



TIP TEKNO'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

Biyomedikal Sinyal İşleme 2

12 Ekim 2017 - 17.15-18.45 - Salon A

Fiziksel Performans Etkisinde Mental Aktivitenin Fotopletismograf ile İlişkisi

Relationship between Mental Workload and Photoplethysmography in the Effect of Physical Performance

Elif Işıkcı Koca¹, Dilek Göksel Duru¹

¹Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İstanbul Arel Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

{elifisikci, dilekgokseluru }@arel.edu.tr

Özetçe— Bu çalışmada dinlenme durumu ve fiziksel performansla ilintili yorgunluk durumunda mental aktivite esnasında oluşan fotopletismografi (PPG) sinyalleri incelenmiştir. Kontrollü fiziksel yorgunluk ile mental işyükü arasındaki bağlantıda fiziksel performans öncesinde ve sonrasında aritmetik işlemlerle desteklenen mental performansın kardiyorespiratuvar dayanıklılık kriteri olarak değerlendirilen aerobik kapasitenin (VO₂max) ölçümünün yanı sıra oksijen tüketimi, kalp atışı, elektrokardiyografi (EKG), elektroensefalografi (EEG) gibi fizyolojik ve elektrofizyolojik ölçümlerin yanı sıra önceki araştırmalarımızda kazanılan bulgulara PPG sinyalleri ile zihinsel işyükü arasında gözlemlenebilen etkilerin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmamızda, elit ve amatör sporculardan oluşan iki ayrı denek grubundan alınan PPG sinyalleri arasındaki farklılıklar irdelenmiş ve tartışılmıştır. PPG sinyallerindeki değişimler, deneklerin gruplararası ve grup içi kendi aralarında olacak şekilde ayrı ayrı yorumlanmıştır. Çalışmamızın sonucunda PPG sinyallerindeki değişimin elit gruplarda daha az olduğu, bunun yanında elit grup içerisindeki deneklerin de PPG sinyallerindeki değişimin farklılık gösterebileceği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler — fotopletismografi; mental aktivite; fiziksel performans.

Abstract— In this study the photoplethysmography (PPG) signals while mental workload during resting state and physical fatigue and tiredness are investigated. The aim is to examine the relationship between restricted physical fatigue and mental workload, and effects of mental workload on PPG during pre- and post- exercise accompanied with mathematical exercise besides physiological and electrophysiological measurements like aerobic capacity (VO₂max) the so-called cardiorespiratoire endurance criterion, oxygen consumption, heart rate, electrocardiograph (ECG), electroencephalography (EEG) gained in our previous research. In this study, differences between PPG signals between two discrete groups namely

elite and amateur athlete groups are investigated in detail. Variances of PPG signals are analyzed and discussed within and between groups. Results specify that variances in PPG of elite group are less than variances in amateur group's PPG data, and also it's been observed that PPG signals within group may vary like in our elite group.

Keywords — photoplethysmography; mental activity; physical performance.

I. GİRİŞ

Merkezi ve otonom sinir sisteminde elit ve amatör sporcu grupları arasında stres altında ve mental aktivite esnasında bazı farklılıklar oluşmaktadır [1]. Bu çalışmada gerçekleşen bu farklılıkların fotopletismografi (PPG) sinyalleri üzerinden çıkarımı hedeflenmiştir.

PPG sinyalleri, fotoelektrik metotlardan biri olup doku kan hacmini ölçmede kullanılmaktadır [2]. Deri üzerindeki ışık şiddeti değişimlerini ölçmeye yarayan bu teknik; nabız, kan basıncı, oksijen saturasyonu gibi fizyolojik parametrelerin ölçümü için çokça tercih edilmektedir [3].

Fiziksel aktivitenin süresi uzadıkça deneklerde yorgunluğa bağlı olarak elektrofizyolojik değişimler meydana gelmektedir. Çalışmamızda, denekler fiziksel yorgunluğa maruz kaldıktan sonra vücutlarında oluşan fizyolojik etki en basit haliyle nabız ölçümü (kalp atım değişkenliği, HRV) ile saptanabilmektedir. Buna bağlı olarak deneklerden alınan EKG sinyalleri de durumun diğer belirteçlerindedir. Bu etkiler ise merkezi ve otonom sinir sistemlerinin kontrolünde olup, damar çeper genişliğinden sorumlu olan vazomotor aktivite, sempatik sinir sisteminin kontrolündedir. Damar çeperlerinde daralma oluştuğunda parmak uçlarına kan akışı azalmakta, böyle bir durumda PPG sinyallerinin genliklerinde azalma gözlenirken sempatik sinir sisteminin uyarımında ise artım olmaktadır [4]. Benzer şekilde PPG sinyalleri kalp atım değişiminin gözlenmesinde de kullanılmaktadır. Kalp atımı esnasında dokulardaki kan hacim değişimine dayalı olarak PPG sinyalinin tepe noktaları oluşmaktadır [4]. PPG, girişimsel olmayan bir yöntem [5] olması ve kolayca deri yüzeyinden uygulanarak

Biyomedikal Sinyal İşleme 2

12 Ekim 2017 - 17.15-18.45 - Salon A

özellikle kardiyovasküler sistemle alakalı bilgiler vermesinden dolayı günümüzde birçok çalışmada tercih edilmektedir.

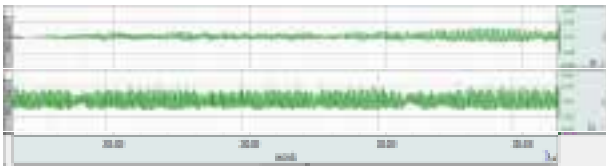
Bu çalışmada ise, elit ve amatör olmak üzere iki farklı grup üzerinde, dinlenme durumunda ve fiziksel performansa dayalı yorgunluk etkisinde ölçüm yapılarak, ayrıca deney paradigmasına zihinsel işyükü eklenerek, mental aritmetik işlemlerle birlikte deneklerde kontrollü stres oluşturulması ile dinlenme ve stres altında uyarılma düzeylerinin ölçümünün, fotopletismografik bulgularla doğrulanması hedeflenmiştir.

II. YÖNTEM

A. Elektrofizyolojik Ölçüm

Çalışmamızdaki denek grupları, önceki çalışmalarımızda maksimum oksijenlenme düzeyleri ölçülen gönüllü kişiler olup, aynı deneklerin verileri kullanılmıştır [1,6]. Deneklerde kontrollü fiziksel yorgunluğun oluşması ve bu durumun aktivite sonrası mental işyüküne etkisini ölçebilmek amacıyla deneklere mekik koşu testi uygulanmıştır. Mekik koşu testi, kolay uygulanabilirliği, kontrol edilebilirliği ve test sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilmeye uygunluğu açısından oldukça fazla tercih edilmektedir [7]. Bu test, deneklerin 20m. uzunluğundaki parkurda belirli süreler içerisinde akıllı telefon uygulaması (BH test) destekli kademeli hız artırımı ile gerçekleştirilmektedir. Denek maksimum fiziksel performansa ulaştığı andaki değerler, maksimum oksijenlenmeyi ve kişinin maksimum aerobik kapasite ölçümünü (VO₂max) vermektedir. Fiziksel performans öncesi ve sonrası deneklerden; kalp atım hızı, EEG alfa bandı değişimi ve fotopletismografi sinyalleri ölçümlenmiştir. Hem dinlenme, hem de fiziksel aktivite sonrasında ise deneklere zihinsel aritmetik ödevi verilerek, mental işyükü yaratılmış, elektrofizyolojik ölçüm olarak PPG'nin fiziksel performans ile ilişkisi ve sinyaldeki değişimlerin mental aktivite ile ilişkisi irdelenmiştir.

Dinlenme durumu ve performans sonrası deney (çekim) prosedürü olarak, önceki pilot çalışmaların devamı niteliğinde üç fazlı protokol; 90 saniyelik göz kapalı dinlenme durumu (GK1), 180 saniye süresince gözler kapalı geriye yedişer yedişer sayma işlemi mental aktivite (MA), ardından ikinci 90 saniye göz kapalı dinlenme periyodu (GK2) uygulanmıştır. Performans



Şekil 2.a. Elit sporcuların dinlenme durumu (sol üst) ve mekik koşu testi sonrası (sol alt) için PPG sinyali ölçüm örneği. (-2 ile 2mV/zaman (sn)).

Her iki gruptaki deneklerin verilerinde, dinlenme durumunda kayıtlanan PPG sinyallerinin genliği, fiziksel aktivite sonrası alınan sinyallere göre daha düşük olmaktadır (Şekil 2.a-b). Bu durum, sporcularda fiziksel uyarı düzeyiyle PPG sinyallerinin artışlarındaki orantıyı göstermektedir. Deney grupları arasındaki PPG sinyallerindeki genlik ve frekans farkını niceliksel incelenmesi amacıyla MATLAB ortamında sinyaller işlenmiş, Şekil 3.a ve b' de gösterildiği üzere (mavi-GK1, yeşil-MA,

durumu içinse, mekik testinde her bir denek için kendi maksimum değerinin % 80'ine denk gelen değere ulaşmaya kadar mekik koşu testine tabii tutulmuştur. Böylelikle her denegin kendi ölçütlerinde ve eşit yorgunluk oluşturularak değerlendirilmeye alınması sağlanmıştır.

Deneklerin kontrollü yorgunluklarının ardından 3 dakika dinlenme süresi uygulandıktan sonra dinlenme durumunda gerçekleştirilen ölçüm prosedürü aynı şekilde tekrar edilmiştir. BIOPAC MP36 ile gerçekleştirilen ölçümlerde örnekleme hızı 1kHz olan PPG'nin (Şekil 1) yanı sıra kontrollü fiziksel ve mental yorgunluğun etkisini daha iyi gözlemlemek adına EKG, EDA ve parietal bölgeden EEG ölçümlenmiş, ancak bu çalışmada PPG bulguları yorumlanmıştır.



Şekil 1. BIOPAC MP36 ile ölçümlenen örnek bir PPG sinyali

B. Denekler

Çalışmamızda elit grup, ulusal ve uluslararası başarıları olan milli sporculardan, amatör grup ise amatör ligde spor yapan elit olmayan deneklerden oluşturulmuştur. Deneklerin eğitim, yaş ve cinsiyet kriterleri aynı olup (20-30 yaş, erkek), herhangi bir nörolojik hastalık geçmişine sahip olmayan ve ilaç kullanmayan 2 elit, 2 amatör olmak üzere dört gönüllü katılmıştır.

III. SONUÇLAR

Bu çalışmadaki veriler, mekik koşu testi öncesi "dinlenme durumu" ve mekik koşu testi sonrası "shuttle (mekik koşu)" olarak ifade edilmektedir.

Elit ve amatör sporcuların fiziksel ve mental yorgunluğa verdikleri tepkiler Şekil 2.a ve Şekil 2.b' de görülmektedir. MA ve GK2 olarak belirtilen zamanları içeren bu periyottaki amaç, mental yorgunluğun etkisinin incelenmesini sağlamaktır.

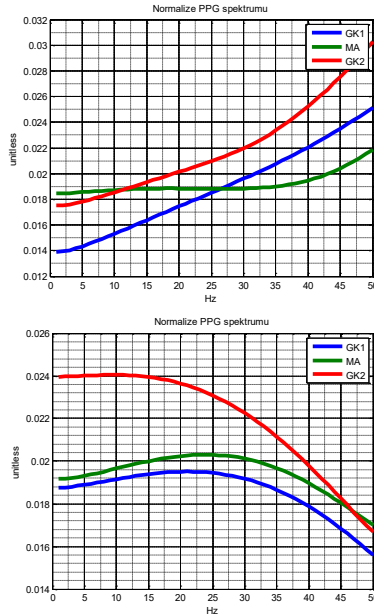


Şekil 2.b. Amatör sporcuların dinlenme durumu (sağ üst) ve mekik koşu testi sonrası (sağ alt) için PPG sinyali ölçüm örneği. (-2 ile 2mV/zaman (sn)).

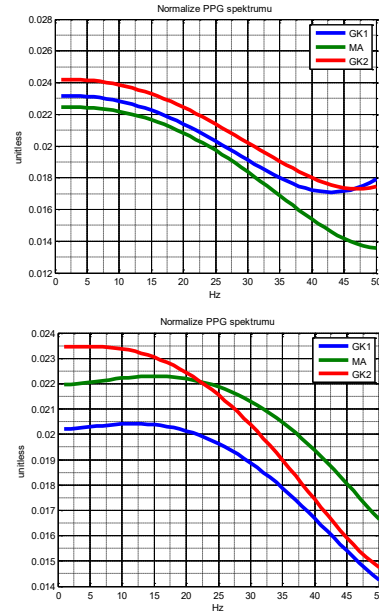
kırmızı-GK2), elit grupların dinlenme durum frekansları amatör grup deneklerine göre daha düşük olarak saptanmış; mekik koşu sonrasında ise elit ve amatör gruplar arasında her iki grupta da azalma olduğu gözlemlenmiştir. Grup içi analizde ise, amatör sporcuların dinlenme ve mekik koşu sonrası ölçümlerinin minimum ve maksimum değerleri arasında ise belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir.

Biyomedikal Sinyal İşleme 2

12 Ekim 2017 - 17.15-18.45 - Salon A



Şekil 3.a. Elit sporcuların dinlenim durumu (sol üst) ve mekik koşu testi sonrası (sol alt) için PPG ölçümlerinin frekans incelemesi (mavi-GK1, yeşil-MA, kırmızı-GK2)

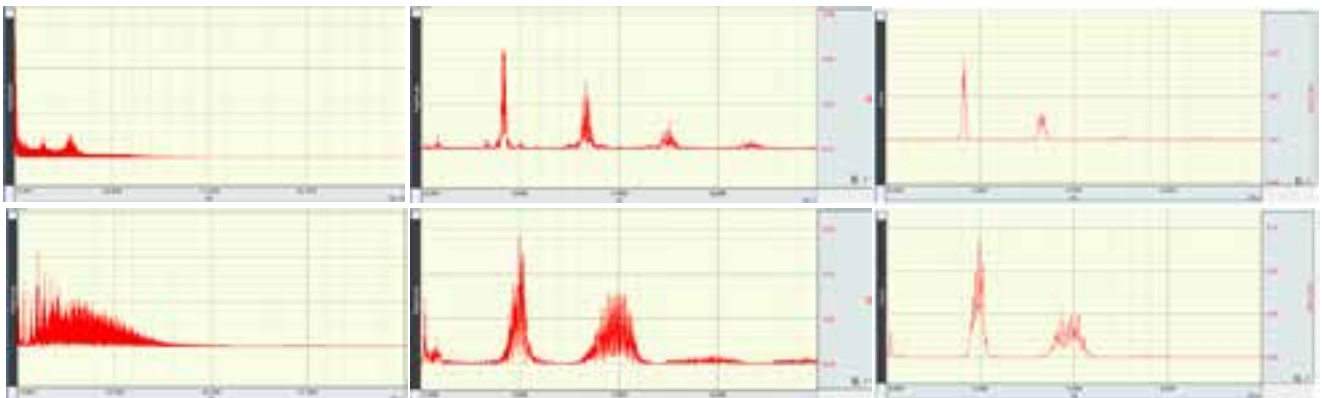


Şekil 3.b. Amatör sporcuların dinlenim durumu (sağ üst) ve mekik koşu testi sonrası (sağ alt) için PPG ölçümlerinin frekans incelemesi (mavi-GK1, yeşil-MA, kırmızı-GK2)

Çalışmamızda fiziksel yorgunluk durumu öne çıkarılarak, mekik koşu testi sonrası ölçümlenen PPG sinyallerinin FFT genlik analizleri (Şekil 4.a ve b) üzerinde durulmuştur. Amatör gruptaki denekler için FFT değişimlerinin stabil (sabit) olmadığı ve elit gruba göre frekans farklılığının (varyasyonun) daha çok olduğu görülmektedir (Şekil 4.a). Bununla birlikte PPG sinyallerinin (Şekil 2) gürültülü olması sebebiyle FFT analizleri karmaşıktır. Dolayısıyla, elit ve amatör sporcu gruplarının kontrollü egzersize verdikleri tepkilerin daha iyi anlaşılması amacıyla, sinyallerin gürültüden temizlenerek analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.a,b). Ölçüm cihazı BIOPAC MP36' nın analiz fonksiyonlarından "sonlu darbe yanıtı" (FIR, Finite Impulse Response) alçak geçiren filtreleme ile sinyaller temizlenmiştir (Şekil 4.b). PPG sinyali ile periferel oksijenin satürasyonu (SpO2), kalp atım hızı, anestezi durumu ölçümlenebilmektedir. Sinyal, hastanın durumu, solunumu veya hareketi gibi hastanın içinde bulunduğu durumdan ve çevresel faktörlerden

etkilenmektedir. Solunum frekans bandı 0.04-1.6 Hz, hasta hareketinden kaynaklı hareket artefaktlarının frekans bandı ise 0.1Hz ve üzeri aralıklar bu frekans ayırımına örnek verilebilir [8,9]. Frekans bant genişliği 0.5-4.0 Hz aralığında abul edilen [8,9] PPG sinyali ile örtüşen artefakt sinyallerinin gürültüden arındırılması için tercih edilen *sonlu darbe yanıtı* alçak geçiren filtrenin temeli konvolüsyon teoremine dayanmakta olup (1), çıkış sinyali giriş sinyalinin katsayılarla çarpılıp toplanması ile oluşturulmaktadır [10].

$$y_k = \sum_{m=0}^{M-1} h_m x_{k-m} \quad (1)$$



Şekil 4.a. Elit (üst) ve Amatör (alt) sporcuların mekik koşu testi sonrası için PPG sinyallerinin (mV) FFT incelenmesi

Şekil 4.b. Elit (üst) ve Amatör (alt) sporcuların mekik koşu testi sonrası için PPG sinyallerinin (mV) frekans spektrumu

Şekil 4.c. Elit (üst) ve Amatör (alt) sporcuların mekik koşu testi sonrası için PPG sinyallerinin güç spektrumu analizi (mV)²/Hz)

Biyomedikal Sinyal İşleme 2

12 Ekim 2017 - 17.15-18.45 - Salon A

h_m filtrenin özelliklerine dayanan katsayı olup, filtrenin frekans karakteristiklerinin ters Fourier transformu olarak hesaplanmaktadır. h_m katsayısı pozitif (+M) ve negatif (-M) indeks değerleri olarak belirtilmekte olup, teoride M değerinin sonsuz olduğu kabul edilmektedir. Filtrenin tepkisi, x örnekleri için geçerli k anında, geçmiş ($x_{k-1}, x_{k-2}, \dots, x_{k-m}$) ve gelecek zaman için ($x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_{k+m}$) olacak şekilde hesaplanmaktadır [10]. FIR alçak geçiren filtre, verilen tepki sinyaline sonlu cevap verebileceğinden dolayı, bu çalışmada elit ve amatör grupların tepkilerinin değerlendirilmesinde uygun olacağı sebebiyle seçilmiştir.

IV. TARTIŞMA

Çalışmamızda PPG sinyalleri ile mental işyükünün ilintisi araştırılmıştır. Literatür ile örtüşür şekilde elit gruplar daha çok sportif faaliyet içerisinde bulunduğundan dolayı fiziksel performanslarının yüksek olmasının kazanımı olarak fiziksel yorgunluk üzerine eklenen mental iş yükünü daha çok tolere edebilir durumda oldukları saptanmıştır (Şekil 2 ve 5). Önceki çalışmalarımızın bulguları doğrultusunda [1,6], elit sporcuların fiziksel performans ve mental aktivite esnasında öğrenmiş ve alışık oldukları için daha az beyin aktivitesi ile doğru karar verip, verilen işi rahat gerçekleştirdiklerinin elektrofizyolojik bulgusu doğrultusunda, daha az beyin aktivitesi ise PPG sinyallerinin

değerlendirilmesinde frekans değerlerindeki değişimin daha az olmasını desteklemektedir. Grup içi karşılaştırmada (Şekil 5), Şekil 2' deki gürültü sinyalleri filtrelenmiştir (Şekil 4). Analiz sonucunda, elit grup PPG tepkilerinin amatör gruptaki deneklere kıyasla daha az ve kısa genlik değerine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4.a-b). Bu durumun elit gruptaki deneklerin spor geçmişlerinin daha güçlü olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Örnek iki deneye ait PPG' de, elit gruptaki deneklerin nabız değerleri 110-130 arasında değişmekte iken (Şekil 5, sol), amatör gruptaki deneklerin nabızları 180-200 arasında değişim göstermektedir (Şekil 5, sağ). Nabız değerleri açısından elit grup fiziksel performansa daha toleranslı olduğundan, literatür ile örtüşür şekilde nabız değerleri amatör gruba göre daha düşük saptanmıştır [1,6]. Bu bulgulara dayanarak Şekil 5 için aynı gruba dahil deneklerde PPG farklılıklarının görülmesinin sebepleri arasında; deneklerin gerçekten maksimum performans sergilememiş olmaları, fiziksel performansın her deneye ait olacak şekilde bireysel değerlendirilmesi ve deneklerin yorgunluklarının kişiye bağlı olmasından dolayı eş yorgunluğun sağlanamamış olması gibi etkenler düşünülebilir.



Şekil 5. (sol) Elit grup deneklerinin (sağ) Amatör gruba ait deneklerin kendi içinde PPG sinyallerinin karşılaştırılması. PPG sinyalleri, -2 ile 2 mV/zaman (sn) arasında sabit pencerede verilmektedir.

Aynı grup içerisindeki deneklerde gözlenen PPG sinyal değişimleri, deneklerin farklı alanlardaki spor çalışmaları ile de bağdaştırılabilir. Bu fikir üzerinde yoğunlaşıldığında ise kazanılan bulgular, deneklerin fazık (uyarana cevap niteliğinde, kısa süreli aktiviteler) ve tonik (zaman göre sürekliliği olan aktiviteler) [11] aktivite anlamında daha detaylı incelenmesi açısından gelecek çalışmalarımıza yol gösterici olmaktadır.

TEŞEKKÜR

Çalışmaya gönüllü olarak katılan Marmara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi öğrencileri Milli Sporcularımıza, İstanbul Arel Üniversitesi öğrencileri amatör sporcularımıza destekleri ve katılımları için teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] Taner, U., et al., "Mental İş Yükünün Maksimum Oksijen Tüketimine Etkisinin Elektrofizyolojik Bulguları", *XX. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Topl. (BIYOMUT)*, 3-5, 2016.
- [2] Kavsaoglu, A.R., ve ark., "Temaslı ve temassız PPG sinyallerinin biyometrik tanımda kullanımı ve performans karşılaştırılması", *Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi (Tiptekno '14)*, 167-171, 2014.
- [3] Bal, U. and Bal, A., "Temasız Fotopletismografi İle Nabız Kestiriminde Hemogloblin Seviyesinin Etkisi", *DEU Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17(2-50):47-53, 2015.

- [4] Okkesim, Ş., et al., "Hipoglisemi Sendromunun Fotopletismografi ve Elektriksel Deri İletkenliği Sinyalleri Üzerindeki Etkisi", *Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi (Tiptekno '14)*, 213-217, 2014.
- [5] Silva, S. M. L., Giannetti, R., et al., "Heuristic Algorithm for Photoplethysmographic Heart Rate Tracking During Maximal Exercise Test", *Journal of Medical and Biological Engineering*, 32(3): 181-188, 2011.
- [6] Taner, U., et al., "Maksimum Oksijen Tüketimi ile Elektrofizyolojik Ölçümler Arasındaki İlişkinin Analizi", *2016 Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineering's Meeting (EBBT)*, 16052644, s.1-4, 2016.
- [7] A. D. Flouris, et al., "Enhancing the efficacy of the 20 m multistage shuttle run test," *Br. J. Sports Medicine*, cilt 39, s. 166-170, 2005. doi: 10.1136/bjbm.012500, 2004.
- [8] Carr, J.J. and Brown, J. M., "Introduction to Biomedical Equipment Technology", *Prentice-Hall*, Upper Saddle River, NJ, USA, 1998.
- [9] Rusch, T.L., et al., "Signal processing methods for pulse oximetry," *Comput. Biol. Med.*, vol. 26, no. 2, pp. 143-159, 1996.
- [10] "Playing with STM32F407 test board - FIR filtering", *STMicroelectronics*. Discovery kit for STM32F407/417 line. <http://goo.gl/hs7X28>.
- [11] Özocak, O., "Bireysel Sporcularda Elektrodermal Aktivite ve Fiziksel Uygunluk Parametrelerinin Belirlenmesi", *Erciyes Üniv. Sağlık Bil. Ens., Egzersiz Fizyolojisi Yüksek Lisans Tezi*, 2015.