

Fotopletismografi Sinyalleri ile Biyometrik Tanımaya Yönelik Özellik Çıkarımı

Feature Extraction for Biometric Recognition with Photoplethysmography Signals

A. Reşit Kavsaoglu¹ Kemal Polat² M. Recep Bozkurt³ Hariharan Muthusamy⁴

1. Elektronik ve Otomasyon Bölümü
Ayancık MYO, Sinop Üniversitesi, Sinop, Türkiye

kavsaoglu@sinop.edu.tr

2. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, Türkiye

kpolat@ibu.edu.tr

3. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

mbozkurt@sakarya.edu.tr

4. School of Mechatronic Engineering,
Universiti Malaysia Perlis, Perlis, Malaysia

Özetçe— Fotopletismografi (PPG) sinyalleri biyo-sinyaller arasında kullanım kolaylığı, kolay erişilebilir olması, güvenilirlik ve gizliliğinin yüksek olması gibi özelliklerinden dolayı ön plana çıkmaktadır. PPG sinyalleri üzerinde yapılan fizibilite çalışmaları, PPG sinyallerinin insan tanıma için önemli özellikler içerdiğini ve biyometrik tanımlama sistemlerinde kullanılabilirliğini göstermektedir. Bu çalışmada, biyometrik tanıma yönelik ön çalışma olarak PPG sinyalinden zaman domeninde 20 yeni özellik çıkarılmıştır. SDPPG (ikinci türev PPG) veri elde etme kartı kullanılarak beş sağlıklı kişiden 10 sn'lik PPG sinyalleri kaydedilmiştir. Alınan ham PPG sinyallerinden, gürültüyü ayıklamak için 200 noktalı 10 Hz'lik kesim frekansına sahip FIR alçak geçiren bir filtre tasarlanmıştır. 20 yeni özellik, filtrelenmiş PPG sinyali ve PPG sinyalinin ikinci türevinden elde edilmiştir. 10 sn'lik PPG sinyali, 8 periyot içermektedir ve her bir kişiden alınan 20 karakteristik özellik her bir periyotta değişmemesi gerekmektedir. Bu özellik bir kişiyi ayırt etmede kararlılığı simgelemektedir. Biyometrik tanımlama sisteminin performansını test etmek için k-en yakın komşu sınıflama algoritması kullanılmış ve 20 yeni özellik ile 10 kat çaprazlama kullanılarak %95 tanımlama başarıları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, bu geliştirilen PPG sinyaline dayanan biyometrik tanımlama sistemi umut vaat etmektedir.

Anahtar Kelimeler — Biyometri, Fotopletismografi (PPG), Tanımlama, Sınıflandırma, Türevler, Özellik çıkarımı.

Abstract— Photoplethysmography (PPG) signals stand out due to features such as readily accessible, high reliability and confidentiality, the ease of use etc. among bio-signals. The feasibility studies carried out on the PPG signals demonstrated that PPG signals contained important features for human

recognition and were the availability of biometric identification systems. In this study, twenty new features were extracted from PPG signal as a preliminary study intended to biometric recognition. PPG signals with 10 seconds were recorded from five healthy people using SDPPG (second derivative PPG) data acquisition card. To remove the noise from received raw PPG signals, a FIR low pass filtering with 200 points and 10 Hz cut-off frequency was designed. These twenty new features were obtained from filtered PPG signal and its second derivative. PPG signal with 10 seconds contains eight periods and twenty characteristic features in each person must not change within an individual over a period. This feature symbolizes the consistency in the identification of a person. To test the performance of biometric recognition system, the k-NN (k-nearest neighbor) classifier was used and achieved 95% of recognition success rate using 10-fold cross validation with twenty new features. The obtained results showed that the developed biometric recognition system based on PPG signal were very promising.

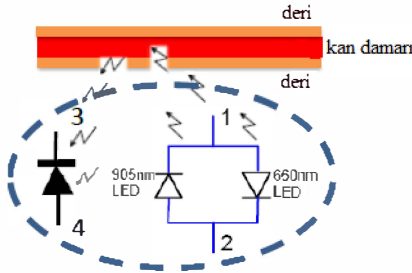
Keywords — Biometrics, Photoplethysmography (PPG), Identification, Classification, Derivatives, Feature Extraction

I. GİRİŞ

Vücudumuzdaki belirli karakteristikler veya davranışlarımızdaki özellikler, parmak izi, yüz [2, 3], ses [4], retina/iris [5], dudak hareketleri [6], yürüyüş hareketi [7], elektroensefalografi (EEG) [8] ve elektrokardiyografi (ECG) [9, 10] gibi, insan tanımlama aracı olarak incelenmiştir. Bu biyometrik yaklaşımlara dayalı uygulamalar bize umut verici ve reddedilemez bir insan tanıma geleceği sağlayacaktır. Fakat bu sistemlerde kullanılan biyo-sinyaller den parmak izi latekslerle, yüz tanıma bir fotoğraf ile ses taklit edilebilirliği ile [11] çeşitli

şekillerde kopyalanabilmektedir. EEG veya ECG temelli metotlar ise biyo-sinyalleri elde etmek için çeşitli elektrotlar gerektiğinden zordur. Bazı biyo-sinyallerin elde edilebilirliğinin kolay olmayışı kullanışlılığının sorgulanmasına, bazılarının ise taklit edilebilir veya kopyalanabilir olması güvenilirlik ve gizliliğinin sorgulanmasına yol açmaktadır. Tam bu noktada PPG sinyalleri biyo-sinyaller arasında kullanım kolaylığı, kolay erişilebilir olması, güvenilirlik ve gizliliğinin yüksek olması gibi özelliklerinden dolayı ön plana çıkmaktadır

PPG, vücudun cilde yakın bir test bölgesinde akan kan hacmi hakkında bilgi veren noninvaziv-zararsız, elektro-optik bir metottur. PPG'yi elde etmek için örneğin parmak ucunun, bir tarafına dalga boyu λ olan bir ışık kaynağı, diğer tarafına kaynağın tam karşısına iletilen ışığı yakalayacak bir fotodedektör yerleştirilir. Tipik bir PPG sinyali kan damarlarının içinden geçmeden deri, kas ve kemikten geçen büyük bir DC bileşenden, deri, kas ve kemikten ayrılarak doğrudan kan damarlarından geçen küçük bir AC bileşenden ve atardamar kan damarlarından da geçen ışıktan meydana gelmektedir. Sistolden, kalp kasılmasından hemen sonra arterlerdeki kan miktarı artar, böylece alınan ışık şiddeti de düşer. Diastol, kalp gevşemesi boyunca arterlerdeki kan miktarı azalır ve ışık geçişinde artış görülür. Temel bir ölçüm bölgesinde sinyalin %99'u deri, kas ve kemikten, %0,9'u toplardamardan, %0,1'i atardamarlardan gelir [12]. Şekil 1'de PPG sinyalini elde etmede kullanılan DCM03 yansımali sensörün şematik gösterimi görülmektedir [15].



Şekil 1. DCM03 yansımali sensör şematik gösterimi [15].

Literatürde, çok az sayıda PPG sinyaline dayalı biyometri çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır: Gu, Y.Y. ve ark. çalışmalarında, parmak ucundan kolaylıkla elde edilebilen PPG sinyalleri kullanarak yeni bir insan doğrulama yaklaşımı sunmaktadırlar. Deneyisel çalışmalarını 17 sağlıklı kişiden oluşan bir grup üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Sayısallaştırılmış PPG sinyallerinden dört özellik parametresi elde etmişlerdir. Şablon bir özellik vektörü kayıtlı sinyaller kullanarak formüle edilmiştir ve sonrasında kalan verileri doğrulamak için diskriminant fonksiyonu uygulamışlardır. İnsan tanıma için umut veren bu metot sonuç olarak %94 oranında başarı göstermiştir [1]. Diğer bir çalışmada, PPG sinyallerinin türevleri ile kişilerin kendi içerisindeki tutarlılığı ve farklı kişiler arasında ayırt edilebilirlik gibi iki önemli çıkarım yapılmıştır. Deneyisel sonuçlar, istatistiksel araçların kullanılmasıyla, türevlerin, kesinlikle bir kişinin PPG sinyalinin özelliklerini belirteceğini ve tanıma amaçlı biyo-ölçümlerde kullanılabileceğini göstermiştir[13]. Bir başka çalışmada, PPG sinyalleri için sinyalin DC bileşenini çıkartmaya yönelik bir yükselteç devresinin tasarımı tartışılmaktadır. Sonuç olarak bir amplifikatöre bias ayarlı devre eklenmiş ve ham PPG sinyalinden yüksek bir sinyal-gürültü oranlı AC sinyal elde

edilmiştir. Geliştirilen bu donanım ile daha iyi sinyal kalitesi elde edilmiş ve tanıma işlemlerinde veri işlem kolaylığı sağlanmıştır [14].

Bu çalışmada önerilen yöntem, PPG sinyalleri ile biyometrik tanıma yönelik yeni özelliklerin çıkarımı, verilerin elde edilmesi, ön işlem, PPG sinyali ve PPG sinyalinin ikinci türevi kullanılarak özellik çıkarımı ve k-en yakın komşu sınıflandırma işlemlerinden oluşmaktadır. Veri elde etme işlemi bir PPG veri toplama kartı üzerinden gönüllü 5 kişiden sağlanmıştır. Ön işleme ile elde edilen sinyalde bulunabilen analog devre gürültüleri, ortam aydınlık değişimi, solunum, hareket sonucu oluşan taban sapması gibi çeşitli artefaktların giderilmesi sağlanmıştır. PPG sinyali ve türevleri kullanılarak zaman domeninde PPG sinyalinin sistolik tepe, diastolik tepe, artış indeksi, tepeden tepeye aralık, darbe genişliği gibi 20 yeni özellik bulunmuştur. Bu özelliklerden kararlılık ve ayırt edilebilirlik kriterlerine uygun olan özellikler istatistiksel yöntemlerle incelenmiş ve biyometrik tanımayı gerçekleştirmek için k-en yakın komşu sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır.

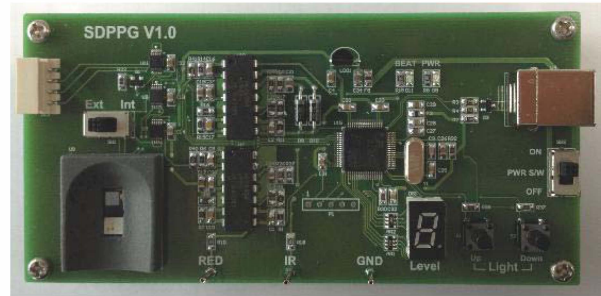
II. MATERYAL METOD

A. PPG biyometrik veri kümesi

Bu çalışmada, Şekil 2'deki STM32F103xC ARM temelli 32 bit mikrodenetleyicili, üzerinde DCM03 yansımali sensör bulunan 2 kHz örnekleme frekansına sahip bir SDPPG PPG veri elde etme kartı ile sağlıklı beş kişiden 10'ar saniyelik PPG sinyalleri elde edilmiştir. Her bir kişi için elde edilen sinyallerde 8'er periyot dikkate alınarak her bir periyot için 20 karakteristik özellik çıkarılmasıyla veri kümesi oluşturulmuştur.

B. Metod

Elde edilen sinyal analog devre gürültüleri ve ortam aydınlık değişimi, solunum, hareket sonucu oluşan taban (base-line) sapması gibi çeşitli artefaktlar içerir. Karakteristik özelliklerin çıkarılması işlemi yapılmadan önce PPG sinyalinin bu gürültü ve artefaktlardan ayıklanması gerekir. Bu amaçla ilk olarak elde edilen PPG sinyalinin ortam aydınlık değişiminden etkilenmesini en aza indirmek için orijinal PPG veri edinme kartında [15] bulunan DCM03 yansımali sensörün üzeri Şekil 3'de gösterildiği gibi kapatılmıştır. İkinci olarak elde edilen PPG sinyalinde analog devre gürültülerini gidermek için 200 noktalı 10 Hz kesim frekansına sahip FIR alçak geçiren filtreleme işlemi uygulanmıştır. Sonrasında elde edilen PPG sinyalinden ikinci türev hesaplanmıştır. Şekil 4'de bir kişiye ait 0-1 aralığına normalize edilmiş PPG sinyali, PPG sinyalinin ikinci türevi ve bu sinyallerden çıkarılan karakteristik özellikleri bulmak için kullanılan özellik noktaları gösterilmektedir.

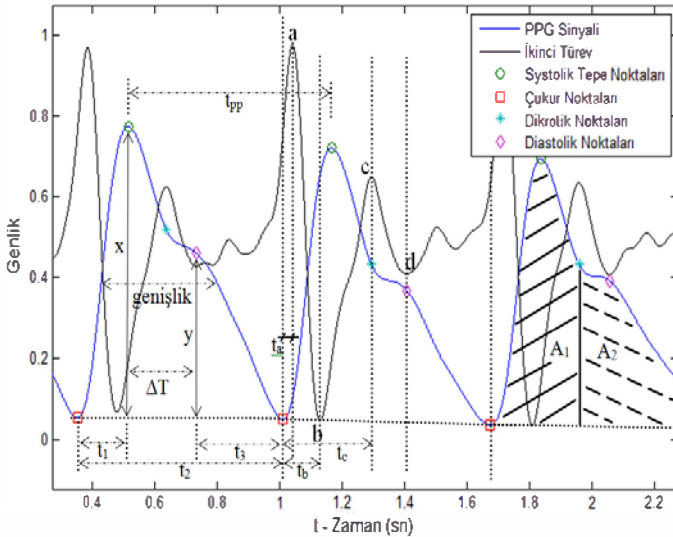


Şekil 2. SDPPG (ikinci türev PPG) veri edinme kartı [15].



Şekil 3. Modifiye edilmiş SDPPG PPG veri edinme kartı.

Şekil 4’de gösterilen özellik noktaları PPG sinyali ve ikinci türevi kullanılarak zaman domeninde elde edilmiştir. Öncelikle PPG sinyalinde sistolik tepe noktaları tespit edilmektedir. Daha sonra PPG sinyalindeki sistolik tepe noktasının konumundan sonraki ikinci türevin ilk tepe değeri, Şekil 4’de gösterilen c noktası, PPG sinyalinde dikrotik noktasını bulmakta kullanılmaktadır. Benzer şekilde sistolik tepe noktasının konumundan sonraki ikinci türevin ilk çukur noktası, Şekil 4’de gösterilen d noktası, PPG sinyalinde diastolik noktasını bulmakta kullanılmaktadır. Sistolik tepe noktasının konumundan önceki ikinci türevin ilk çukur noktası Şekil 4’de gösterilen b noktasını, sistolik tepe noktalarının konumundan önceki ikinci türevin ilk tepe noktasında Şekil 4’de gösterilen a noktasını bulmakta kullanılmaktadır. Bu noktaların tespitinden sonra Şekil 4’de gösterilen sırasıyla x (sistolik tepe), y (diastolik tepe), y/x , $(x-y)/x$, t_{pp} (tepeden tepeye zaman aralığı), t_1 (sistolik tepe zamanı), t_2 (PPG sinyali darbe zamanı), ΔT (sistolik tepe ile diastolik tepe arası zaman), genişlik (sistolik tepe’nin yarı yüksekliğindeki darbe genişliği), A_2/A_1 (PPG sinyalinde dikrotik noktasının sağında ve solunda kalan alanların oranı), b/a , c/a , $(b+c)/a$, t_1/t_2 , $\Delta T/t_2$, t_1/x (sistolik tepe çıkış eğimi), y/t_3 (diastolik tepe düşüş eğimi), t_a (ikinci türev a nokta zamanı), t_b (ikinci türev b nokta zamanı) ve t_c (ikinci türev c nokta zamanı) gibi 20 karakteristik özellik her bir kişinin 10 saniyelik verisinde 8 periyot için ayrı ayrı hesaplanmıştır.



Şekil 4. PPG sinyali, PPG sinyalinin ikinci türevi ve karakteristik özellik noktaları.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, PPG sinyali ve ikinci türevinden 20 yeni özellik çıkarılarak beş sağlıklı kişi üzerinde biyometrik tanımlama işlemi yapılmıştır. Tanımlama işleminde, her bir kişiye ait özelliklerin PPG sinyalinin her bir periyodunda elde edilen özelliklerle aynı olması veya birbirine çok yakın olması gerekmektedir. Bu durum biyometrik tanımlama sistemlerinde kararlılık olarak adlandırılmaktadır. Tablo 1’ de beş sağlıklı kişiden alınan PPG sinyali ve ikinci türevinden elde edilen 20 yeni özelliğin 10 sn’ lik PPG sinyalindeki 8 periyot boyunca olan değişimleri ve varyans değerleri gösterilmektedir. 20 yeni özelliğin 6 tanesi PPG sinyalinin ikinci türevinden, diğer kalan 14 tanesi de PPG sinyalinden elde edilmiştir.

Tablo 1. Beş kişiden alınan PPG sinyali ve ikinci türevinden elde edilen 20 yeni özelliğin 10 sn’ lik PPG sinyalindeki 8 periyot boyunca olan değişimleri ve varyans değerleri

Özellikler	Kişiler				
	1.kişi	2.kişi	3.kişi	4.kişi	5.kişi
1	0,005311531	0,003613374	0,001416867	0,001591218	0,004485182
2	0,005589948	0,004626054	0,001969891	0,00153496	0,001250765
3	0,00581292	0,007431487	0,006447511	0,005065341	0,001573111
4	0,00581292	0,007431487	0,006447511	0,005065341	0,001573111
5	0,000920067	0,00022296	0,0010925	0,002835496	0,001149103
6	0,000223246	0,000669174	3,00E-05	2,80E-05	5,68E-05
7	0,000727317	0,000961567	0,001202714	0,002877429	0,00108
8	0,000284674	0,000129125	0,000202353	0,000905746	3,74E-05
9	0,001057268	0,002930714	0,002274638	0,001066531	0,000315
10	0,001984916	0,010257294	0,005217234	0,003858117	0,002855328
11	0,004110679	0,011515039	0,006425474	0,00620158	0,000553651
12	0,002853647	0,005214362	0,002061647	0,00023028	0,000860265
13	0,012595193	0,031035226	0,01164366	0,006332643	0,002186391
14	0,000188551	0,001094265	0,00013933	0,000185685	9,86E-05
15	0,000588076	0,000621722	0,000724691	0,000559651	2,12E-05
16	0,000465657	0,001464588	7,25E-05	0,000162103	0,000639626
17	0,008076283	0,012490601	0,008238588	0,012413013	0,004890286
18	1,34E-05	0,000700571	2,46E-05	1,73E-05	2,60E-06
19	1,02E-05	0,000618643	3,41E-05	0,000164714	2,34E-06
20	0,000127625	0,000454674	7,26E-05	0,000102929	0,000112103
Ortalama varyans değeri	0.0028	0.0052	0.0028	0.0026	0.0012

20 yeni özellik kullanılarak beş kişiyi ayırt etme işleminde k-en yakın komşu sınıflama algoritması kullanılmıştır. k-en yakın komşu sınıflama algoritmasının eğitime ve test işlemlerinde 2,5 ve 10 kat çaprazlama ve %50-50 eğitim-test, %60-40 eğitim-test ve %70-30 eğitim-test veri dağılımları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’ de verilmiştir. Tablo 2, 20 yeni özellik kullanarak k-en yakın komşu sınıflama algoritması ile beş kişinin sınıflandırma sonuçlarını göstermektedir.

Biyometrik tanımlama işleminde, k-en yakın komşu sınıflama algoritması ile 10 kat çaprazlama kullanılarak %95 tanımlama başarısı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki bu geliştirilen PPG sinyaline dayanan biyometrik tanımlama sistemi umut vaat etmektedir. Gelecekteki çalışmalarda, özellik seçme algoritmaları

uygulanarak en uygun özellik kümesi belirlenerek özellik sayısı azaltılacaktır. Aynı zamanda, k-en yakın komşu sınıflama algoritmalarının yanı sıra kural tabanlı sınıflama algoritmaları uygulanarak en iyi biyometrik tanımlama başarısını veren sistem tasarlanacaktır. Bu elde edilen sonuçlar, literatürde verilen sonuçlardan iyi olduğu göstermektedir.

Tablo 2. 20 yeni özellik kullanarak k-en yakın komşu sınıflama algoritması ile beş kişinin sınıflandırma sonuçları

k-en yakın komşu sınıflamadaki k değeri	k-en yakın komşu sınıflamada kullanılan eğitim-test veri dağılımları					
	2-K.Ç.	5-K.Ç.	10-K.Ç.	%50-50 Eğitim-test	%60-40 Eğitim-test	%70-30 Eğitim-test
k=1	92,50	92,50	95,00	89,50	93,33	95,00
k=2	90,00	87,50	92,50	94,50	93,33	97,00
k=3	87,50	95,00	95,00	91,50	92,00	94,00
k=4	92,50	95,00	95,00	95,00	92,67	93,00
k=5	90,00	95,00	92,50	88,00	88,67	88,00
k=6	90,00	92,50	92,50	91,00	93,33	94,00
k=7	85,00	90,00	95,00	81,50	86,67	88,00
k=8	85,00	92,50	95,00	84,50	90,67	89,00
k=9	90,00	85,00	85,00	86,50	88,67	87,00
k=10	90,00	87,50	92,50	89,00	81,33	87,00

Not: K.Ç.: kat çaprazlama

KAYNAKÇA

- [1] Gu, Y.Y., Zhang, Y., Zhang, Y.T., *A novel biometric approach in human verification by photoplethysmographic signals*, Information Technology Applications in Biomedicine, 2003. 4th International IEEE EMBS Special Topic Conference on , vol., no., pp. 13- 14, 24-26 April 2003
- [2] Brunelli, R., Poggio, T., *Face recognition: features versus templates*, Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on , vol.15, no.10, pp.1042-1052, Oct 1993
- [3] Samal A., Iyengar, P. A., *Automatic recognition and analysis of human faces and facial expressions: A survey*, Pattern Recognition, vol. 25, pp. 65-67, 1992
- [4] D. Dm, "Using a multi-layer perceptron neural for human voice identification", Proceedings of the 4th Int. Conf. Signal Process. Applicat. Technol., Newton, MA, USA, 1993
- [5] Negin, M., Chmielewski, T.A., Salganicoff, M., von Seelen, U.M, Venetainer, P.L., Zhang, G.G., *An iris biometric system for public and personal use*, Computer, Volume: 33, Issue: 2, pp. 70-75, 2000
- [6] Kyong Seok Paik, Chin Hyan Chung, Jin Ok Kim, Dae Jun Hwang, *On a lip print recognition by the pattern kernels with multiresolution architecture*, Proceedings of International Conference on Image Processing, Volume: 2, pp. 246-249, 2001
- [7] ChewYean Yam, Nixon, M.S., Carter, J.N., *Performance analysis on new biometric gait motion model*, Rocedsings of the 5th IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation, pp. 31-34, 2002
- [8] Paranjape, R.B., Mahovsky, J., Benedicenti, L., Koles', Z., *The electroencephalogram as a biometric*, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Volume: 2, pp.1363-1366, 2001
- [9] Biel, L., Pettersson, O., Philipson, L., Wide, P., *ECG analysis: a new approach in human identification*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Volume: 50 Issue: 3, pp. 808-812, 2001
- [10] Biel, L., Pettersson, O., Philipson, L., Wide, P., *ECG analysis: a new approach in human identification*, IMTC/99, Proceedings of the 16th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Volume: 1, pp. 557-561, 1999
- [11] Shen, T. W., Tompkins, W. J., Hu, Y. H., *One-Lead ECG for Identity Verification*, 2nd Joint Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society and the Biomedical Engineering Society, Huston, 2002
- [12] J. Bailey, M. Fecteau, N. L. Pendleton, *Wireless Pulse Oximeter*, Bachelor Degree Thesis, Worcester Polytechnic Institute, April 24, 2008
- [13] Jianchu Yao, Xiaodong Sun, Yongbo Wan, *A Pilot Study on Using Derivatives of Photoplethysmographic Signals as a Biometric Identifier*, Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE , vol., no., pp. 4576-4579, 22-26 Aug. 2007
- [14] Yongbo Wan, Xiaodong Sun, Jianchu Yao, *Design of a photoplethysmographic sensor for biometric identification*, Control, Automation and Systems, 2007. ICCAS '07. International Conference on , vol., no., pp.1897-1900, 17-20 Oct. 2007
- [15] Advanced Prime Materials Korea, <http://www.apmkr.com/> (en son erişim: Mart, 2013)