılımcı gönüllülük esasına göre katılmıştır. Katılımcılara bilgilendirilmiş gönüllü onam formu okunarak gönüllülükleri üzerine gerekli açıklamalar yapılmıştır. Ayrıca, Bu araştırmaya EBYÜ, Klinik Araştırmalar Etik Kurulunun 22/03/2021 tarihli ve 05 sayılı toplantısında alınan 05/23 sayılı karar ile etik kurul izni alınmıştır. Bu araştırma Helsinki Bildirgesine uygunluk göstererek gerçekleştirilmiş ve araştırmanın başında araştırmaya gönüllü katılım sağlayan bireylere bilgilendirilmiş gönüllü onam katılımcı formu imzalatılmıştır.

### Veri Toplama Araçları

Araştırma için gerekli veriler, EBYÜ, Yalnızbağ Kampüsü, spor salonunda gerçekleştirilen ölçümlerle sağlanmıştır. Araştırmaya 18- 30 yaş arası ve herhangi bir kardiyovasküler ve ortopedik rahatsızlığı olmayan bireyler katılmıştır. Ölçümlerin alınmasına başlamadan önce araştırmaya katılan katılımcılardan şort ve tişört gibi ölçüm esnasında rahat edebilecekleri kıyafetler giymeleri istenmiştir. Katılımcıların KAH'larını düşük seviyeden, yüksek seviyeye doğru izleyebilmek için, ölçümlerden önce katılımcıların DKAH'larında olmalarını sağlamak adına; ölçüm öncesi egzersiz yapmamaları, en az 3 saate kadar herhangi bir şey yiyip içmemeleri ve yorgun olmamaları istenmiştir. Katılımcıların boy ölçümleri bir mezura yardımıyla ölçülerek kaydedilmiştir. Kilo ölçümleri ise 100 grama kadar duyarlı bir elektronik baskül aracılığıyla alınmıştır. Katılımcıların KAH'larını ölçmek için sağ kol bileklerinin üst kısmına göğse takılan aparatı sayesinde direkt kalp atımını algılayan geçerliliği ve güvenilirliği kanıtlanmış bir giyilebilir teknoloji olan Polar saat (Caminal ve ark., 2018; Giles ve ark., 2016; Huang ve ark., 2021) (Şekil 1) ve göğüs kafeslerinin tam ortasına gelecek şekilde Polar göğüs bandı (Şekil 2), sağ kol bileklerini tam kavrayacak şekilde Huawei ve sol kol bileklerine ise Xiaomi saatleri takılmıştır (Şekil 1). GAS'ların üretici firmalarının yayınladığı kullanım kılavuzlarına göre saatler herhangi bir kolda kullanılabilir. Baskın ya da baskın olmayan kola takılması fark etmeksizin veri sonuçlarını etkilememektedir. Dolayısıyla, bu araştırmada Polar saat takılı olduğu sağ kolda sabit kalırken, Huawei sağ ve Xiaomi ise sol kola takılmıştır.

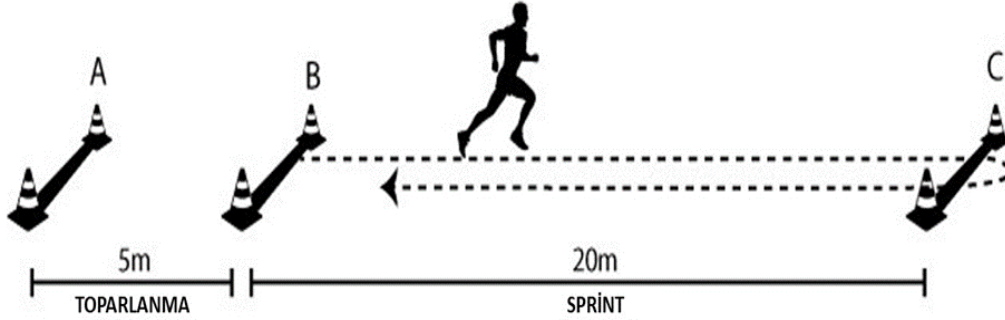


Şekil 1. Polar, Huawei ve Xiaomi saatlerini takmış bir katılımcı.



Şekil 2. Polar göğüs bandını takmış bir birey.

Katılımcıların oturur bir şekilde, kimseyle konuşmadan ve beklmeleri sağlanarak DKAH'ları ölçülmüştür. Daha sonra katılımcılar, hızı ve kapsamı giderek artan, 20 metrelik koşu, 5 metrelik ve 10 saniyelik bir dinlenme alanı bulunan Yo-Yo dinlenmeli koşu testini tamamlamışlardır (Şekil 3).



Şekil 3. Yo-Yo dinlenmeli koşu testi.

Her mekik sonunda katılımcıların üzerinde yer alan üç farklı saatten KAH ölçümleri araştırmaya katılmayan bir araştırmacı tarafından elle yazılarak kaydedilmiştir. Katılımcılardan testi dayanabildikleri son noktaya kadar sürdürmeleri istenerek, Polar saatine göre ölçüm sonunda ulaşabildikleri en yüksek KAH'ları %100 kalp atım hızları olarak kabul edilmiştir. Bu %100 KAH'larına denk gelen %75'lik KAH'ları da karşılaştırma için değerlendirilmiştir.

### Verilerin Analizi

Araştırmadan toplanan veriler IBM SPSS v.22 programında analiz edilip değerlendirilerek yorumlanmıştır. Araştırmada anlamlılık düzeyi ( $p < 0.05$ ) olarak esas alınmıştır. Kaydedilen verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistikler, normallik analizi, yüzdeler, Pearson Korelasyon Katsayısı, One-Sample T Testi, Sınıfıçi Korelasyon Katsayısı (ICC) ve Bland-Altman Analizi kullanılmıştır.

## BULGULAR

### Katılımcılar

Araştırmada yer alan 30 (11 kız ve 19 erkek) katılımcının demografik ve fiziksel özellikleri tablo 1'de özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Araştırmada yer alan katılımcıların fiziksel ve demografik parametreleri.

Fiziksel Parametreler	N	Ortalama	Standart Sapma ( $\pm$ )	Minimum	Maksimum
	K – E – T	K – E – T	K – E – T	K – E – T	K – E – T
Yaş	11 – 19 – 30	21,2 – 22,2 – 21,9	2,1 – 3,4 – 3	18 – 18 – 18	26 – 30 – 30
Boy (cm)	11 – 19 – 30	163,3 – 177 – 172	7,8 – 6,4 – 9,5	147 – 164 – 147	175 – 190 – 190
Kilo (kg)	11 – 19 – 30	62,4 – 75,4 – 70,6	12,6 – 9,8 – 12,4	45,5 – 60,3 – 45,5	90,8 – 90,3 – 90,8
VKİ (kg/m <sup>2</sup> )	11 – 19 – 30	23,3 – 24 – 23,7	4,3 – 2,3 – 3,1	17,7 – 19,9 – 17,7	32,1 – 28,5 – 32,1

**VKİ:** Vücut kütle indeksi, **K: Kadın**, **E: Erkek**, **T: Toplam**.

### KAH Ölçümleri: DKAH

Katılımcıların DKAH ölçümlerinde Huawei ve Xiaomi saatlerinin Polar saati karşısında vermiş oldukları değerlerin istatistiksel sonuçları tablo 2’de gösterilmektedir.

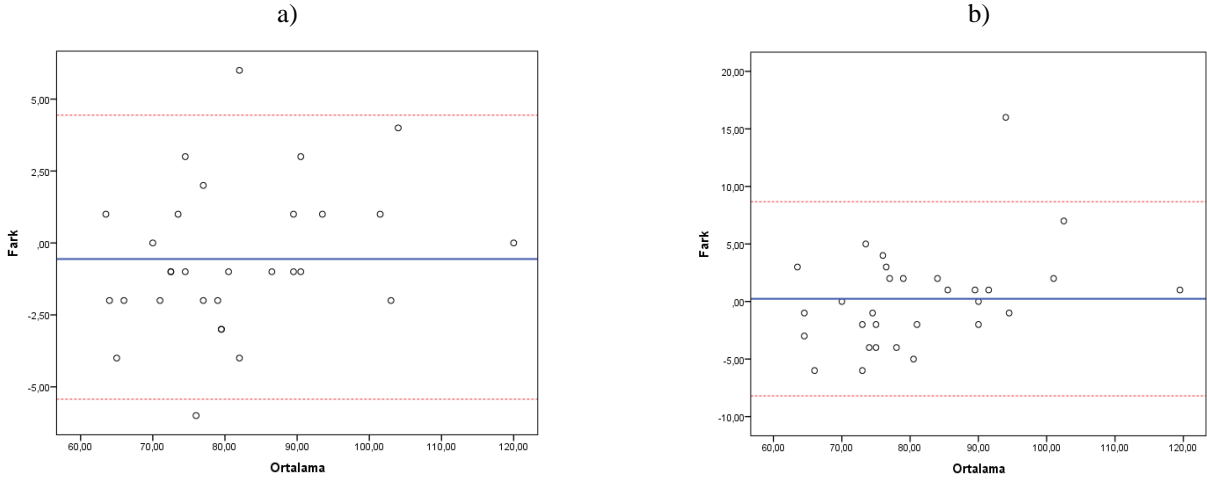
Tablo 2’de araştırmada referans olarak kabul edilen Polar saati DKAH ölçümünde ortalama 81,3 atım/dk değerini gösterirken, Huawei saati 81,9 atım/dk ve Xiaomi saati ise 81,1 atım/dk değerini göstererek bu üç saat arasında istatistiksel yönden anlamlı bir farklılık olmadığı bulunmuştur ( $p>0.05$ ). DKAH ölçümünde üç saat arasında güçlü bir pozitif korelasyon bulunmuştur ( $p<0.05$ ). Aynı gruba ait ölçümlerin aralarındaki ilişkide ise yine bu üç saat arasında pozitif güçlü bir korelasyon olduğu anlaşılmıştır ( $p<0.05$ ).

**Tablo 2.** DKAH ölçümünde Huawei ve Xiaomi saatlerinin Polar saat karşısında vermiş olduğu verilerin geçerlilik ve korelasyon analizlerinin dağılımları.

Değişkenler	N	Ortalama	Standart Sapma ( $\pm$ )	p	r	ICC
Polar V800	30	81,3	13,7			
Huawei	30	81,9	13,0	.812	.983	.991
Xiaomi	30	81,1	12,1	.928	.950	.971

**p:** One-sample t testinden elde edilen anlamlılık değeri, **r:** Pearson korelasyon katsayısı, **ICC:** Sınıf içi korelasyon katsayısı.

Bland-Altman (Farkların Saçılımı) grafiklerinde de Huawei ve Xiaomi saatlerinin Polar saat karşısında verdiği değerlerde istatistiksel yönden anlamlı bir farklılık olmadığı gözlemlenmektedir ( $p>0.05$ ) (Şekil 4).



Şekil 4. a): DKAH ölçümünde Polar ve Huawei saatlerinin Bland-Altman grafiği; b): DKAH ölçümünde Polar ve Xiaomi saatlerinin Bland-Altman grafiği.

### KAH Ölçümleri: %75 Maksimal Kalp Atım Hızı

Katılımcıların maksimum KAH'larının %75'ine denk gelen ölçümlerinde Huawei ve Xiaomi saatlerinin Polar saati karşısında vermiş oldukları değerlerin istatistiksel sonuçları tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3'te Polar saat %75 KAH ölçümünde ortalama 142,9 (atım/dk) değerini gösterirken, Huawei saati 121,1 (atım/dk) ve Xiaomi saati ise 121,2 (atım/dk) değerini göstererek bu üç saat arasında istatistiksel yönden anlamlı farklılık olduğu görülmüştür ( $p < 0.05$ ). %75 KAH ölçümünde üç saat arasında orta derecede pozitif bir korelasyon bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Aynı gruba ait ölçümlerin aralarındaki ilişkide ise bu üç saat arasında pozitif yönlü zayıf bir korelasyon olduğu gözlemlenmiştir ( $p < 0.05$ ).

**Tablo 3.** Katılımcıların maksimum KAH'larının %75'ine denk gelen ölçümlerinde Huawei ve Xiaomi saatlerinin Polar saat karşısında vermiş olduğu verilerin geçerlilik ve korelasyon analizlerinin dağılımları.

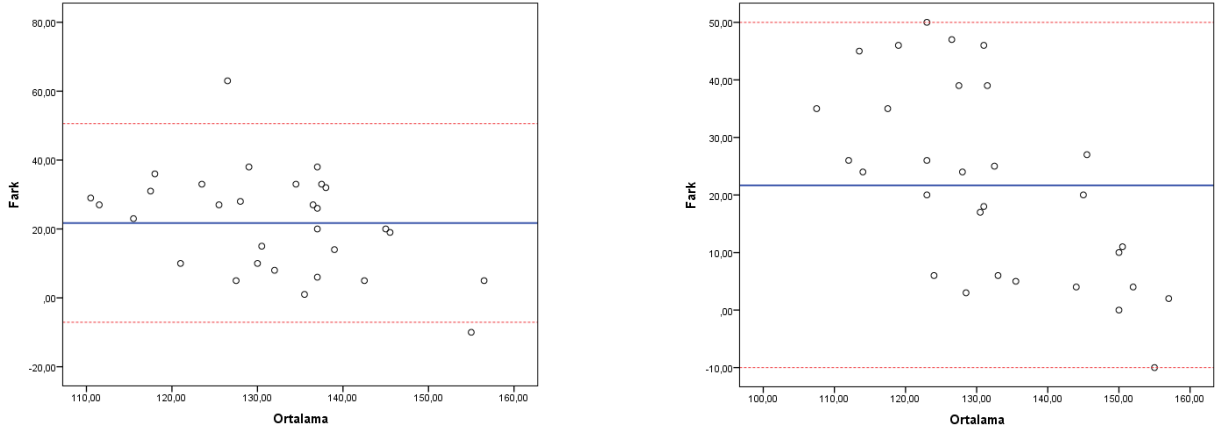
Değişkenler	N	Ortalama	Standart Sapma ( $\pm$ )	p	r	ICC
<b>Polar V800</b>	30	142,9	10,5			
<b>Huawei</b>	30	121,1	16,0	.000*	.442	.302
<b>Xiaomi</b>	30	121,2	20,2	.000*	.564	.392

\* $p < 0.05$ , **p**: One-sample t testinden elde edilen anlamlılık değeri, **r**: Pearson korelasyon katsayısı, **ICC**: Sınıf içi korelasyon katsayısı.

Bland-Altman grafiklerinde de Huawei ve Xiaomi saatlerinin Polar saat karşısında verdiği değerlerde istatistiksel yönden anlamlı fark olduğu gözlemlenmektedir ( $p < 0.05$ ) (Şekil 5).

c)

d)



**Şekil 5. c):** Katılımcıların maksimum KAH'larının %75'ine denk gelen ölçümlerinde Polar ve Huawei saatlerinin Bland-Altman grafiği; **d):** Katılımcıların maksimum KAH'larının %75'ine denk gelen ölçümlerinde Polar ve Xiaomi saatlerinin Bland-Altman grafiği.

### KAH Ölçümleri: %100 Maksimal Kalp Atım Hızı

Katılımcıların maksimum KAH'larının %100'üne denk gelen ölçümlerde Huawei ve Xiaomi saatlerinin Polar saat karşısında vermiş oldukları değerlerin istatistiksel sonuçları tablo 4'te görülmektedir.

Tablo 4'te Polar saat %100 KAH ölçümünde ortalama 190,5 (atım/dk) değerini gösterirken, Huawei saati 162,0 (atım/dk) ve Xiaomi saati ise 157,5 (atım/dk) değerini göstererek bu üç saat arasında istatistiksel yönden anlamlı farklılıklar olduğu görülmüştür ( $p < 0.05$ ). %100 KAH ölçümünde Polar saat ile Huawei saati arasında negatif yönlü zayıf, Polar saat ile Xiaomi saati arasında ise çok zayıf bir korelasyon bulunmuştur ( $p > 0.05$ ). Aynı gruba ait ölçümlerin aralarındaki ilişkide ise Polar saat ile Huawei saati arasında negatif yönlü zayıf, Polar saat ile Xiaomi saati arasında ise çok zayıf bir korelasyon bulunmuştur ( $p > 0.05$ ).

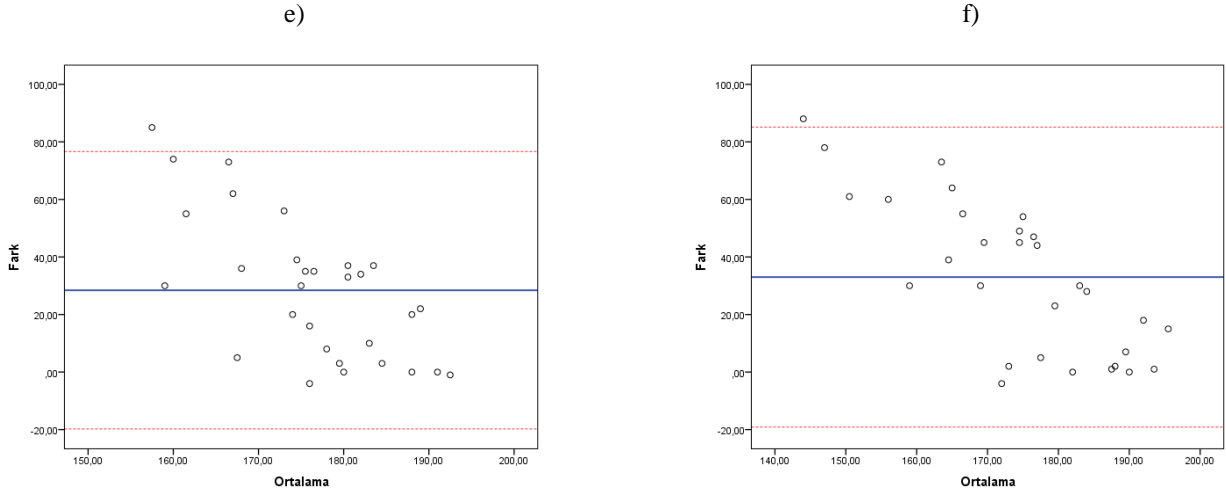
**Tablo 4.** Katılımcıların maksimum KAH'larının %100'üne denk gelen ölçümlerinde Huawei ve Xiaomi saatlerinin Polar saat karşısında vermiş olduğu verilerin geçerlilik ve korelasyon analizlerinin dağılımları.

Değişkenler	N	Ortalama	Standart Sapma ( $\pm$ )	p	r	ICC
<b>Polar V800</b>	30	190,5	9,0			
<b>Huawei</b>	30	162,0	20,2	.000*	-.332	-.208
<b>Xiaomi</b>	30	157,5	25,5	.000*	.046	.023

\* $p < 0.05$ , **p:** One-sample t testinden elde edilen anlamlılık değeri, **r:** Pearson korelasyon katsayısı, **ICC:** Sınıf içi korelasyon katsayısı.

Bland-Altman grafiklerinde de Huawei ve Xiaomi saatlerinin Polar saat karşısında verdiği değerlerde istatistiksel yönden anlamlı fark olduğu gözlemlenmektedir ( $p < 0.05$ ).





**Şekil 5.** e): Katılımcıların maksimum KAH'larının %100'üne denk gelen ölçümlerinde Polar ve Huawei saatlerinin Bland-Altman grafiği; f): Katılımcıların maksimum KAH'larının %100'üne denk gelen ölçümlerinde Polar ve Xiaomi saatlerinin Bland-Altman grafiği.

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Huawei Honor Band 5 ve Xiaomi Mi Smart Band 5 GAS'larının Polar V800 saati karşısında geçerli KAH verileri verip veremeyeceğini test etmek amacıyla yapılan bu çalışma da, DKAH ölçümlerinde her iki saatinde Polar saat karşısında geçerli ve doğru veriler verdiği, fakat katılımcıların maksimum KAH'larının %75 ve %100'üne denk gelen ölçümlerde ise geçerli veriler vermediği istatistiksel olarak ortaya konmuştur.

Bu araştırma, KAH ölçümlerinde Huawei ve Xiaomi GAS'larının geçerliliğini araştıran ilk araştırmadır ve bu yeni GAS'ların KAH ölçümlerinde ne kadar doğru veriler sağladığına dair hem uzmanlara hem de tüketicilere bilgi sağlamaktadır.

GAS'ların tümü KAH ölçümü için PPG teknolojisini kullanır. Nitekim Huawei ve Xiaomi saatleri gibi PPG teknolojisini kullanarak KAH ölçümü yaptığını iddia eden ve GAS piyasasında en büyük paya sahip olan Fitbit saatlerine ve Basis Peak, Microsoft Band, Scosche Rhythm, Mio Alpha, TomTom Runner Cardio ve Omron HR500U gibi farklı GAS'lara yönelik yapılan bilimsel araştırmalarda da bu çalışmaya paralel sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Yang ve arkadaşlarının (2018) KAH ve adım takibi ölçümü yapmak amacıyla 39 sağlıklı yetişkinle gerçekleştirdikleri araştırmada, katılımcıların dominant kol bileklerine Fitbit Charge HR saati non-dominant kol bileklerine ise Apple Watch 1 saatlerini takmışlardır. KAH ölçümleri için bu iki saati Polar saat karşısında test edebilmek için katılımcılara Polar saat takılmıştır. Katılımcıların hem dinlenik hem de yüksek şiddetli KAH ölçümlerini alabilmek için 20 dk. hareketsiz durmalarını ve toplam 50 dk. hem aerobik hem de hafif yoğunluklu egzersiz yapmalarını sağlamışlardır. Elde edilen sonuçlarda Apple Watch 1 saati Polar saat karşısında geçerli veriler verirken, Fitbit Charge HR saati geçerli veriler verememiştir. Her iki cihazda PPG teknolojisini kullanmalarına rağmen Apple Watch 1 geçerli, Fitbit Charge HR ise geçersiz KAH verileri vermiştir.

Benedetto ve arkadaşlarının (2018) yapmış oldukları çalışma da Fitbit Charge 2 saatinin KAH ölçümlerinde EKG karşısında doğru veri tahmininde bulunup bulunamayacağını ölçmek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmaya 15 katılımcı katılmıştır. Katılımcılara EKG cihazının



elektrotları prosedüre uygun bir şekilde takılmıştır. Fitbit Charge 2 saati ise non-dominant kol bileklerine takılarak katılımcıların 10 dk. boyunca KAH'larını mümkün olabilecek en yüksek seviyeye yükseltebilecekleri kadar bisiklet sürmeleri istenmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar bu çalışmaya paralellik göstermiş ve PPG teknolojisine dayalı KAH ölçümü yapan Fitbit Charge 2 saati EKG cihazı karşısında doğru sonuçlar vermemiştir.

Zambotti ve arkadaşlarının (2018) uyku esnasında Fitbit Charge 2 saatinin polisomnografi (PSG) uyku test kiti karşısında geçerli KAH verileri verip vermeyeceğini gözlemlemek adına yaptıkları araştırmaya 51 yetişkin birey katılım sağlamıştır. Katılımcılar uykudayken Fitbit Charge 2 ve PSG uyku setiyle KAH'ları ölçülmüştür. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlara göre Fitbit Charge 2 saati PSG uyku seti karşısında uyku sırasında geçerli KAH verileri vermemiştir.

Li ve Kim'in (2017) KAH ölçümlerinde kendi geliştirmiş oldukları ve geçerliliği ve güvenilirliği yapılmış olan cihazları karşısında Fitbit Charge 2 saatinin geçerli veriler verip vermeyeceğini araştırmak amacıyla yaptıkları araştırmada 50 katılımcının 400 metrelik yürüme ve koşma aktiviteleriyle KAH ölçümleri alınmıştır. Alınan ölçüm sonuçlarına göre Fitbit Charge 2 saati bu araştırmaya paralel bir biçimde geçerli veriler vermemiştir.

Jo ve arkadaşlarının (2016) EKG karşısında Fitbit Charge HR ve Basis Peak (BPk) GAS'larının KAH ölçümlerinde doğru sonuçlar verip vermeyeceğini test etmek amacıyla yaptıkları araştırmaya 24 sağlıklı katılımcı katılmıştır. Katılımcılar tek bir seferde toplam 77 dk. süren ve 15 dk. dinlenme bulunan koşu, yürüyüş, bisiklet vb. egzersiz protokollerine maruz bırakılmışlardır. Her birey EKG, BPk ve Fitbit Charge 2 saatlerini takmıştır. PPG teknolojisine dayalı olarak KAH ölçümü yapan her iki saatte EKG karşısında geçerli veriler vermemiştir.

Diğer çalışmalar piyasada daha az popüler olan Mio Alpha, Omron HR500U ve Schosche Rhythm gibi fotopletismografik KAH ölçme özelliğine sahip GAS'larında geçerliliğini incelemiştir. Spierer ve arkadaşlarının (2014) yaptıkları çalışmada 47 katılımcıya 6'şar dk.'lık bisiklet, yürüme ve ağırlık kaldırma egzersizleri yaptırmışlardır. Mio Alpha ve Omron HR500U GAS'larını Polar RS800CX (PRS) saati karşısında değerlendirdikleri bu araştırmada her iki saatinde KAH ölçümlerinde geçerli veriler vermediğini gözlemlemişlerdir.

Stahl ve arkadaşlarının (2016) yapmış oldukları araştırmada ise piyasada bulunan birçok GAS'a yer vermişlerdir. Polar RS400 karşısında Microsoft Band, Scosche Rhythm, TomTom Runner Cardio, Mio Alpha ve Basis Peak saatlerinin KAH ölçümü verilerinin geçerliliğini araştırmışlardır. Çıkan sonuçlara göre Microsoft Band, Scosche Rhythm, TomTom Runner Cardio, Mio Alpha ve Basis Peak saatleri Polar RS400 saati karşısında geçerli KAH verileri verememiştir.

Ancak, KAH ölçümlerinde yine PPG teknolojisini kullanan Apple Watch 1 ve Samsung Gear S gibi bazı saatlerin geçerli veriler verdiğini gösteren çalışmalarda vardır (Wallen ve ark., 2016; Yang ve ark., 2018).

Takacs ve arkadaşlarına (2014) göre yanlış fiziksel aktivite ölçümleri, sağlık durumunu takip etme gereksinimi bulunan bireyleri olumsuz etkileyebilmekte ve kullanıcılar için potansiyel bir tehlike oluşturabilmektedir. Hem sağlığın hem de egzersiz düzeyinin korunması için özellikle KAH'ın doğru bir biçimde takip edilmesi gerekmektedir.

PPG teknolojisine dayalı KAH ölçümü yapan birçok GAS'ın KAH ölçümünde referans kabul edilen cihazlara karşı geçerli veriler veremediği birçok araştırmada ortaya konmuştur. Daha az sayıda yapılan çalışmalarda bazı GAS'ların ise geçerli veriler verdiği görülmüştür. Bunun nedenlerini gün yüzüne çıkarabilmek için PPG teknolojisinin yapısına odaklanmak gerekmektedir.

En yaygın tanımıyla PPG olarak bilinen fotopletismografi teknolojisi, kan dolaşımının hacimsel varyasyonlarını ölçmek için bir kızılötesi ışık kullanır. Bu ölçüm, kardiyovasküler sistem hakkında bilgiler sağlar (Tamura ve ark., 2014). PPG teknolojisinin alternatif bir KAH izleme tekniği olarak popülaritesi, özellikle kullanımının basitliği, kullanıcılar için kullanım konforu ve ucuz olması nedeniyle artmıştır (Svirildova ve ark., 2015). Tipik bir PPG cihazı bir ışık kaynağı ve bir fotodetektör içerir. Işık kaynağı bir dokuya ışık yayar ve fotodetektör dokudan yansıyan ışığı ölçer. Yansıyan ışık kan hacmi değişimleriyle orantılıdır (Wang ve ark., 2013). En yaygın PPG sensörleri, ana ışık kaynağı olarak bir kızılötesi ışık yayan diyot (IR-LED) veya yeşil bir LED kullanır. IR-LED'ler en çok kaslar gibi vücudun belirli bölgelerinde daha derin konsantrasyon olan kan akışını ölçmek için kullanılırken, yeşil ışık tipik olarak oksihemoglobin (oksijenli kan) ve deoksihemoglobini (oksijensiz kan) ölçmek için farklı renklere sahip başka LED sensörleri olmasına rağmen, en yaygın kullanılan yeşil LED'dir. Bunun nedeni, dokuya daha derinlemesine nüfuz etmesi ve bu nedenle daha doğru ölçümler sağlayabilmeye çalışmasıdır. PPG sensörleri ayrıca dokudan yansıyan ışığın yoğunluğunu ölçmek için bir fotodetektör kullanır (John ve Bronzino, 2013). Ancak, bununla birlikte, PPG teknolojisine dayalı KAH izleme tekniğini kullanmanın en büyük zorluklarından biri, bu çalışmada da görüldüğü şekilde günlük rutin aktivitelerde gözlemlenmese de, fiziksel egzersizler sırasında PPG sinyallerinin izlenmesindeki yanlışlıklar ve tutarsızlıklardır. Bu sınırlamanın en temel sebebi, PPG sinyallerinin el hareketlerinden kaynaklanan Hareket Artefaktlarına (HA) çok duyarlı olmasından ileri gelmektedir (Zhang ve ark., 2015). Ancak, hareketin neredeyse hiç olmadığı ve bireyin sabit durduğu uyku pozisyonunda dahi Fitbit saatinin geçerli KAH verileri veremediği raporlanmıştır (Zambotti ve ark., 2018). Bu durum, KAH ölçümlerinde HA faktörü olmasa bile PPG teknolojisinin yine de doğru veriler veremeyeceği ihtimalini göz önüne sermektedir.

PPG teknolojisinin en önemli sınırlılıklarından bir diğeri ise, GAS'ları kullanacak kişilerin saati kol bileklerine uygun bir şekilde ve sıkıca bağlamalarının gerekmekte olduğudur. Eğer saatler kol bileğinde doğru konumlandırılmazsa PPG sinyallerinin kan damarlarından doğru veriler alması da olanaksızlaşır. Ancak, bu çalışmada ve bu çalışmaya paralel olan diğer çalışmaların birçoğunda da saatlerin kol bileklerine doğru konumlandırıldığı rapor edilmiş ve buna rağmen özellikle yüksek hareket ve egzersiz sırasında geçerli verilerin elde edilemediği görülmüştür. Bu da HA'nın PPG sinyalleri üzerinde ne kadar etkili olduğunun bir göstergesidir.

Önceki çalışmalarda PPG teknolojisinin ter, kıl ve titreşimden etkilendiği bildirilmiştir (Jo ve ark., 2016). Yüksek veya hafif yoğunluklu egzersizlerde kişilerin terleyecekleri ve harekete bağlı olarak yüksek oranda titreşime neden olacakları da açıktır. Dolayısıyla bu sınırlamalar da PPG teknolojisinin doğru veriler vermesini engelleyecektir.

Bunlardan farklı olarak, özellikle ağırlık kaldırma ve üst ekstremitenin yaygın kullanıldığı spor branşlarında cilt yüzeyindeki temas ve sıkıştırma kuvvetinin artmasıyla birlikte dalga formlarının zarar göreceğini bildiren çalışmalarda mevcuttur (Allen, 2007; Rafolt ve Gallasch, 2004, Teng ve Zhang, 2004).

Ayrıca, cilt renginin bile PPG sinyallerini etkilediğini gösteren araştırmalar literatürde yer almaktadır (Allen, 2007; Butler ve ark., 2016). Fakat, bu çalışmada yer alan her katılımcı PPG teknolojisinin en iyi yanıt verdiği ten rengi olan beyaz tenli bireylerden oluşmaktadır.

PPG teknolojisinin bir başka sınırlılığı ise çevresel gürültülerdir. Çevresel gürültü, PPG'nin sinyal alımını etkileyebilmekte ve bu da sonuçların tahmin doğruluğunu düşürebilmektedir (Zhang ve ark., 2015).

PPG teknolojisine yönelik yapılan araştırmalara bakıldığında, her ne kadar farklı cilt rengine sahip bireyler, çevresel gürültü ve kıl yoğunluğu fazla olan bireyler üzerinde az sayıda da olsa araştırmalar yapılmış olmasına rağmen, hem araştırmaların az olması hem de bu duruma sahip koşullarda PPG'ye yönelik farklı gözlem ve sınırlılık keşifleri yapabilmek için bu koşullar altında daha çok araştırma yapılması gerekmektedir.

Literatürde yer alan bilimsel araştırmalar detaylı bir şekilde incelendiğinde araştırmaların çoğu PPG teknolojisine dayalı KAH ölçümü yapan GAS'ların özellikle egzersiz ve hareket esnasında geçerli ve doğru veriler vermediğini ortaya koymaktadır. Bu duruma yukarıda değinilen çeşitli faktörler neden oluyor olsa da, en temel faktörün HA olduğu görülmektedir. Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda, PPG teknolojisinin yüksek hareketlerde doğru veriler verebilmesini sağlayabilmek adına, bu HA faktörünün PPG sinyalinin kalitesi üzerindeki etkilerini azaltmak için farklı teknik ve yaklaşımları geliştirmeye odaklanılması gerekmektedir.

Geçmiş çalışmalarda Huawei ve Xiaomi saatlerine oranla yüksek maliyetli Apple Watch ve Samsung Gear saatlerinin diğer PPG teknolojisi kullanan modellere göre egzersiz esnasında KAH ölçümlerinde geçerli veriler vermesi bu teknoloji firmalarının PPG teknolojisini geliştirmiş olduklarını, cihaz optimizasyonunu veya kalibrasyonunu daha iyi ayarladıklarını düşündürmektedir.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, PPG teknolojisine dayalı KAH ölçümü yapan Huawei ve Xiaomi GAS'ları, KAH ölçümlerinde referans olarak kabul edilen Polar V800 saati karşısında DKAH ölçümlerinde geçerli veriler vermiş, ancak, yoğunluğu giderek artan egzersiz protokolünde ve katılımcıların maksimum KAH'larının %75 ve %100'ünün ölçüldüğü değerlerde doğru ve geçerli veriler verememiştir. Tüm bu değerlendirmelerden yola çıkarak harici izleme monitörlerine sahip (Göğüs bandı) Polar saatlerinin KAH takibinde güvenilir ve geçerli bir ürün olduğu gözlemlenmektedir.

Sonuç olarak, KAH ölçümünde Huawei Honor Band 5 ve Xiaomi Mi Smart Band 5 GAS'larının fazla hareket gerektirmeyen günlük rutinlerde kullanımlarının uygun olabileceği, ancak egzersiz sırasında veya yüksek hareket gerektiren durumlarda sporcu gelişimi ve sağlığı açısından kullanımlarının uygun olmayacağı anlaşılmaktadır.

## KAYNAKLAR

Achten, J., Jeukendrup, A.E. (2003). Heart rate monitoring. *Sports medicine*, 33(7), 517±538. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00004> PMID: 12762827

Allen, J. (2007). Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. *Physiological Measurement*, 28, <https://doi.org/10.1088/0967-3334/28/3/r01> PMID: 17322588

Benedetto, S., Caldato, C., Bazzan, E., Greenwood, D., Pensabene, V., Actis, P. (2018). Assessment of the fitbit charge 2 for monitoring heart rate. *PLOS ONE*, 13(2), e0192691. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192691>

- Butler, M.J., Crowe, J.A., Hayes-Gill, B.R., Rodmell, P.I. (2016). Motion limitations of non-contact photoplethysmography due to the optical and topological properties of skin. *Physiological Measurement*, 37, 27-37.
- Caminal, P., Sola, F., Gomis, P., Guasch, E., Perera, A., Soriano, N., Mont, L. (2018). Validity of the Polar V800 monitor for measuring heart rate variability in mountain running route conditions. *Eur J Appl Physiol*, 118(3), 669-677. doi:10.1007/s00421-018-3808-0. PMID: 29356949.
- Ghamari, M., Arora, H., Sherratt, R.S., Harwin, W. (2015). Comparison of low-power wireless communication technologies for wearable health-monitoring applications. *I4CT - 2nd International Conference on Computer, Communications, and Control Technology in book*, (ss. 1–6). Kuching: Malaysia.
- Giles, D., Draper, N., Neil, W. (2016) Validity of the Polar V800 heart rate monitor to measure RR intervals at rest. *Eur J Appl Physiol*, 116(3), 563-71. doi:10.1007/s00421-015-3303-9. PMID:26708360; PMCID:PMC4751190.
- Grand View Research. (2015). <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/wearable-technology-market> adresinden erişilmiştir.
- Huang, C.J., Chan, H.L., Chang, Y.J., Chen, S.M., Hsu, M.J. (2021). Validity of the Polar V800 monitor for assessing heart rate variability in elderly adults under mental stress and dual task conditions. *Int J Environ Res Public Health*, 18(3), 869. doi:10.3390/ijerph18030869. PMID:33498381; PMCID:PMC7908342.
- Islam, S.M.R., Kwak, D., Kabir, H., et al. (2015). The internet of things for health care: A Comprehensive Survey. *IEEE Access*, 3, 678–708.
- Jo, E., Lewis, K., Directo, D., Kim, M.J., Dolezal, B.A. (2016). Validation of biofeedback wearables for photoplethysmographic. Heart rate tracking. *Journal of Sports Science & Medicine*, 15(3), 540–547 28179
- John, D.E., Bronzino, J.D. (2012). *Introduction to biomedical engineering*. San Diego: Academic Press.
- Kavsaoğlu, A.R., Polat, K., Hariharan, M. (2015). Non-invasive prediction of hemoglobin level using machine learning techniques with the PPG signal's characteristics features. *Appl Soft Comput*, 37, 983–991.
- Lai, P.H., Kim, I. (2015). Lightweight wrist photoplethysmography for heavy exercise: motion robust heart rate monitoring algorithm. *Healthcare Technology Letters*, 2(1), 6-11.
- Li, M., Kim, Y. T. (2017). Design of a wireless sensor system with the algorithms of heart rate and agility index for athlete evaluation. *Sensors*, 17(10), 2373.
- Massimiliano, D.Z., Aimee, G., Stephanie, C., Ian, M.C., Fiona, C.B. (2018). A validation study of Fitbit Charge 2™ compared with polysomnography in adults. *Chronobiology International*, 35(4), 465-476, DOI:10.1080/07420528.2017.1413578
- Pietilä, J., Mehrang, S., Tolonen, J., Helander, E., Jimison, H., Pavel, M., & Korhonen, I. (2017). Evaluation of the accuracy and reliability for photoplethysmography based heart rate and beat-to-beat detection during daily activities. *In EMBEC & NBC*, 5, 145-148.
- Rafolt, D., Gallasch, E. (2004). Influence of contact forces on wrist photoplethysmography--prestudy for a wearable patient monitor. *Biomedical Technology (Berl)*, 49, 22-26.
- Rawassizadeh, R., Price, B.A., Petre, M. (2015). Wearables: has the age of smartwatches finally arrived? *Commun ACM*, 58(1), 45–47.
- Spierer, D. K., Rosen, Z., Litman, L. L., Fujii, K. (2015). Validation of photoplethysmography as a method to detect heart rate during rest and exercise. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 39(5), 264–271. doi:10.3109/03091902.2015.1047536

- Stahl, S.E., An, H.S., Dinkel, D.M., Noble, J.M., Lee, J.M. (2016). How accurate are the wrist-based heart rate monitors during walking and running activities? Are they accurate enough? *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2015-000106> PMID: 27900173
- Sviridova, N., Sakai, K. (2015). Human photoplethysmogram: new insight into chaotic characteristics. *Chaos Solitons & Fractals*, 77, 53–63.
- Takacs, J., Pollock, C.L., Guenther, J.R., Bahar, M., Napier, C., Hunt, M.A. (2014). Validation of the Fitbit One activity monitor device during treadmill walking. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17, 496±500. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.10.241> PMID: 24268570
- Tamura, T., Maeda, Y., Sekine., M., et al. (2014). Wearable photoplethysmographic sensors—past and present. *Electronics*, 3, 282–302.
- Teng, X.F., Zhang, Y.T. (2004). The effect of contacting force on photoplethysmographic signals. *Physiological Measurement*, 25, 1323-1335.
- Wallen, M. P., Gomersall, S. R., Keating, S. E., Wisløff, U., Coombes, J. S., Calbet, J. A. L. (2016). Accuracy of heart rate watches: Implications for weight management. *PLoS One*, 11(5), e0154420. doi:10.1371/journal.pone.0154420
- Wang, C., Li, Z., Wei, X.. (2013). Monitoring heart and respiratory rates at radial artery based on PPG. *Opt Int J Light Electron Opt.*, 124(4), 3954–3956.
- Wright, S.P., Brown, T.S.H., Collier, S.R., Sandberg, K. (2017). How consumer physical activity monitors could transform human physiology research. *American Journal of PhysiologyDRegulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 312. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00349.2016> PMID: 28052867
- Yang, Bai., Paul, Hibbing., Constantine, Mantis., Gregory, J. Welk. (2018). Comparative evaluation of heart rate-based monitors: Apple Watch vs Fitbit Charge HR. *Journal of Sports Sciences*, 36, 1734-1741, doi:10.1080/02640414.2017.1412235
- Zhang, Y., Liu, B., Zhang, Z. (2015). Combining ensemble empirical mode decomposition with spectrum subtraction technique for heart rate monitoring using wrist-type photoplethysmography. *Biomed Signal Process Control*, 21, 119–125.
- Zhang, Z., Pi, Z., Liu, B. (2015). Troika: a general framework for heart rate monitoring using wrist-type photoplethysmographic signals during intensive physical exercise. *IEEE Trans Biomed Eng*, 62(2), 522–531.