

Elektrodermal Aktivite Sinyallerinde Gürültü Giderme Yöntemlerinin Karşılaştırılması**A Comparison of Denoising Methods for Electrodermal Activity Signals**Serhat ALADAĞ¹, Ayşegül GÜVEN¹, Hatice Özbek², Nazan DOLU²¹ Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, 38039, Kayseri² Tıp Fakültesi, Fizyoloji Bölümü, Erciyes Üniversitesi, 38039, Kayseri
serhat.aladag@saglik.gov.tr, aguven@erciyes.edu.tr, haticeozbek38@hotmail.com, dolu@erciyes.edu.tr**Özetçe**

Bu çalışmada fizyolojik sinyal analiz çalışmalarında kullanılan gürültü giderme filtrelerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda; Elektrodermal Aktivite (EDA) sinyalleri üzerinden, filtre performansları karşılaştırılacaktır. Sonlu Dürtü Yanıtlı Filtre, Ayrık Dalgacık Dönüşümü ve Tekil Spektrum Analizine ait gürültü giderme performansları karşılaştırılacaktır. Temel problem, dış etkenler ve farklı fizyolojik olgular tarafından deformasyona uğramış sinyaller üzerinden hekimin yanılığa düşebilmesidir. Her fizyolojik sinyal benzersizdir. Dolayısıyla sinyal işleyen her yazılım/sistem, sinyale özel olmalıdır. Bu çalışma ile EDA sinyallerine uygulanabilecek, doğru sonuçlar verebilecek bir gürültü giderme tekniği ortaya konmuştur. Amaç, teşhis sürecinde hekimleri faydalı yönlendirecek saf EDA bilgisini sunabilmektir.

Abstract

This study aimed to compare denoising filter to be used in the physiological signal analysis. In this context; filter performance will be compared over the Electrodermal Activity (EDA) signals, Finite Impulse Response filter, Discrete Wavelet Transform and Singular Spectral Analysis will be compared with noise reduction performance. The main problem is deformed signals by external factors and different physiological cases are misleading physicians Each physiological signals have specific character. Therefore, each signal processing software / systems should be specific to the signal. This study showed can be applied to the EDA signals, which can give accurate results noise reduction technique. The goal is, provide to pure EDA signal's information which is canalized to physician at diagnosing process.

1. Giriş

Elektrodermal aktivite (EDA), ter bezleri ile komşu epidermal ve dermal tabakalardan kaynaklanan ve deri yüzeyinde özel bölgelere yerleştirilen elektrodlarla kayıt altına alınan elektriksel aktivite olarak tanımlanmaktadır [1-2]. Literatürde, galvanik deri cevabı – galvanic skin response (GSR), sempatik deri cevabı – sympathetic skin response (SSR) gibi isimlerle de anılan EDA, sempatik aktivitenin değerlendirilmesini sağladığından klinik nörofizyoloji ve psikofizyolojide kullanılan bir yöntemdir.

EDA sinyalleri çoğunlukla tek başına kullanılmazlar. Poligrafik yöntemlerde destekleyici parametre olarak kullanılmaktadır. Ayrıca EDA, hemisferik asimetri, heyecan, stres, depresyon, diyabet, tiroit, şizofreni gibi hastalıkların incelenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [3].

EDA sinyallerinin etkilerinin araştırıldığı birçok çalışma bulunmaktadır.

Bakker ve arkadaşlarının çalışmalarında “Çalışanların Günlük Yaşamındaki Mevcut Ve Değişken Stres Seviyelerinin Ortaya Konulması” amacıyla kayıt altına alınan GSR sinyallerine median filtre ve sembolik birleştirme yaklaşımı ayrıştırma yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın çıktılarında ise hangi parametrelerin stres seviyesini artırdığı ve hangilerinin rahatlamaya sebep olduğu ortaya konulmuştur [4].

George ve arkadaşlarının çalışmalarında “Sürücülerin Yaşadığı Stres Temelli Olayların Gerçek Zamanlı Olarak Tespit Edilmesi” amacıyla sürücülerden EKG, EMG ve EDA kayıtları alınmıştır. Bu üç biyopotansiyel sinyal birbiriyle karşılaştırılmıştır [5].

Stres seviyelerinin tespit edilmesinde biyopotansiyel sinyallerin incelendiği bir çalışmada ET/CO₂ (end-tidal carbon dioxide), EMG, EKG, HRV (heart rate variability), EEG sinyalleri eş zamanlı olarak kaydedilmiş ve birbirleri ile kıyaslanmıştır [6].

GSR sinyallerinin anlık değişkenliklerinin yani türevlerin sıfırdan farklı olduğu yerlerin tespitinin yapıldığı bir başka çalışmada ise; bu sinyallerin analizi için Temel Bileşen Analizi kullanılmıştır [7].

EDA, derideki tüm elektriksel olayları kapsayan genel bir kavram olarak kullanılmaktadır. Bu elektriksel olaylar, deri ve onun ikinci derecede önemli yapılarının aktif ve pasif elektriksel özelliklerini kapsar. Bu elektriksel karakteristiklerin incelenmesinde endosomatik ve egzosomatik olarak iki yöntem kullanılmaktadır [8-15]. Çalışmamızda EDA kayıtları egzosomatik yöntem kullanılarak alınmıştır.

Bu çalışmada, gönüllülerden elde edilen EDA sinyallerinde gürültü giderme tekniklerinin uygulanması ve hangi teknikten daha güvenilir kayıt elde edilebileceğinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. Yöntem**2.1. Çalışma Grubu ve Kayıtlar**

Çalışmaya yaşları 20-25 arasında değişen toplam 20 birey katılmıştır. Kayıtların alınması için Erciyes Üniversitesi Klinik Bilimler Etik kurulundan onay alınmıştır. Gönüllüler Erciyes Üniversitesi Beden Eğitimi Spor ve Yüksek Okulunda eğitim gören öğrencilerden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında EDA sinyalleri, sporcu ve sporcu olmayan gönüllülerde sempatik aktivite ve hemisferik baskınlık durumunu değerlendirilmek üzere kaydedilmiştir.

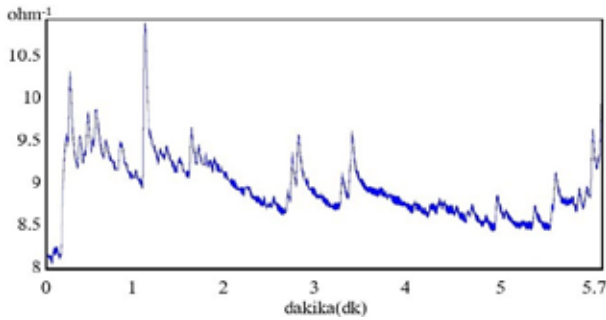
Biyomedikal Ölçüm 1

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

Kayıtlar Erciyes Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Beyin Dinamiği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. EDA kayıtları, MP30 (Biopac, ABD) düzeneği ile gönüllülerin her iki elinin baş ve işaret parmaklarının distal falankslarının palmar bölümlerine yerleştirilen elektrotlar ile alınmıştır.

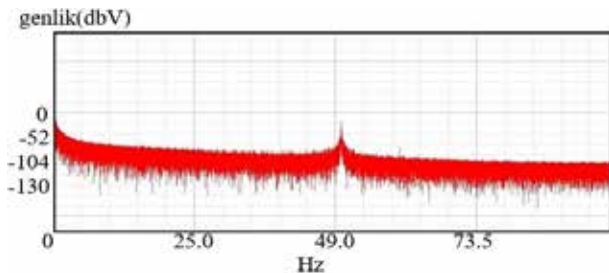
Sinyal işleme ve gürültü giderme işlemleri Erciyes Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümüne gerçekleştirilmiştir. Biyopotansiyel sinyaller düşük frekans bileşenlerine sahiptirler. Dolayısıyla şehir şebekesi de dahil olmak üzere çevresel gürültülerden yüksek oranda etkilenirler.

EDA sinyallerinin gürültülü olma olasılığı üzerinde durularak bildiriye konu edinilen sinyal işleme yöntemleri uygulanmıştır. Şekil 1'de verilen örnek EDA kaydında görüldüğü üzere sinyalin gürültüye maruz kaldığı açıktır. Elde edilen EDA sinyalleri 200 Hz örnekleme frekansına ve 5.7 dakika kayıt süresine sahiptir.



Şekil 1. Örnek EDA sinyali kaydı

EDA sinyallerinin karakteristik sinyal frekansı 0.0167–0.25 Hz'dir [16]. Sinyal işleme çalışmasına başlamadan önce çalışmamıza konu olan EDA sinyallerinin frekans içeriğinin incelenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) uygulanması frekans bileşen bilgilerini verecektir. FFT sonucunda elde edilen Şekil 2'deki grafikte sinyalin 50 Hz şehir şebeke gürültüsü ve vücuttaki diğer elektrofizyolojik sinyallerin etkisi ile deforme olduğu ve 0.25 Hz'den büyük sinyal bileşenlerinin bulunduğu görülmektedir.



Şekil 2. Örnek EDA sinyalinin frekans spektrumu

2.2. Filtre Çeşitleri ve Uygulamaları

2.2.a. Sonlu Dürtü Yanıtlı Filtre

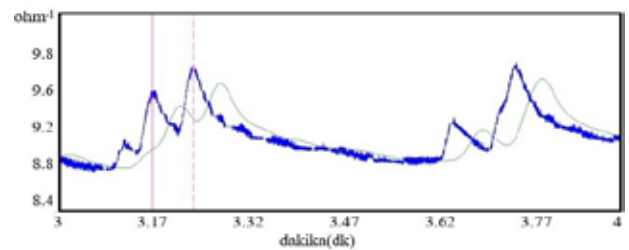
Sonlu dürtü yanıtlı (*Finite Impulse Response-FIR*) filtreler non-recursive filtreler olarak da anılırlar. Bu filtreler lineer faz filtrelerdir ve kolay tasarlanırlar. Lineer faz FIR filtrelerin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$H(Z) = \sum_{n=0}^{N} h[n]z^{-n} \quad (1)$$

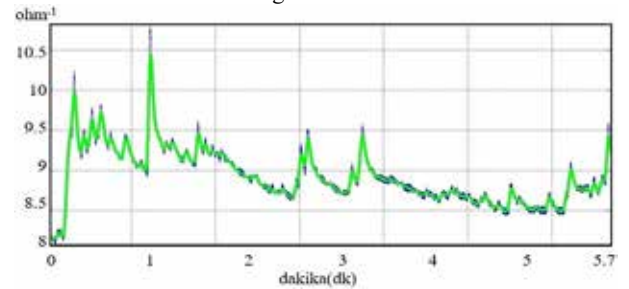
FIR filtreler lineer fazlı olduğundan zaman ekseninde bir miktar kaymaya sebep olmaktadır. Bu kayma etkisine Gibbs Etkisi denmektedir. Bu etkiyi azaltabilmek adına pencereleme fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu çalışmada Hamming pencere kullanılmıştır. Hamming pencere minimum band zayıflatma özelliği ve diğer pencerelere göre geniş geçiş bölgesine sahip olması sebebiyle seçilmiştir [17].

EDA sinyal kaydı 200 Hz örnekleme frekansı üzerinden kaydedildiği için örnekleme frekansı $F_s=200$ Hz, 0.25 Hz'den küçük bileşenlerin altını geçirmesi açısından kesim frekansı $F_c=0.25$, düşük örnekleme frekansı üzerinden kayıt alındığı için ise filtre derecesi 1000 olarak seçilmiştir.

Şekil 3'te görüldüğü üzere lineer faz filtre karakteristiğinden dolayı grup gecikmesi yaşanmış ve zaman ekseninde 0.04175 dakika = 2.5 saniye kayma meydana gelmiştir. Filtrelenmiş sinyalin, grup gecikmesinin tersi kadar kaydırılması durumunda iki sinyal senkronize hale getirilmiş olacaktır.

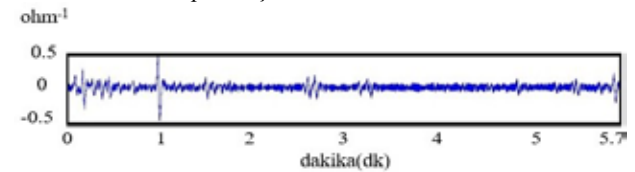


Şekil 3. FIR filtre sonucu oluşan faz kaymasının şekilsel gösterimi

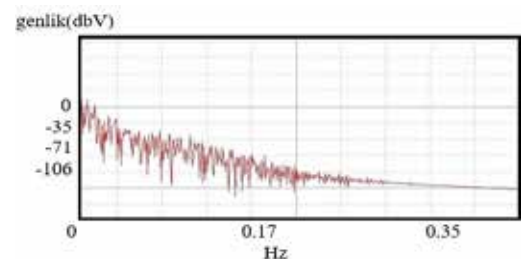


Şekil 4. Filtre sonrası grup gecikmesinin giderilmesi ve Hamming pencereleli alçak geçiren filtrenin performansı

Şekil 4'te yeşil sinyal, grup gecikmesi kadar ötelenmiş sinyali göstermektedir. Sinyali deforme eden frekanslar temizlenmiş ancak gürültülü sinyalde grup gecikmesi kadar dizi elemanı kaybı yaşanmıştır. Bu ise FIR filtrenin dezavantajı olarak kaydedilmiştir. 2.5 saniyelik kayıp sebebiyle filtre başarı oranı %99.2 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. FIR filtre ile giderilen gürültü sinyali



Şekil 6. Filtreden sonra 0.25 Hz frekans spektrumu

Biyomedikal Ölçüm 1

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

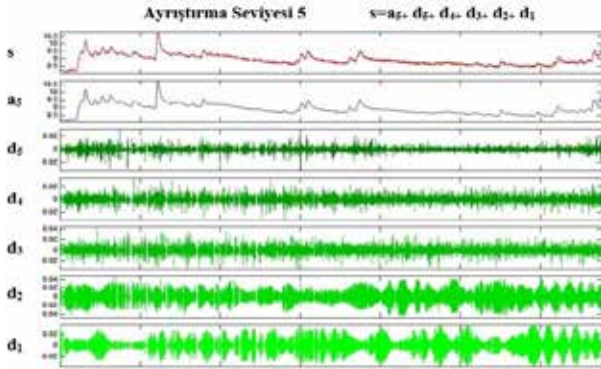
2.2.b. Ayrık Dalgacık Dönüşümü

Ayrık Dalgacık dönüşümü (Discrete Wavelet Transform - DWT) frekans domeninde filtreleme amacıyla kullanılan bir dönüşümdür.

Sinyallerin düşük ve yüksek frekans bileşenlerine ayrılması mantığıyla kurgulanmıştır. Dolayısıyla çalışmanın başında yapılan FFT analizi önem arz etmektedir.

Çalışmaya konu olan gürültülü sinyalde ise 0.25 Hz'den büyük frekans bileşenleri saptanmıştır.

DWT frekans bileşenlerine ayrılması adına kullanışlı olacaktır.



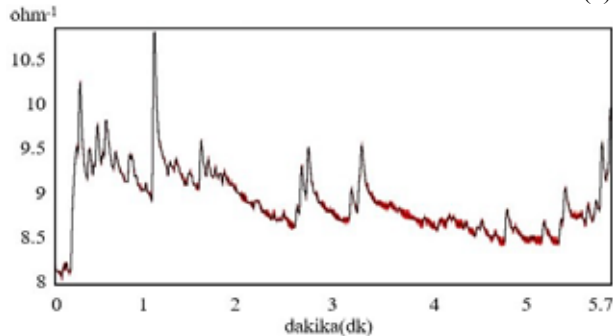
Şekil 7. 5. Dereceden db3 filtrelemeli DWT

DWT Formül (2) ile ifade edilmektedir. Detay frekans bileşeni (Detail) ve Yaklaşık frekans bileşeni (Approximation) olmak üzere formülde ifade edilmiştir.

$$x(t) = \sum_{m=1}^L \left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} D_m(k) \psi_{m,k}(t) + \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_l(k) \phi_{l,k}(t) \right] \quad (2)$$

Dalgacık dönüşümünde gürültü sinyalinin yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda formül (3) ile ifade edilen Sinyal Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio-SNR) hesaplanarak gürültü filtre başarısı ortaya konulabilmektedir.

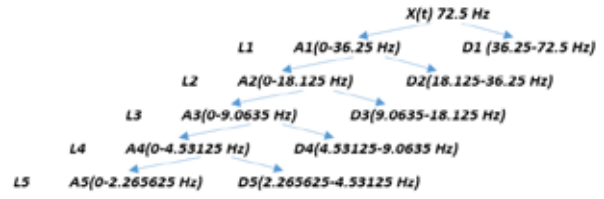
$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{n=0}^{N-1} x^2(n)}{\sum_{n=0}^{N-1} (\bar{x}(n) - x'(n))^2} \right) \quad (3)$$



Şekil 8. DWT sonrasında gürültülü ve gürültüsüz sinyallerin karşılaştırılması

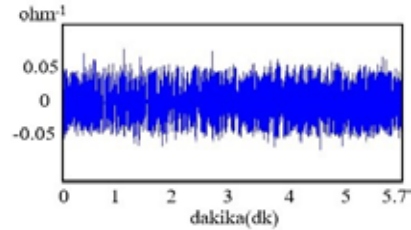
Şekil 8'de kırmızı ile çizdirilen sinyal orijinal gürültü sinyali, siyah ile çizdirilen sinyal ise gürültü gideriminden sonra çizdirilen sinyali ifade etmektedir.

Gürültülü sinyalin SNR değeri 55.3426 iken, gürültü gideriminden sonra SNR değeri 19.0188'e düşmüştür. Dalgacık dönüşümü 5. seviyede hesaplanmıştır.



Şekil 9. EDA sinyali için 5. dereceden DWT frekans ağacı

Şekil 9'da görüldüğü üzere 0.25 Hz'i içerisinde alan A5 sinyali 0.265625 Hz bileşeni içermektedir. %94 gürültü giderimi gerçekleştirilmiştir. Giderilen gürültü sinyali şekil 10'da gösterilmiştir.



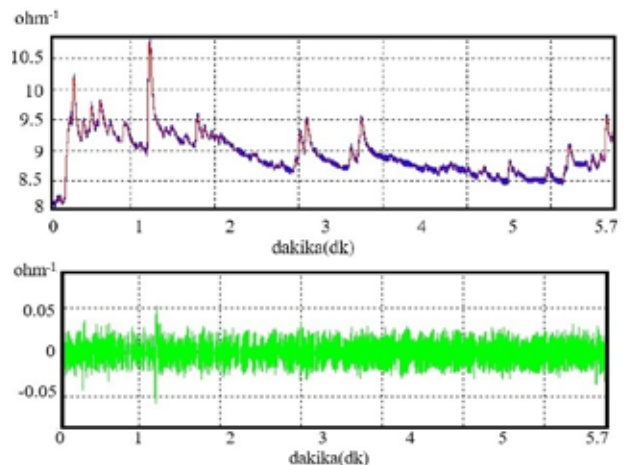
Şekil 10. DWT ile giderilen gürültü sinyali

2.2.c. Tekil Spektrum Analizi

Tekil spektrum analizi (Singular Spectral Analysis-SSA); meteoroloji, hidroloji, jeofizik, iklimlendirme, ekonomi, biyoloji, fizik ve tıpta, tek veya çok boyutlu, durağan veya durağan olmayan sinyallerde sıklıkla kullanılan etkili ve güçlü bir filtreleme yöntemidir [18]. Birçok kurgu ile uygulama imkanı sunar.

SSA, iki aşamada uygulanan bir metottur. Ayrıştırma (decomposition) ve yeniden yapılandırma (reconstruction). Fraktal boyut analizinde önemli olan iki parametre; pencere boyutu ve pencerenin sinyal ile örtüşme oranıdır. Ayrıştırma aşamasında gömme ve Tekil Değer Ayrışımı uygulanır. Gömme sayesinde; ayrışım yapılacak sinyal matris haline çevrilir. Sonuçta oluşan matrise Hankel matrisi adı verilir.

Temel Bileşen Analizi'nin temelini oluşturan tekil değer ayrışımında ise Hankel matrisinden alınan öz değerler kullanılır. Gruplandırma ve diagonal ortalama alma alınarak yeni zaman serisi oluşturulur.



Şekil 11. a. SSA sonrası gürültülü ve gürültüsüz sinyalin karşılaştırması b. SSA ile giderilen gürültü sinyali

Biyomedikal Ölçüm 1

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

Şekil 11'de kırmızı ile çizdirilen sinyal yeniden oluşturulmuş sinyali ifade etmektedir. SSA; ayrıştırma hassasiyeti ve bilgi içeren veri kaybının olmaması sebebiyle EDA sinyali için en verimli gürültü giderme tekniği olarak saptanmıştır.

3. Sonuçlar

EDA sinyalleri; karakteristiği itibarı ile düşük frekansa sahip bilgiler içeren verilerdir. Hekimler EDA sinyallerini yorumlarken latans (pik öncesi dinlenim), genlik, ikinci uyarana geçiş süresi ve yükselme fenomeni gibi bilgilerden faydalanmaktadır. Zaman ve frekans domeni terimleri olan bu parametrelere etki edebilecek gürültü etkenleri çalışmanın amacı olan hekimlerin doğru yönlendirilmesi amacıyla olumsuz etkilemektedir. Dolayısıyla gürültü giderimi çalışmaları bu noktada önem teşkil etmektedir.

Çalışmada; FIR Filtre, DWT ve SSA yöntemleri gürültü giderme performansları açısından karşılaştırılmıştır.

FIR filtre, lineer faz gecikmeli olduğundan sinyalde eksen kaymasına ve zaman domeninde veri kaybına sebep olmuş, ancak özellikle genlik düzleminde yüksek gürültü giderme performansı sergilemiştir.

DWT, zaman ve frekans domeninde gözle görülür düzeyde filtreleme performansı sergilemiş ancak bir kısım frekans aralığını değerlendirmeye tabi tutamamıştır.

SSA da ise zaman ve frekans domeninde yüksek gürültü giderim performansı saptanmıştır. Bunun sebebi ise özdeğer vektör ve grup sayısının hassas düzeyde ayarlanabilme özelliği olduğu ispat edilmiştir. SSA gürültü giderim teknikleri arasında tercih edilebilirliği en yüksek çalışma sonucunu vermiştir.

Sporcu ve sporcu olmayan gönüllülerde değişiklik gösteren anlamlı parametrelerin ortaya konulabilmesi için yüksek hassasiyette çalışılmaktadır.

Çalışmanın özellik çıkarım evresinde ortalama güç, standart sapma, medyan, varyans, maksimum genlik, entropi, karekök ortalama ve pik sayısı gibi hassas değer farklılıklarından doğrudan etkilenen parametreler kullanılacağından küçük değer değişiklikleri, çalışmanın sonucunun yorumlanmasında yanlış yönlendirmelere sebep olacaktır. Dolayısıyla en iyi filtrelemenin hangi yöntemle sağlanacağından emin olunması gerekmektedir.

Bildiriye konu olan çalışma ile analiz evresine geçmeden hangi filtreleme yönteminin kullanılması gerektiği ispat edilmiştir.

Sonuç olarak sinyallerle ifade edilen, bilgi içeren tüm dizi ve vektörlerin; anlamlı bilgi haricinde yanıtıcı bilgi içermediğinden emin olunarak analiz çalışmalarının yapılması gerektiğinin önemi ortaya konmuş, çalışma sonucu elde edilen filtre performans karşılaştırmaları teşhis sürecinde bulunan tüm çalışmaların seyrine olumlu katkılarda bulunacak notlar elde edilmiştir.

Bilgilendirme: Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmektedir. (Proje Kodu: FYL-2015-5684)

4. Kaynakça

- [1] Bouscein W. Electrodermal Activity. Newyork, Plenum Pres. 1992, 1-372.
- [2] Dolu N, Özbek H, Sporcularda Dikkat Düzeyindeki Hemisferik Farklılıkların Elektrodermal Aktivite İle Belirlenmesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2009
- [3] Dolu N, Yüksek A, Sizer A, Alay M. Arousal and continuous attention during Ramadan intermittent fasting. J Basic Clin Physiol Pharmacol. 2007;18(4):315-22.
- [4] Bakker J., ensor data, ICDMW '11 Proceedings of the 2011 IEEE 11th International Conference on Data Mining Workshops.
- [5] Rigas G., Goletsis Y., and Fotiadis DI., Real-Time Driver's Stress Event Detection, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 2012; 13:221-234.
- [6] Begum S., Ahmed MU., Funk P., Xiong N., and Schéele B.V, (2009), Case-Based Decision Support System for Individual Stress Diagnosis Using Fuzzy Similarity Matching, The Journal of Computational Intelligence (CI), vol 25, nr 3, p180-195.
- [7] Bach DR., Flandin G., Friston KJ., Dolan RJ., Time-series analysis for rapid event-related skin conductance responses, J Neurosci Methods.;184(2):224-34. 2009 doi: 10.1016/j.jneumeth.2009.08.005
- [8] Stefan Schmidt and Harald Walach, (2000), Electro Dermal Activity (EDA) Research – State of the art measurement and techniques for Parapsychological purposes.
- [9] Boucsein W. Electrodermal Activity. New York: Plenum Press. 1992.
- [10] www.stanfordchildrens.org, “What is a superficial SDYst-degree burn?”, Stanford's Children Health Lucile Packard Children's Hospital, Stanford
- [11] Ethan Leng, Mihir Mongia, Charles Park, Tiffany Varughese, Andrew Wu, SMART Belt: A Low-cost Seizure Detection Device, Rice University
- [12] Geddes LA, Baker LE. Principles of Applied Biomedical Instrumentation, 3rd ed. New York: John Wiley and Sons.1989.
- [13] Qiao ZG, Morkrid L, Grimnes S. Three-electrode Method to Study Event-related Responses in Skin Electrical Potential, Admittance and Blood Flow. Med Biol Eng Comput 1987;25: 567-72.
- [14] Stern RM, Ray WJ, Davis CM. Psychophysiological Recording. New York: Oxford: Oxford Universty Press. 1980: 196-210.
- [15] Venables PH, Christie MJ. Electrodermal Activity. In: Martin I, Venables PH, eds. Tecniques in Psychophysiology. John Wiley and Sons. 1980: 4-62.
- [16] M. E. Dawson, A. M. Schell, and D. L. Fillion, “The electrodermal system,” in Handbook of Psychophysiology, J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, and G. G. Berntson, Eds., 3rd ed. New York: Cambridge Univ. Press, 2007, pp. 159–181.
- [17] K.Sravan Kumar, Babak Yazdanpanah, Dr.G.S.N.Raju, “Performance Comparison of Windowing Techniques for ECG Signal Enhancement”
- [18] S. Sanei, T. K. M. Lee, and V. Abolghasemi, —A new adaptive line enhancer based on singular spectrum analysisl, IEEE Transaction on Biomedical Engineering, vol. 59, no. 2, 2012.