



Göz Hareketlerinin Takibi ile Bilgisayar Kontrolü

Muhammed Mehdi Menteş¹, Mustafa Mert Güven², Şeyma Nur Özcan³, Mehmet Feyzi Akşahin^{4*}

¹ Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6365-7227)

² Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5241-4844)

³ Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9852-0175)

⁴ Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8911-6645)

(Bu yayın 26-27 Haziran 2020 tarihinde HORA-2020 kongresinde sözlü olarak sunulmuştur.)

(DOI: 10.31590/ejosat.779697)

ATIF/REFERENCE: Menteş, M. M., Güven, M. M., Özcan, Ş. Ö. & Akşahin, M. F. (2020). Göz Hareketlerinin Takibi ile Bilgisayar Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 204-210.

Öz

EOG gözün korneası ile retinası arasındaki kutuplaşmalar sonucu ortaya çıkan elektriksel potansiyel farkına dayanır. Bu potansiyel fark gözün arka tarafındaki düzenli negatif elektriksel dipol ve gözün ön tarafındaki düzenli pozitif elektriksel dipol tarafından oluşturulur ve yüze yerleştirilen elektrotlar tarafından algılanır. Göz hareketlerinin takibi günümüzde birçok hastaya ve pek çok medikal alandaki çalışmaya kolaylık sağlayabilecektir. Bedensel engelli bireylerin teknolojiye ayak uydurmalarını sağlamak ve bilgisayar kullanımını kolaylaştırmak projenin genel amacıdır. Bu çalışmada EOG sinyalini elde etmeye yarayan elektronik devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca elde edilen sinyalde gözün çeşitli fonksiyonel hareketleri, tasarlanan devre ile tespit edilmiş ardından osiloskopta ve bilgisayar ortamında gözlemlenmiştir. Son olarak bilgisayar ortamında işlenen sinyalin entegre edildiği uygun arayüz ile göz hareketlerinin takibi yapılmıştır. Bu takip sayesinde geliştirilen algoritma ile bedensel engelli bireylerin bilgisayar kontrolü yapabilmeleri sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: EOG, Göz takibi, Dipol, Bilgisayar kontrolü.

Computer Control with Eye Movement Tracking

Abstract

EOG is based on the electrical potential difference resulting from polarization between the cornea of the eye and the retina. This potential difference is created by the regular negative electrical dipole on the back of the eye and the regular positive electrical dipole on the front of the eye and is detected by the electrodes placed on the face. Follow-up of eye movements can provide convenience to many patients and to work in many medical fields. This study was carried out to enable physically disabled individuals to keep up with technology and to facilitate computer use. In this study, an electronic circuit design was used to obtain the EOG signal. In addition, various functional movements of the eye in the obtained signal were detected by the designed circuit and observed in the oscilloscope and computer environment. In addition, following the movements of the computer is ensured to follow the eye movements with the appropriate interface where the signal is integrated. According to detected EGO signals, in line with the developed algorithm, subjects with physical disabilities can provide computer control.

Keywords: EOG, Eye tracking, Dipol, Computer control.

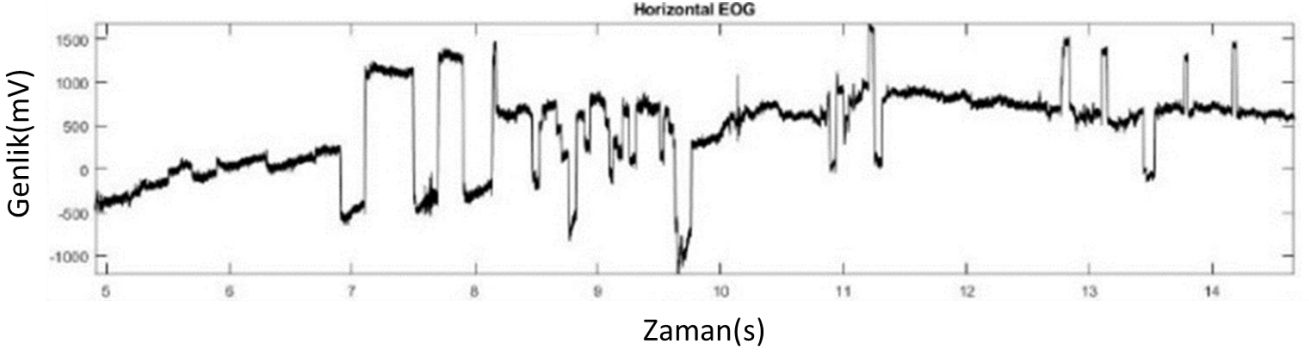
1. Giriş

Elektrookülografi (EOG), negatif elektrik yüküne sahip kornea ile pozitif yük taşıyan retina arasındaki dinlenme potansiyelini ölçen elektrofizyolojik bir yöntemdir. Gözün ön kutbu ile arkası arasında sürekli var olan bir potansiyel elektrik farkı vardır. Retina pigment epitel tabakasından doğan bu potansiyel, göz hareketleri ile değişir. Göz hareketi göze dışarıdan bağlı olan dört ana ve iki yan kas tarafından gerçekleştirilir. Gözün dış kaslarına ekstraoküler kaslar denir. Bunlar dört tane rektus (düz, uzunlamasına giden) ve iki

* Sorumlu Yazar: Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0002-8911-6645
maksahin@baskent.edu.tr

tane de oblik (eğimli, çaprazlamasına giden) olmak üzere toplamda altı tane kastan oluşur. Gözün iç ve dış köşelerine yerleştirilen elektrotlar vasıtasıyla ölçüm yapılır. Bu ölçüm değerleri, pratikte göz hareketleriyle gelişen elektriksel potansiyel ile benzerdir. Hastanın gözlerini sürekli iki nokta arasında (merkezdeki noktanın sağ ve sol tarafına) hareket ettirmesiyle alınan ölçüm, gözün odaklandığı noktaların konumu sabit olduğu sürece aynı sabit elektriksel potansiyel değerini verir [1][2].

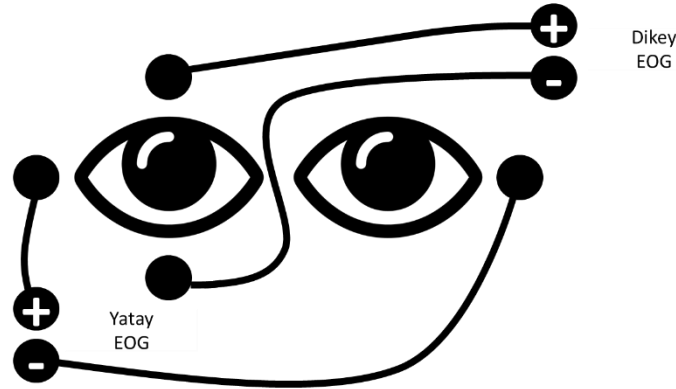
EOG sinyallerinin frekans bandı 0.1 Hz ile 10 Hz arasında bulunmaktadır. Genlik değerleri ise 0.01-3.5 mV düzeyindedir. Örnek EOG sinyali ise Şekil 1’de gösterildiği gibidir [3].



Şekil 1. Zamana Göre Örnek EOG Sinyali

EOG gözün sağ ve soluna, buruna ve şakağa yerleştirilen yüzey elektrotları ile ölçülür ve ölçüm şekli Şekil 2’de gösterilmiştir. İleri doğru bakılırken dipol iki elektroda göre simetriktir ve EOG çıkışı sıfır olur. Bakış sola kaydırıldığında, pozitif kornea sol elektroda yaklaşır ve daha pozitif olur. Bakışın yatay açısı ile EOG çıkışı arasında $+30^\circ$ ’ye yaklaşan lineer bir ilişki vardır. Elektrotlar düşey göz hareketlerini izlemek üzere gözün alt ve üstüne de yerleştirilebilir. Duyarlık 0.5-1.5 derece arasındadır [4].

Literatür araştırması yapıldığında, 2010 yılında Ali Bülent Uşaklı tarafından “On the Use of Electrooculogram for Efficient Human Computer Interfaces” [5], 2011 yılında Metin Yıldız tarafından “EOG Tabanlı Yazı Yazma Sistemleri İçin Yeni Bir Kodlama Tekniği” [6], 2014 yılında Anıl Ayvaz ve Gökhan Ertaş tarafından “Eyleyicileri Kontrol Etmek İçin EOG Temelli Bir Elektronik Devre Tasarımı” [7], 2015 yılında Mustafa Yasin Esas ve Fatma Latifoğlu tarafından “Bilgisayar Tabanlı İki Kanallı Elektrookülografi Cihazı Tasarımı ve Göz Hareketlerinin Takibi” [8], 2015 yılında Hesna Özbek Ülkütaş “EOG’nin Kodlanmasına Dayanan Bilgisayar Tabanlı Gözle Yazı Yazma Sistemi Geliştirilmesi” [9], çalışmalarını ile karşılaşmıştır.



Şekil 2. Elektrotların Yerleşimi ile İlgili İllüstrasyon

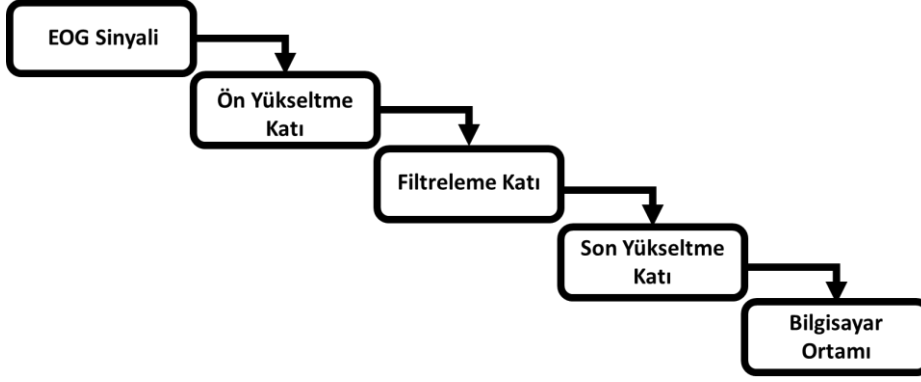
Gerçekleştirilen bu çalışmada EOG sinyallerini algılamak ve işlenebilir halde bilgisayara gönderebilmek için bir elektronik kart tasarımı yapılmıştır. Ayrıca bilgisayara gönderilen bu sinyaller işlenerek göz takibi yapan ve bedensel engelli bireylerin bilgisayar kullanımını kolaylaştırmayı hedefleyen bir arayüz tasarlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

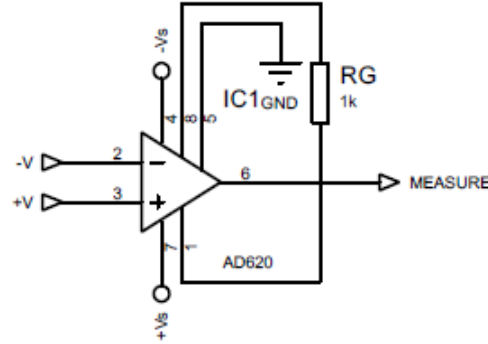
EOG verisini toplamak için Ag-AgCl elektrotlar ile, enstrümantasyon yükselteci, op-amp, kondansatörler ve dirençler kullanılmıştır. Kart çıkışındaki sinyaller Arduino Uno R3 ile bilgisayar ortamına aktarılmış ve bilgisayar ortamında da Matlab R2018b ile işlenmiştir.

2.2. EOG Toplama Devresi

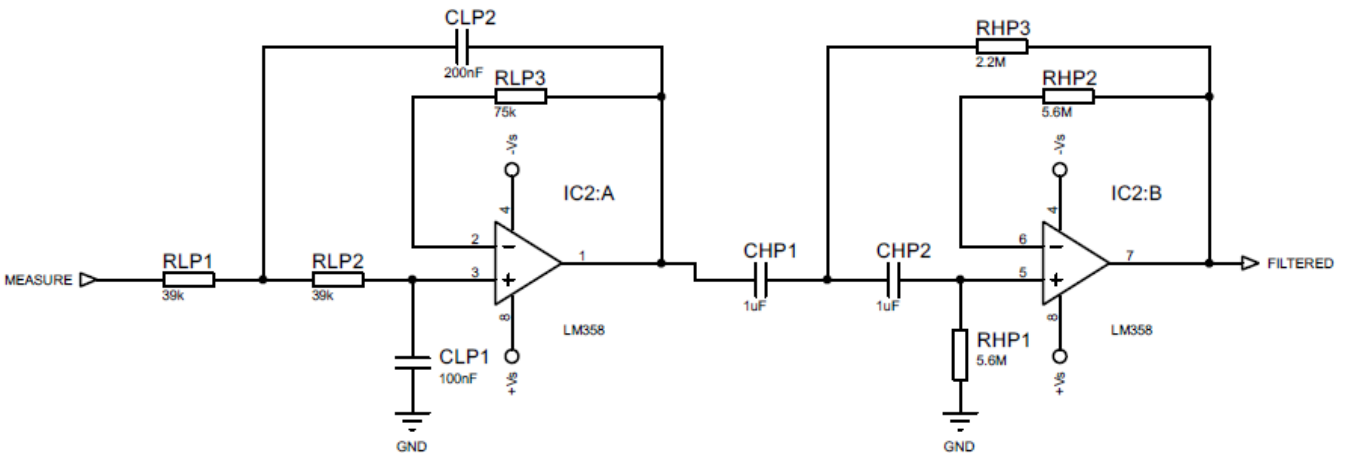


Şekil 3. EOG Toplama Devresinin Blok Şeması

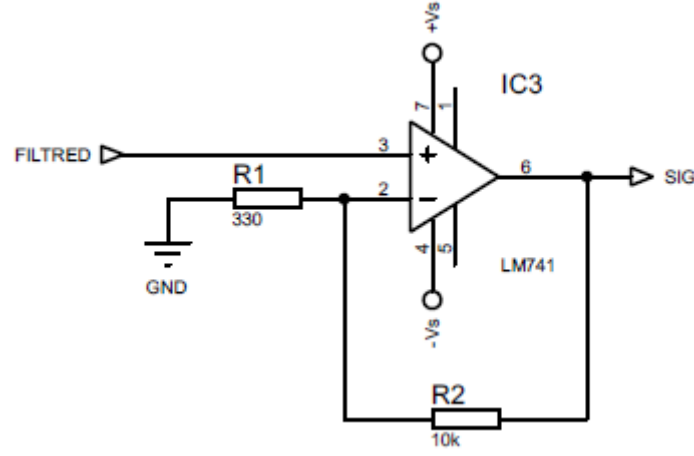
Yapılan bu tasarımda ikinci derece butterworth bant geçiren filtre tasarlanmıştır, böylece istenmeyen gürültüyü daha fazla bastırmak hedeflenmiştir. Filtre 0.04-31 Hz band geçirme değerine göre direnç ve kapasitör değerleri seçilmiştir [10][11]. Kapasitör değerleri seçilirken oldukça düşük seçmeye özen gösterilmiş, enstrümantasyon yükselticinin kazancı 50 olarak belirlenmiştir [12]. Şekil 4'te enstrümantasyon yükseltici devresi gösterilmiştir. Yükseltilen sinyal belirtilen bant aralığında filtrelenmiştir. Filtreleme ile 50 Hz'lik şebeke gürültüsü de yok edilmiştir. Filtre devresi Şekil 5'te gösterilmiştir. Filtre ardına son yükseltme katı olarak kazancı 30 olan evirmeyen yükselteç tasarlanmıştır [13]. Böylece yaklaşık 1500 kat kazanç elde edilmiştir. Son yükseltme katı ise Şekil 6'da gösterilmiştir. Ayrıca sinyale 2.5 V'luk bir DC offset eklenmiş ve sonuç olarak 2.5 V üzerinde dalgalanan ve 0-5V aralığında bulunan bir sinyal elde edilmiştir. Tüm devre +/- 9V ile beslenmiştir. Enstrümantasyon yükseltici olarak AD620, filtre yükseltici olarak LM358, son yükseltme katında ise LM741 kullanılmıştır.



Şekil 4. Enstrümantasyon Yükseltici ile İlk Yükseltme Katı



Şekil 5. Filtreleme Katı



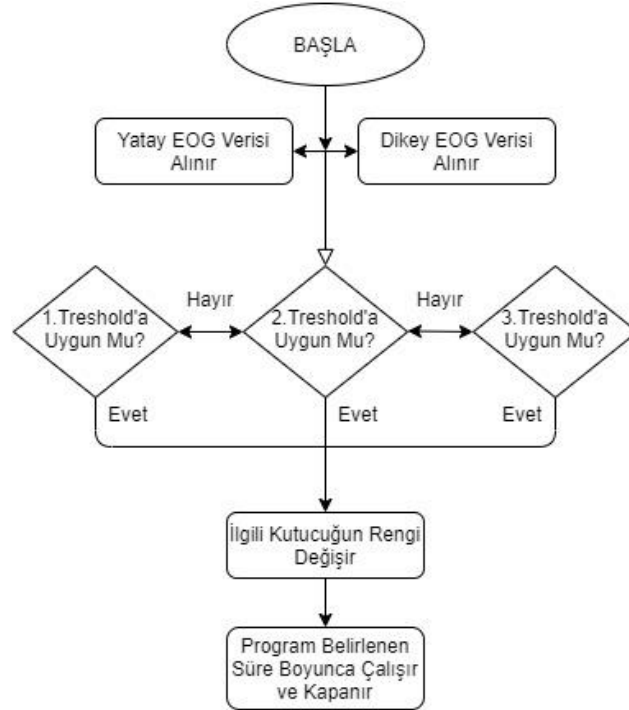
Şekil 6. Son Yükseltme Katı

2.3. Veri Seti

EOG sinyallerini toplamak için geliştirilen devrenin çıkışından alınan sinyaller, Arduino Uno vasıtası ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Sinyal 10 bit çözünürlük ile alınmıştır. Devre iki erkek ve bir kadın denek üzerinde 1 kHz, 100 Hz, 40 Hz ve 10 Hz örnekleme frekansları ile denenmiştir.

2.4. EOG Sinyal Analizi

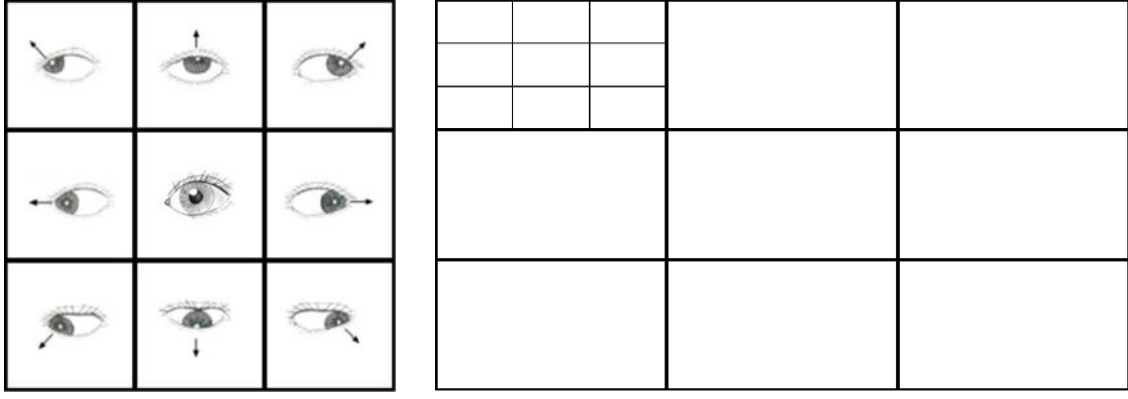
0-5V aralığında alınan sinyal Matlab programının Arduino toolbox'ı sayesinde direkt olarak Matlab'a aktarılmıştır. Nyquist Teoremi'ne uygun olarak 100 Hz ve 1 kHz ile örneklenmiştir. Ayrıca 10 Hz ve 40 Hz örnekleme frekansları ile de örnekleme işlemleri yapılmıştır. Analog filtreleme iyi yapıldığından dijital filtreye ihtiyaç duyulmamıştır. Göz takip arayüzü oluşturulurken kullanılan algoritma şeması Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 7. Algoritma İş Akış Diyagramı

2.5. Sistem Arayüz Tasarımları

Üç adet kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Bunlardan ilki yalnızca EOG sinyalini yüksek örnekleme frekansında incelemek için kullanılırken, ikincisi daha düşük örnekleme frekansı ile gerçek zamanlı sinyal takibi için kullanılmıştır. Sonuncu arayüz ise EOG sinyalini işleyerek göz takibi gerçekleştirmektedir. Göz takibini gerçekleştiren arayüzde dokuz adet kare bulunmaktadır uygun göz hareketine göre algoritmaya uygun karenin rengi değişmektedir.

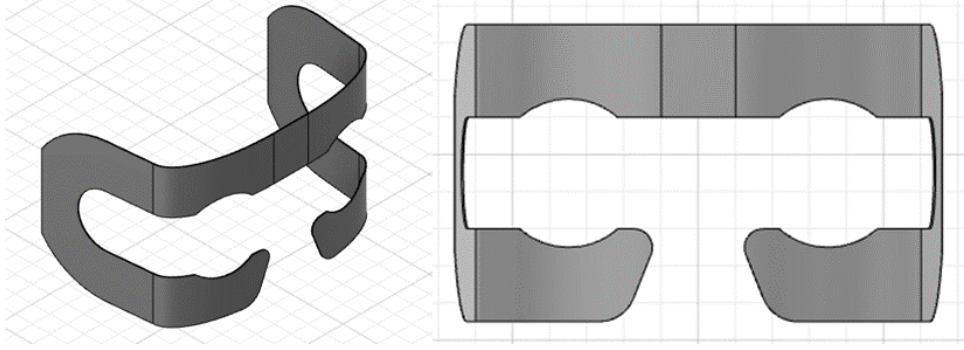


Şekil 8. Hangi Göz Hareketinin Hangi Kareye Denk Geldiğini Gösteren Şekil ve 16:9 Bir Ekranın ve Her Alt Parçanın 9 Eşit Parçaya Bölünmesi

Çalışma bilgisayar kullanımını amaçladığı için kullanıcıların bilgisayar ekranlarının dokuz bölgeye ayrılması planlanmıştır. Ayrıca her bölge de kendi altında dokuz bölgeye ayrılarak ekranda istenilen noktaya ulaşılması hedeflenmektedir. Burada göz kırpmaları “click” olarak alınacaktır ve bilgisayar tablet modunda kullanılacaktır.

2.6. Maske Tasarımı

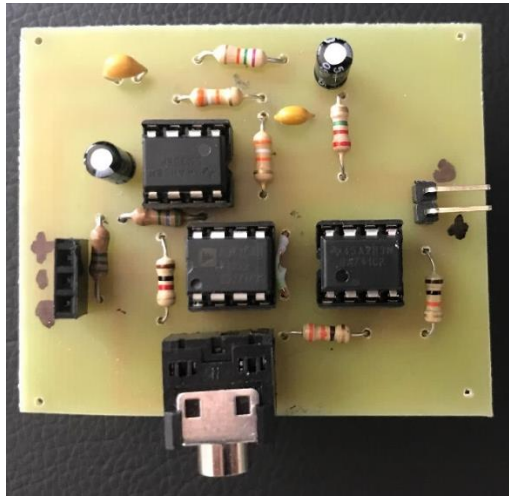
Elektrotlar sarf malzemeler oldukları ve her sinyal alımında atık oluşturdukları için, Fusion 360 programı ile sabit elektrotlu bir maske tasarımı yapılmıştır. Maske taslak halindedir ve 3D Printer ile basılması planlanmıştır.



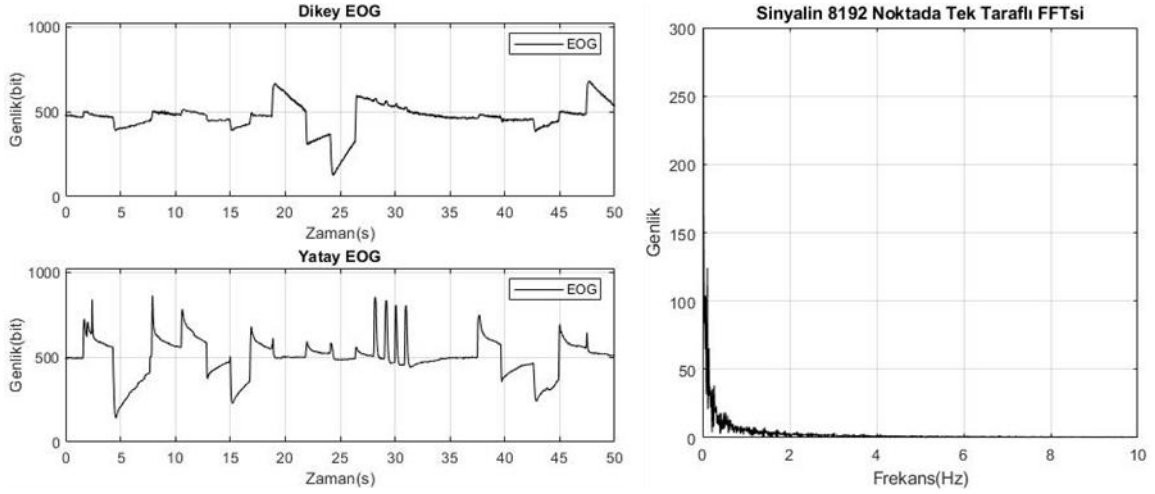
Şekil 9. Maske

3. Araştırma Sonuçları

Yapılan çalışmada EOG cihazının prototipi oluşturulmuştur. Şekil 7’de prototip gösterilmiştir. Sistemin Arduino Uno tabanlı EOG veri kaydı ile bu verilerin görsel olarak yazılımda görüntülenmesi gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Öncelikle yüksek örnekleme frekansı ile EOG verisi kaydedilip, arayüzde görüntülenmiştir. Alınan EOG verisi Şekil 8’de gösterilmiştir.

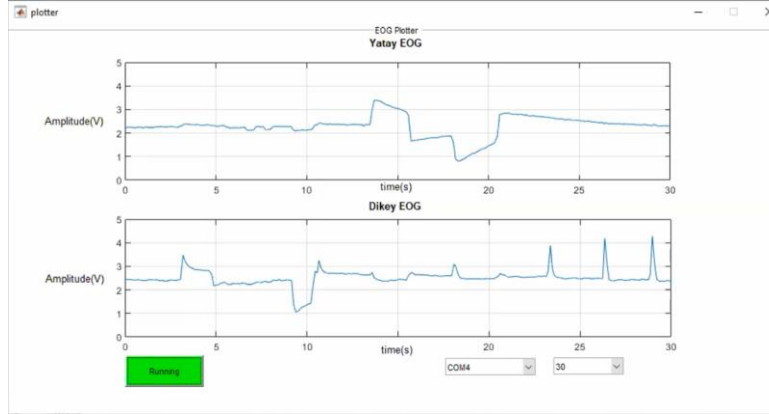


Şekil 10. Devre Prototipi



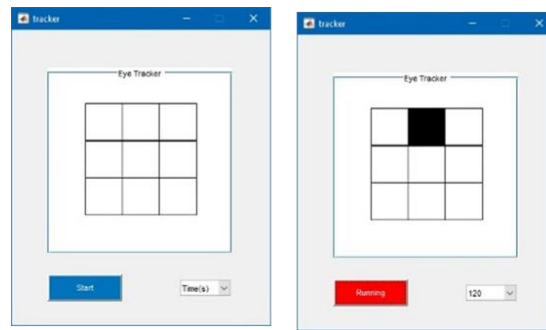
Şekil 11. Yüksek Örnekleme Frekansı ile Kaydedilen EOG Verisi ve Bu Verinin Frekans Bileşenleri

Yüksek örnekleme frekansı ile kaydedilen EOG verisi incelendiğinde 4 Hz'in üzerinde frekans bileşeninin bulunmadığı fark edilmiştir. Bunun neticesinde gerçek zamanlı veri almak için örnekleme frekansı düşürülerek farklı bir arayüzde EOG verisi başarılı bir şekilde alınmıştır. Gerçek zamanlı EOG verisi alınan arayüz Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 12. Düşük Örnekleme Frekansı ile Gerçek Zamanlı Veri Kaydı

Son olarak ise gerçek zamanlı olarak alınan veri işlenerek göz takibi gerçekleştirilmiştir. Şekil 10'da göz takibi yapılan arayüz gösterilmiştir. Üç kişi üzerinde denenmiş olan göz takip sistemi yapılan göz hareketlerinde %100 doğru sonuç vermiştir.



Şekil 13. Programın Çalışmadığı Durum ve Gözün Yukarı Baktığı Durum

4. Tartışma

Göz takip sistemleri ile ilgili literatür araştırması yapıldığında son yıllarda ilgi çeken bir alan olduğu görülmüştür. Bu alandaki çalışmaların genellikle kamera tabanlı görüntü işleme teknikleri olduğu dikkat çekmektedir. Görüntü işleme süre ve veri bakımından zahmetli bir iş olmakta ve güçlü sistem bileşenleri gerektirmektedir. Bunun yanında EOG sinyal işleme tek boyutlu olduğu için hem veri hem de süre bakımından gerçek zamanlı sistemlerde avantaj sağlamaktadır. Sistem % 100 doğruluk ile çalışmaktadır. Ayrıca EOG verisi alınan kısım ile daha sonrasında klinik testlere tâbi tutularak hastalık teşhisi amacı ile sistem kullanılabilir. Bununla birlikte geliştirilen sistem ile bilgisayar kontrolü haricinde herhangi bir elektronik sistemin kontrolü de sağlanabilir.

Kaynakça

- [1] Brahmaiah, V. P., Sai, Y. P., & Prasad, M. G. (2017, January). Data Acquisition System of Electrooculogram. In 2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC) (pp. 716-721). IEEE.
- [2] Banerjee, A., Konar, A., Tibarewala, D. N., & Janarthanan, R. (2012, July). Detecting eye movement direction from stimulated Electro-oculogram by intelligent algorithms. In 2012 Third International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT'12) (pp. 1-6). IEEE.
- [3] Webster, J. G. (Ed.). (1999). The Measurement, Instrumentation, and Sensors: Handbook. Springer Science & Business Media.
- [4] Tabkara, M., Latifoğlu, F., Ceran, K., Çavga, S. H., Yaprak, M., & Altıntop, Ç. G. (2017, October). Electrooculography based font and punto analysis. In 2017 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO) (pp. 1-4). IEEE.
- [5] Usakli, A. B., Gurkan, S., Aloise, F., Vecchiato, G., & Babiloni, F. (2010). On the use of electrooculogram for efficient human computer interfaces. Computational intelligence and neuroscience, 2010.
- [6] Yıldız, M. (2011). EOG Tabanlı Yazı Yazma Sistemleri İçin Yeni Bir Kodlama Tekniği. In IEEE 19th Signal Processing and Communications Applications Conference (pp. 90-93).
- [7] Ayvaz, A., & Ertaş, G. Eyleyicileri Kontrol Etmek için EOG Temelli bir Elektronik Devre Tasarımı Design of an EOG Based Electronic Circuit to Control Actuators.
- [8] Esas, M. Y., & Latifo, F. (2015). Bilgisayar Tabanlı İki Kanallı Elektrokülografi Cihazı Tasarımı ve Göz Hareketlerinin Takibi Computer-Based Design with Dual Channel Device Electrooculography and Eye Movement Tracking.
- [9] Ülkütaş, H. Ö. (2015). Eog'nin Kodlanmasına Dayanan Bilgisayar Tabanlı Gözle Yazı Yazma Sistemi Geliştirilmesi. Başkent Üniversitesi.
- [10] Boylestad, R. L. (2009). Electronic devices and circuit theory. Pearson Education India.
- [11] Instruments, T., & Sensors, L. P. C. T. (1999). LM358 Datasheet. Texas Instruments Incorporated.
- [12] Devices, A. (1999). AD620 Datasheet. Low cost, Low Power Instrumentation Amplifier.
- [13] Instruments, T. (1998). Lm741 operational amplifier. LM741 datasheet, May.