

## Bilgisayar Tabanlı İki Kanallı Elektroküloğrafi Cihazı Tasarımı ve Göz Hareketlerinin Takibi

### Computer-Based Design with Dual Channel Device Electrooculography and Eye Movement Tracking

Mustafa Yasin Esas, Fatma Latifoğlu

Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi  
{4012231401, flatifoglu}@erciyes.edu.tr

#### Özetçe

Elektroküloğrafi göz küresinin hareketlerinin incelenmesinde çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. EOG sinyalleri göz küresinde bulunan elektriksel potansiyel aracılığıyla gözün hareketleri hakkında bilgi vermektedir. Göz hareketlerinin algılanması günümüz teknolojisi ile pek çok çalışmaya kolaylık sağlayabilecektir. Bu çalışmada Bilgisayar Tabanlı İki Kanallı EOG Ölçüm Sistemi Tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bir test yazılımı vasıtasıyla gözün çeşitli fonksiyonel hareketleri, gerçekleştirilen cihazla tespit edilerek değerlendirilmek üzere kaydedilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** — elektroküloğrafi; sinyal; fizyoloji; göz; takip; yazılım; test.

#### Abstract

Electrooculography are used in various field of analyzing the movements of the eyeball. EOG signals provide information about the movements of the eye through the electrical potential in the eyeball. The detection of eye movements can provide convenience to a lot of studies using today's technology. In this study, two-channel EOG Computer-Based Measurement System Design was performed. Also, various functional movements of the eye through test software is recorded to be evaluated by proposed device.

**Keywords** — electrooculography; signal; physiology; eye; track; software; test.

#### 1. Giriş

Akıllı teknolojilerin günümüzde hayatımızın önemli bir bölümüne girmiş olduğu görülmektedir. Günümüzde fizyolojik sinyaller üzerinde çalışmalar hızla artmaktadır. Fizyolojik sinyaller kullanılarak çeşitli sistemler geliştirilmektedir. Böylece bu sistemlerle özellikle hastalıklarla ve engellerle yaşamak zorunda olan insanların hayatlarını kolaylaştırılabilmektedir. Fizyolojik sinyallerin kaynağı genel olarak vücutta bulunan çeşitli elektriksel potansiyelle sahip kaynaklardır. Elektrokülogram (EOG) sinyallerinin kaynağı kornea-retina arasında oluşan durağan potansiyeldir. Göz küresinin göz merkezi çevresindeki

hareketlerinden dolayı, bu potansiyelin değişiminden oluşan sinyal EOG' yi oluşturur [1].

EOG sinyalleri non-invaziv yüzey elektrotları ile algılanabilmektedir. Elektrotlar göz çevresine yerleştirilerek EOG kaydı yapılabilmektedir [1]. Göz küresinin elektriksel potansiyelinin göz hareketlerine bağlı olarak elektrotlarda algılanan değerleri değişmektedir. Bu elektriksel değişim izlenerek göz hareketlerinin tespiti kolayca yapılabilmektedir [1]. Göz bölgesine yapıştırılan yüzey elektrotu kayıt alınan kişi için herhangi bir risk oluşturmamaktadır. Bu elektrotların en büyük dezavantajı gürültüye (elektromanyetik gürültü, fizyolojik gürültü, şebeke kaynaklı gürültü vb.) dirençsiz olmalarıdır. Ayrıca EOG sinyalinin frekans bandının dar olması ve düşük frekanslı bir sinyal olması, sinyal eldesini zorlaştıran unsurlardandır [2].

EOG sinyallerinin frekans bandı 0.1 Hz ile 10 Hz arasında bulunmaktadır. Genlik değerleri ise 0.01-0.1 mV düzeyindedir. EOG sinyallerinin algılanması için band geçiren filtreler kullanılmaktadır. Ayrıca fizyolojik sinyallerin algılanmasında yüksek CMRR' ye (common mod rejection ratio-ortak mod bastırma oranı) sahip Enstrümantasyon Kuvvetlendiriciler kullanılmaktadır [2].

EOG sinyallerinin analizleri zaman ve frekans domeninde yapılmaktadır. Sinyallerden anlamlı sonuçlar çıkarabilmek için sinyalin değişiminin hangi anda gerçekleştiğinin analizi yapılmalıdır. Sinyal değişim anları göz hareketlerini vermektedir. Ayrıca sinyal değişim anlarından anlamlı veriler elde edebilmek için göz küresinin refleksif titreşim hareketleri analiz sırasında belirli eşik değerler belirlenerek elimine edilmelidir. Göz hareketinin miktarı genlik değişim değerleri ile analiz edilebilmektedir. Gözün hareketinin yönüne göre sinyalde artan ve azalan genlik değerleri izlenebilmektedir.

Literatürde EOG sinyalleri kullanılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Örneğin HS Dhillon. ve arkadaşları Beyin-Bilgisayar arayüzü için EOG ve EMG tabanlı sanal klavye çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada gözün baktığı yönler EOG sinyali ile, kaş hareketleri de EMG sinyalleri ile saptanarak özellikle felçli hastaların iletişim ve çeşitli amaçlarla kullanılabileceği sanal klavye çalışması ortaya konulmuştur [3].

Gerçekleştirilen bu çalışmada EOG sinyallerini algılamak ve işlenebilir halde bilgisayara gönderebilmek için bir elektronik kart tasarımı ve elektronik karttan elde edilen EOG verilerinin bilgisayar ortamında görüntülenip kayıt edilip işlenebilmesi için bir arayüz yazılımı yapılmıştır. Ayrıca göz hareketlerinin hangi zaman anında hangi yönde hareket

## Tıbbi Cihaz Tasarımı 5

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

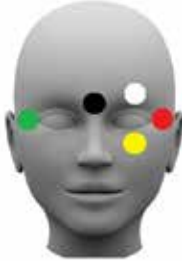
ettiğinin tanımlanabilmesi için bir test yazılımı gerçekleştirilmiş ve EOG sinyallerini kaydetme işlemi EOG test yazılımı ile eş zamanlı çalıştırılarak gerçekleştirilmiştir.

## 2. Yöntem

Çalışmada öncelikle EOG eldesi için gerekli enstrümantasyon kuvvetlendirici ve filtre tasarımları simüle edilmiştir. Daha sonra sinyalin işlenebilir aralıklara çekilmesi için kuvvetlendirme devresi tasarlanmıştır. Analog sinyal algılama ve filtreleme işlemleri tamamlandıktan sonra sinyalin mikrodenetleyici aracılığıyla digitale çevrilmesi gerçekleştirilmiş ve USB port aracılığı ile verilerin bilgisayar ortamına aktarılması sağlanmıştır. Bilgisayar ortamında Java tabanlı bir yazılım geliştirilerek sinyallerin geliştirilen yazılım aracılığıyla görüntülenip kaydedilmesi sağlanmıştır. Ayrıca C# programlama dili ile görsel bir test yazılımı yapılmıştır. Bu yazılım ile gözün kontrollü bir şekilde hareket etmesi sağlanmıştır.

### 2.1 Elektrotların Yerleşimi

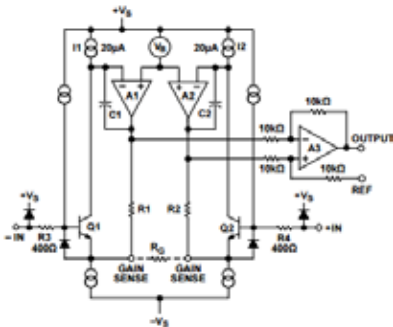
Yüzey elektrotları göz bölgesine yerleştirilir. Gözün üstüne ve altına yerleştirilen elektrotlar, gözün dikey eksendeki hareketlerini algılar. Sol gözün soluna ve sağ gözün sağına yerleştirilen elektrotlar ise yatay eksendeki göz hareketlerini algılamaktadır. İki kaşın orta bölgesine ise referans elektrodu yerleştirilmektedir. Referans elektrodu elektronik devrede toprak seviyesini temsil etmektedir. Şekil.1 de elektrotların yerleşimi görülmektedir.



Şekil.1: Elektrot Yerleşimi

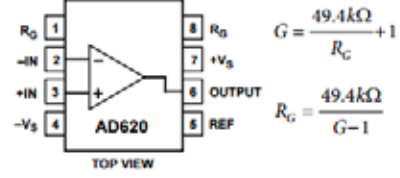
### 2.2 Enstrümantasyon Kuvvetlendirici Seçimi

Enstrümantasyon kuvvetlendirici olarak Analog Device firmasına ait AD620 serisi entegre kullanılmıştır. Bu entegre 100 dB CMRR değerine sahiptir. Ayrıca fizyolojik sinyallerin eldesinde çevresel gürültülerin etkilerini en aza indirgeyen enstrümantasyon kuvvetlendirici entegrelerinden biridir[4].



Şekil.2: AD620 Yapısı

AD620' nin dış yapısı aşağıdaki şekilde görülmektedir. 1 ve 8 numaralı pinler arasında yapılan  $R_G$  direnci bağlantısı ile kazanç değeri ayarlanabilmektedir.[4]



Şekil.3: AD620 Dış Yapısı

### 2.3 Filtre ve Kuvvetlendirme Katları Tasarımı

Devrede EOG için 2. Dereceden Band geçiren aktif filtre tasarlanmıştır. Filtrenin frekans cevabı 2. Derece de yeterli kararlılığı gösterdiği için daha büyük dereceli filtreye ihtiyaç duyulmamıştır. Filtre derecesinin artması devre boyutlarını etkileyen bir unsur olduğundan tasarlanan filtre ile minimum devre boyutları sağlanmaya çalışılmıştır.

Filtre alt kesim ve üst kesim frekansının hesaplanması;

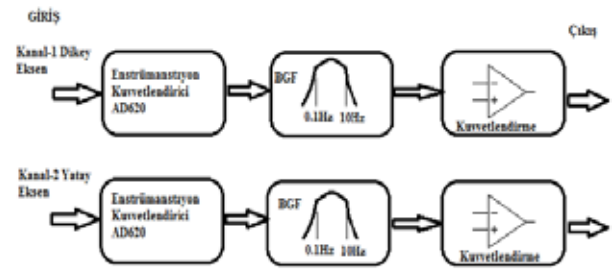
$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 R_2 C_1 C_2}$$

Formülünde R-C kombinasyonlarına uygun değerlerin atanması ile 0.1-10 Hz band geçiren filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Devrenin besleme gerilimi için USB porttan alınan DC 5V kullanılmıştır. Devrede kullanılan tüm entegreler 5V gerilime uygun olarak seçilmiştir. Devrede harici bir besleme kaynağı kullanılmamaktadır.

Kuvvetlendirme (op-amp) katları tasarımında besleme gerilimi sınırları dahilinde ve EOG sinyalinin karakteristiğini bozmadan, sinyal işlenebilir değerlere yükseltilmiştir.

Aşağıda analog devre tasarımı blok diyagramlar halinde görülmektedir.



Şekil.4: Analog Devre Tasarımı Blok Diyagram

### 2.3 EOG Sinyalinin Digital Veriye Dönüştürülmesi

Analog olarak algılama filtreleme ve kuvvetlendirme işlemleri tamamlandıktan sonra sinyalin digitale dönüştürülüp USB port aracılığıyla bilgisayara aktarılma işlemleri yapılmıştır.

Mikrodenetleyici olarak PIC18F4550 entegresi kullanılmıştır. Bu entegrenin seçilme sebebi olan başlıca teknik özellikler şunlardır[5].

Analog-Digital Converter : Analog veri 10bit lik digital veriye dönüştürülerek, dönüştürme işlemi 0-5V arası 1024 parçaya bölünmüştür. Böylece minimum veri kaybı sağlanmıştır.

## Tıbbi Cihaz Tasarımı 5

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

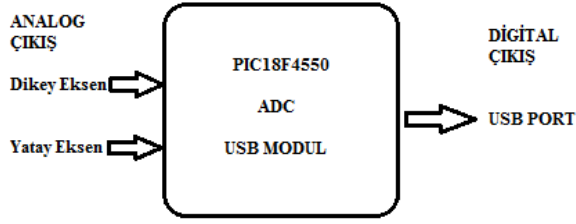
**Flash Memory** : 32 Kb(kilobayt) alan, sinyali digitale dönüştürme ve bilgisayara aktarma için kod alanı olarak yeterli görülmüştür.

Ayrıca entegrenin doğrudan USB çıkışının olması ekstra bir ara eleman kullanmaya gerek bırakmamıştır.

**Osilatör Frekansı**: 20MHz seçilmiştir. Böylece gerçek zamanlı bir şekilde EOG sinyallerinin bilgisayarda izlenebilmesi sağlanmıştır.

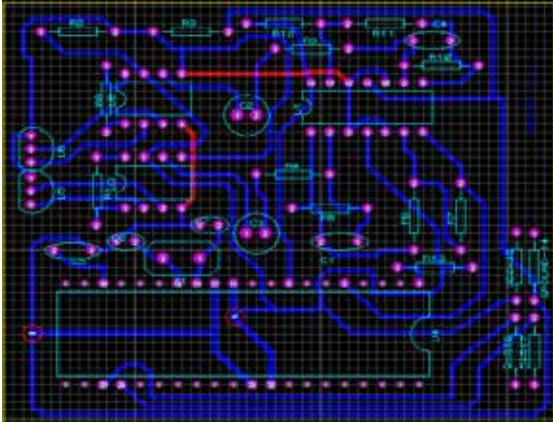
**Giriş/Çıkış**: Entegrenin iki giriş pini ve USB çıkış pini kullanılmıştır.

Aşağıdaki şekilde EOG sinyalinin bilgisayara aktarılma işlemi blok diyagramlar ile görülmektedir.

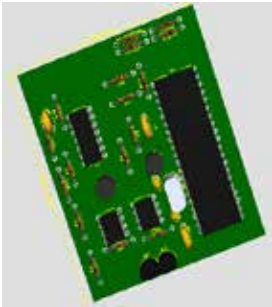


Şekil.5: Mikrodenetleyici Giriş/Çıkış Blok Diyagram

## 2.5. Elektronik Tasarımın Görselleri



Şekil.6: Baskı Devre



Şekil.7: Devre Simülasyonu



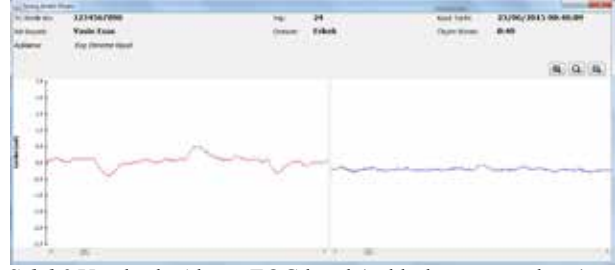
Şekil.8: Elektronik Kart

## 2.6 Bilgisayar Arayüz Yazılımı

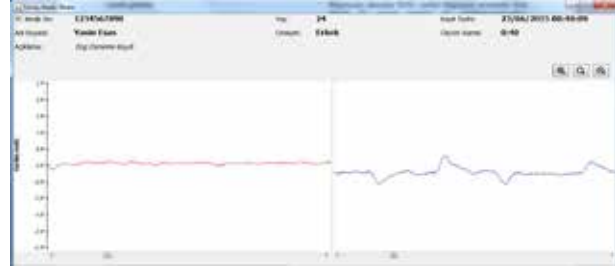
Bilgisayara aktarılan EOG verileri bilgisayar ortamında Java tabanlı bir arayüz yazılımı ile görüntülenebilmekte, kaydedilebilmekte ve sonrasında kayıtlar incelenebilmektedir. Yazılımda bilgisayara gelen veri eş zamanlı olarak ekranda görüntülenebilmektedir. Ekranın sol yanında yatay eksen

EOG sinyali, sağ yanında ise dikey eksen EOG sinyali izlenmektedir.

Elektronik karttan bilgisayara saniyede ortalama 1511 adet veri gönderilmektedir. 1 dakikalık bir kayıta ortalama 90660 adet veri bulunmaktadır. Bu veri yoğunluğu azaltmak için sinyal digital ortamda 1/20 oranında örneklenerek veri yoğunluğu azaltılmıştır. Böylece 1 dakikalık bir kayıt ortalama 4533 adet veri içerir hale gelmiştir. Bu örnekleme frekansına göre herhangi bir veri kaybı bulunmamaktadır. Yazılımın görselleri aşağıdaki şekilde görülmektedir.



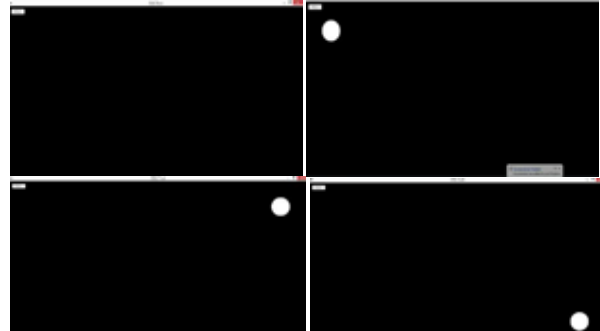
Şekil.9:Yazılımla Alınan EOG kaydı(sol bölüm yatay eksen)



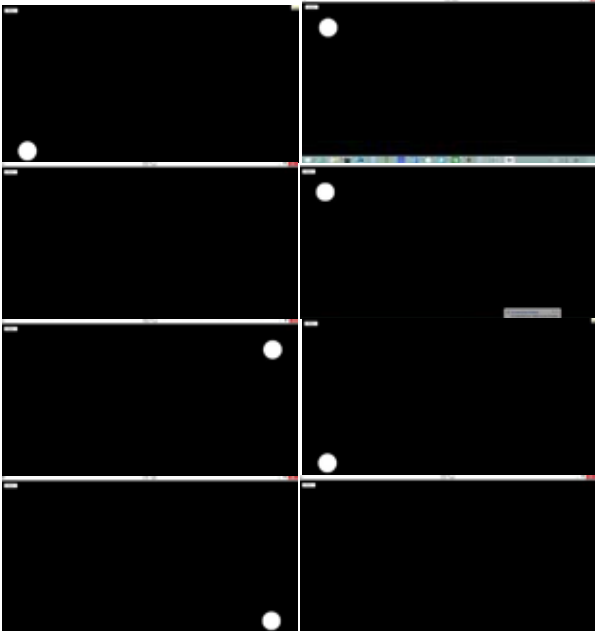
Şekil.10:Yazılımla Alınan EOG kaydı(sağ bölüm dikey eksen)

## 2.7 Test Yazılımı

Test yazılımında siyah ekran üzerinde beyaz uyarıların göz ile takibinin yapılması istenmektedir. Eş zamanlı olarak da EOG kaydı alınmaktadır. Böylece test yazılımı kullanılarak hangi zamanda gözün hangi eksen (yatay dikey) hareket ettiği takip edilebilmektedir. Öncelikli olarak ekranın köşelerinde aşağıdaki Şekil 11 de görüldüğü gibi uyarının kare şeklinde ilerlediği "kare testi" yapılmakta, daha sonra ise Z şeklinde ilerlediği "z testi" yapılmaktadır. Test işlemi başlatıldığında 1 saniye sonra sinyaller ekranda akmaya başlamaktadır. İlk sinyal ve sonrasında akan sinyaller arası zaman aralıkları 500ms (milisaniye) olarak alınmıştır. Testin bir periyodu kare testi ve z testinin tamamlanmasıyla 6.5 saniyede sona ermektedir. Bu test istenildiği kadar uzatılabilmektedir. Aşağıda testin bir periyodu sırasıyla görülmektedir.



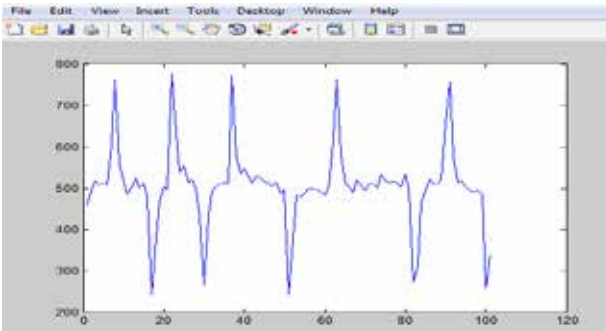




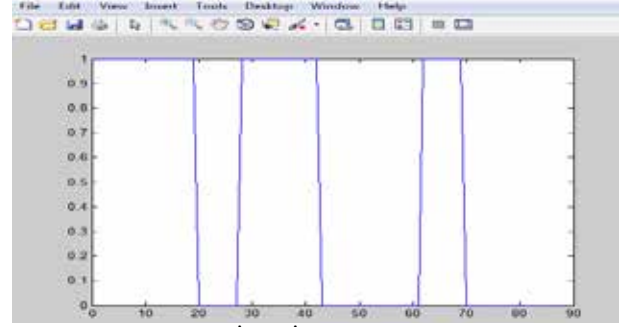
Şekil.11: Test Yazılım

### 3. Sonuç

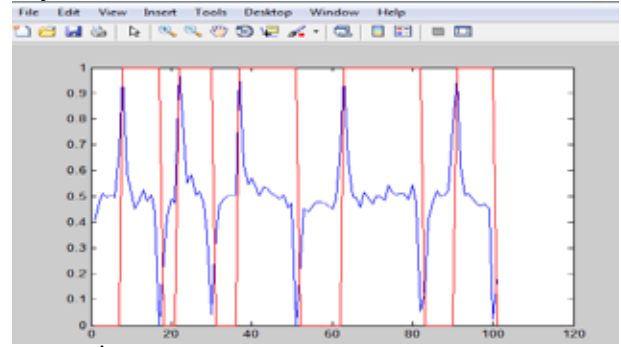
Gerçekleştirilen sistem ve test ekranı kullanılarak elde edilen kayıtlar MATLAB ortamına Şekil 12 de görüldüğü gibi aktarılmıştır. Daha sonra Test yazılımındaki sinyale göre göz hareketlerinin yatay ve dikey eksenindeki hareketleri, Şekil 13 te görüldüğü gibi kare dalga şeklindeki referans sinyal oluşturulmuştur. EOG kaydına ve referans sinyale normalizasyon işlemi uygulanarak sinyallerin değerleri 0-1 arasına çekilmiştir. Daha sonra kaydedilen EOG sinyallerinden her göz hareketine ait kare dalga üretilmiştir (Şekil 14). Böylece EOG sinyalinden kare dalganın 0'dan 1'e veya 1'den 0'a geçişleri ile göz hareketlerinin sayısı hesaplanmıştır. Ayrıca görsel olarak da çıkışma anları karşılaştırılmıştır. Böylece test sinyaline göre gözün soldan sağa, sağdan sola veya yukarıdan aşağıya, aşağıdan yukarıya kaç kez yöneldiği kayıt altına alınmıştır. Ayrıca test sinyalindeki gözün hareket sayısı ve süresi ile karşılaştırılmıştır. Böylece bireylerin uyarımı takip edebilme yeteneği belirlenmiştir. Aşağıda MATLAB ortamında örnek olarak bir bireyden test yazılımı kullanılarak elde edilen EOG sinyali, referans sinyal ve EOG sinyalinden elde edilen kare dalga şeklindeki sinyal görülmektedir.



Şekil.12: Dikey Eksende İki Periyotluk EOG Sinyali



Şekil.13: Dikey EOG İçin İki Periyotluk Normalize Test Sinyali



Şekil.14: İki Periyotluk Sinyal & Kare Dalganın Çakışma Anları

Bu örneğe göre, test yazılımının iki periyodunda toplam 5 kez yukarı yönlü, 4 kez aşağı yönlü göz hareketi olmaktadır. MATLAB de yapılan işlem sonucu da görsel olarak test yazılımı aracılığıyla alınan EOG kaydını doğrulamaktadır. Matematiksel olarak da hesaplattığımızda toplam 9 adet göz hareketi bulunmaktadır. Bunların 5 tanesinin yukarı yönlü, 4 tanesinin ise aşağı yönlü göz hareketi olduğu matematiksel olarak tespit edilmiştir.

Çalışmanın sonucunda elde edilen EOG cihazı göz takip sistemi ihtiyaç olduğu her alanda kullanıma uyarlanabilir. Özellikle felçli hastaların göz hareketleri ile kontrol sistemleri için uyarlanabilir. Ayrıca tasarlanan sistem göz hareketlerine dayalı dikkat testlerinde, ev otomasyonu için çeşitli uygulamalarda (televizyonu aç/kapa, perdeyi aç/kapa vb.) kullanılabilceği ön görülmektedir.

### 4. Kaynaklar

- [1] Banerje A., Konar A. ; Tibarewala DN. ; Janarthanan R. Detecting eye movement direction from stimulated Electrooculogram by intelligent algorithms. Computing Communication & Networking Technologies (ICCCNT),2012.
- [2] John G. Webster, Gene Fatton, Jacob Fraden, James E. Lenz, Ramón Pallás-Areny, Dennis Swyt, Peter H. Sydenham, Carsten Thomsen; The Measurement, Instrumentation and Sensors, 1999.
- [3] HS Dhillon, R Singla, NS Rekhi and R Jha. EOG and EMG based Virtual Keyboard: A Brain-Computer Interface. 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, 2009.
- [4] Analog Device- Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier, AD620 Data Sheet.
- [5] Microchip, PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet 28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology, PIC18F4550.