

Eyleyicileri Kontrol Etmek için EOG Temelli bir Elektronik Devre Tasarımı

Design of an EOG Based Electronic Circuit to Control Actuators

Anıl Ayvaz ve Gökhan Ertas

Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Yeditepe Üniversitesi
gokhan.ertas@yeditepe.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada eyleyicileri kontrol etme yeteneğine sahip EOG temelli bir elektronik devre tasarlanmıştır. Devreyle yatay düzlemde göz hareketlerine ait EOG sinyalleri üç elektrotla algılanıp bir enstrümantasyon kuvvetlendiricisi ile kuvvetlendirilmektedir. Sonrasında sinyaller pasif bant geçiren filtreler ve evirmeyen kuvvetlendiricilerle filtrelenmekte, bir gerilim seviye kaydırıcı ile pozitif gerilim seviyesine kaydırılmaktadır. Elde edilen analog sinyaller bir mikrodenetleyiciyle sayısal hallerine çevrilip işlenerek göz hareketi sınıflandırmaları gerçekleştirilmektedir. Sınıflandırma sonucuna göre mikrodenetleyici tarafından iki eyleyici aktifleştirilmekte ve pasifleştirilmektedir. Devre sağlıklı üç erkek gönüllü üzerinde gönüllüler gözlerini sola (merkez-sol-merkez) ve sağa (merkez-sağ-merkez) hareket ettirirken ve gözlerini hareketsiz durumda tutarken test edilmiştir. Her bir durum için ortalama sınıflandırma başarıları sırasıyla %100, %75 ve %96 olarak hesaplanmıştır. Genel sınıflandırma başarıları %90' dır ki bu tasarlanmış olan devrenin gözün yatay düzlemdeki hareketlerin ve hareketsiz durumlarını EOG sinyallerinden etkin bir biçimde algılayıp eyleyicileri kolayca kontrol edilebildiğini göstermektedir.

Abstract

In this study, an EOG based electronic circuit capable of controlling actuators has been designed. Within the circuit, EOG signals generated due to movement of eyes in horizontal plane are sensed with three electrodes and pre-amplified by an instrumentation amplifier. Pre-amplified EOG signals are then filtered by passive band-pass filters and non-inverting amplifiers, and shifted to positive voltage level by a voltage level shifter. Resultant analog signals are converted into their digital forms and then processed to perform eye movement classifications by a microcontroller. With respect to classification results, two actuators are activated or deactivated by the microcontroller. Circuit has been tested on three male volunteers while doing eye movements to left (center-left-center), eye movements to right (center-right-center), and no eye movement. Average classification success for each case is calculated as 100%, 75% and 96%, respectively. On overall, classification success is 90% showing that the circuit designed is able to detect horizontal eye movements from EOG signals effectively and may control actuators effortlessly.

1. Giriş

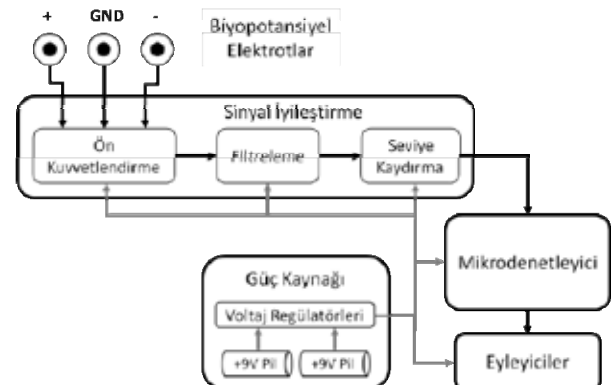
Sinir sisteminin çok önemli bir parçası olan ve sisteme sürekli bilgi akışı sağlayan insan gözü görme yolu ile çevresinden bilgi toplayan karmaşık bir duyu organıdır. Göz hareketi göze dışarıdan bağlı olan dört ana ve iki yan kas tarafından gerçekleştirilir [1]. Göz hareketlerinin tespitinde çok çeşitli yöntemler mevcut olsa da elektrookulogram (EOG) temelli teknikler en yaygın olanlarıdır.

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. EOG sinyalleri; ağır özürli bireylere yönelik mekanik kontrol sistemlerinde [2-4] ve insan-bilgisayar ara yüzlerinde [5-8], çeşitli göz hastalıklarının tespitinde, uyku esnasında göz hareketlerinin takip edilmesinde, komadan yeni çıkmış sadece gözlerini hareket ettirebilen hastalarla iletişim kurmada kullanılmaktadır [9-11].

Bu çalışmada çeşitli eyleyicileri kontrol etme yeteneğine sahip, mikrodenetleyici barındıran, EOG temelli bir devre tasarlanmıştır. Aşağıda bu devre detaylı olarak anlatılmaktadır.

2. Tasarlanan Devre

Bu çalışma kapsamında tasarlanmış olan devre Şekil 1'de görüldüğü gibi üç biyopotansiyel elektrottan, ön kuvvetlendirme, filtreleme ve gerilim seviye kaydırma katlarından, bir mikrodenetleyiciden, iki eyleyiciden ve güç kaynağından oluşmaktadır.



Şekil 1: Tasarlanmış devrenin öbek çizimi

Tıbbi Cihaz Tasarımı

2. Gün 26 Eylül 2014 Cuma (09.00-10.00)

2.1. Elektrotlar ve Elektrot Yerleşimi

Tasarlanan devrede, üç adet biyopotansiyel elektrotla EOG sinyalleri algılanmaktadır. Bu elektrotlar kendinden jelli ve yapışkanlı Ag-AgCl yüzey elektrotları olmalarından ötürü kullanımları oldukça kolaydır. Uygulamada; yüzde göz hizasında soldan sağa doğru ilerlenirken, sol gözün hemen soluna yerleştirilen elektrot devrenin pozitif (+) elektrot girişine, sol göz ile sağ göz arasına yerleştirilen elektrot devrenin GND elektrot girişine ve sağ gözün hemen sağına yerleştirilen elektrot devrenin negatif (-) elektrot girişine bağlanmaktadır (Bakınız Şekil 2). Oldukça düşük genliklere sahip EOG sinyalleri elektrotlarca algılandıktan sonra bir ön kuvvetlendirme katıyla kuvvetlendirilmektedir.



Şekil 2: Elektrot yerleşimi.

2.2. Ön Kuvvetlendirme Katı

Tasarlanan devrede ön kuvvetlendirme katı bir enstrümantasyon kuvvetlendiricisinden oluşmaktadır. Enstrümantasyon kuvvetlendiricisi iki katında toplamda üç işlevsel kuvvetlendirici barındıran gelişmiş bir fark kuvvetlendiricisidir. Giriş katı olan birinci katta bulunun iki kuvvetlendirici tampon görevi görür. İkinci katta ise geleneksel bir fark kuvvetlendirici yer alır. Enstrümantasyon kuvvetlendiricisi doğası gereği oldukça yüksek ortak mod bastırma oranı ve yüksek giriş empedansına sahiptir. Tasarlanan devrede AD620 enstrümantasyon kuvvetlendiricisi yer almaktadır (Analog Devices, Inc.). Geniş bir gerilim aralığında çalışabilen giriş voltaj gürültüsü düşük ve düşük güç tüketimli AD620' in bir ile 10000 arasında değer alabilen kazanç, $Kazanç = 1 + (49.4k\Omega/R_G)$ eşitliğinden harici R_G direnci vasıtasıyla ayarlanabilmektedir.

Uygulamada 5.7k Ω luk bir R_G direnci kullanılarak kazanç yaklaşık on olarak ayarlanmıştır. Düşük düşünülebiyecek bu kazanç gürültünün EOG sinyaline binme doğası göz önüne alındığında oldukça uygun olmaktadır. Kuvvetlendirilen EOG sinyalleri bir sonraki aşamada filtrelenmektedir.

2.3. Filtreleme Katı

EOG sinyallerine elektrotlarla algılanan diğer biyosinyaller ve elektrot bağlantı kablolarına indüklenen ortam sinyalleri bozucu etkileriyle gürültü olarak binerler. Öte yandan elektrotların doğru düzgün sabitlenmemiş olmaması da EOG sinyallerinde gürültüye sebep olmaktadır. Bu sebepten filtrelenmelerine ihtiyaç duyulur.

Tasarlanan devrede filtreleme bir biri peşi sıra bağlanmış üç filtre katıyla gerçekleştirilmektedir. Her bir filtreleme katı birbirine seri bağlanmış birinci dereceden 0.1Hz kesim frekansına sahip yüksek geçiren ve 30Hz kesim frekansına sahip alçak geçiren filtrelerden oluşan bant geçiren pasif bir filtreden oluşmaktadır. Bu pasif filtreler bir direnç ve bir kapasitör barındırmaktadır (Alçak geçiren filtre için 510 Ω ve 10uF; yüksek geçiren filtre için 100uF ve 15k Ω). Filtreleme işlemi sırasında sinyalin genliğindeki istenmeyen düşmelerin

önüne geçmek için filtre çıkışları kazancı 22k Ω ve 1k Ω dirençler vasıtasıyla +23 olarak ayarlanmış evirmeyen kuvvetlendiricilere bağlıdır. Bu kuvvetlendiricilerin gerçekleştirilmesinde iki ayrı işlevsel yükselticiye sahip ucuz maliyetli LM358 tümeleşik devresi kullanılmıştır. Filtrelendikten sonra EOG sinyalleri gerilim seviye kaydırma katına giriş olmaktadır.

2.4. Gerilim Seviye Kaydırma Katı

Tasarlanan devreyle algılanmış, kuvvetlendirilmiş ve filtrelenmiş EOG sinyalleri; gözler merkezde sabit durumdayken 0-0.2V aralığında, gözler yatay düzlemde kısa ve hızlı bir biçimde merkez-sağ-merkez hareketini yaparken azami +2V ve gözler merkez-sol-merkez hareketi yaparken azami -2V gerilim değerlerine sahip olmaktadır. Devrede, işlemek üzere mikrodenetleyici girişine uygulanabilmeleri için sadece pozitif değerler alıyor olmaları gerekmektedir. Bu sebepten filtrelenmiş sinyaller devrede gerilim seviye kaydırma katına giriş olmaktadır.

Tasarlanan seviye kaydırma katı iki direnç içeren bir gerilim bölücü devreden ve bu devrenin çıkışına bağlı bir evirmeyen kuvvetlendirme devresinden oluşmaktadır. Gerilim bölücü devrede filtrelenmiş EOG sinyali bir 10k Ω direnç üzerinden ve +5V gerilim seviyesi bir 100k Ω direnç üzerinden evirmeyen kuvvetlendiriciye girilmektedir. LM358 işlevsel kuvvetlendiricisiyle gerçekleştirilmiş olan bu kuvvetlendiricinin kazancı dirençlerle +2 olarak ayarlanmış bulunmaktadır. Seviyesi kaydırılmış sinyal bir sonraki aşamada mikrodenetleyiciye girilmektedir.

2.5. Mikrodenetleyici ve Yazılımı

Mikrodenetleyiciler belli bir görevi icra etmek için programlanabilir; dâhili işlemciye, hafızaya, analog-sayısal çeviriciye ve giriş-çıkış portlarına sahip tümeleşik devrelerdir.

Tasarlanan devre ile toplanan, filtrelenen ve seviyesi kaydırılan analog EOG sinyallerinden merkez-sağ-merkez ve merkez-sol-merkez hareketlerinin ve hareketsizliğin tanınması bir PIC16F877A (Microchip Technology, Inc) mikrodenetleyicisi tarafından gerçekleştirilmektedir. Mikrodenetleyici 100 milisaniye aralıklarla 10-bit çözünürlükle ve 4.88mV hassasiyetle analog-sayısal çevirmeler gerçekleştirilmekte, son örnekle bir önceki örnek arasındaki farkı hesap etmekte ve bu farkın değerine göre hareket sınıflandırması yapmaktadır. Fark -1,34V'tan küçük ise hareket merkez-sağ-merkez hareketi olarak ve fark+1,34V'tan büyük ise hareket merkez-sol-merkez hareketi olarak sınıflandırılmaktadır. Fark -1,34V ile +1,34V aralığında ise hareket hareketsiz olarak sınıflandırılmaktadır. Mikrodenetleyici sınıflandırma sonucuna göre iki çıkış portuna bağlı eyleyicileri iki saniye boyunca aktifleştirilmekte veya pasifleştirilmektedir.

Yukarıda anlatılan fonksiyonları yerine getiren mikrodenetleyici programı Proton IDE ortamında Proton Basic programlama diliyle kodlanıp derlendikten sonra bir PICKit2 programlayıcısı kullanılarak mikrodenetleyiciye yazılmıştır.

2.6. Eyleyiciler

Eyleyiciler bir kırmızı ve bir sarı renkte olmak üzere iki adet ışık saçan diyottan (LED) oluşmaktadır. Bu eyleyiciler mikrodenetleyiciden çekilebilecek asgari akım düşünülerek akım sınırlandırıcı birer direnç üzerinden mikrodenetleyicinin ilgili çıkış portlarına bağlıdır. Aktifleştirilmeleri veya pasifleştirilmeleri portların mantıksal bir veya sıfır

Tıbbi Cihaz Tasarımı

2. Gün 26 Eylül 2014 Cuma (09.00-10.00)

seviyelerine çekilmeleriyle gerçekleştirilmektedir. Tablo 1’de gösterildiği gibi merkez-sağ-merkez göz hareket sınıflandırılması yapılmış ise sadece kırmızı LED ve merkez-sol-merkez hareket sınıflandırılması yapılmış ise sadece sarı LED aktifleştirilmektedir (yanık durum). Göz hareketsiz sınıflandırması yapıldığında ise her iki LED pasifleştirilmektedir (sönük durum).

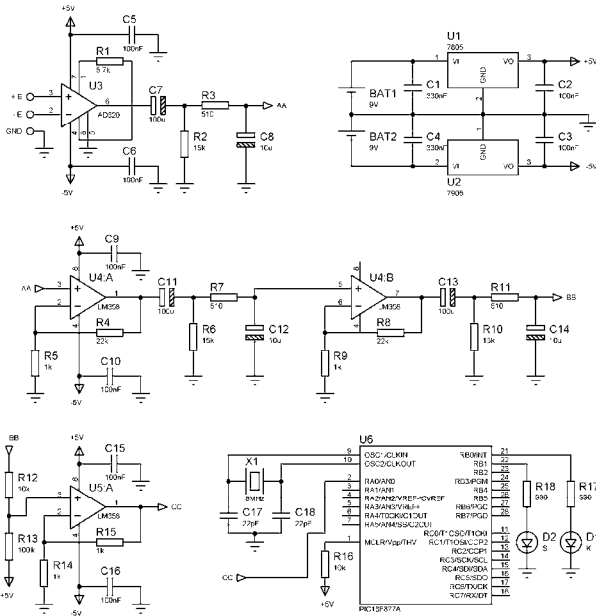
Tablo 1: Sınıflandırılan göz hareketleri, göz önene alınan sinyal farkı ve eyleyici durumları

Göz Hareketi	Sinyal Farkı	Eyleyici Durumu
Merkez-Sol-Merkez	+1,34Vdan büyük	Sarı LED aktif
Merkez-Sağ-Merkez	-1,34Vdan küçük	Kırmızı LED aktif
Hareketsiz	diğer	Her iki LED pasif

2.7. Güç Katı

Enstrümantasyon kuvvetlendiricisi ve filtreleme ile gerilim seviyesi kaydırma katlarında yer alan işlemsel kuvvetlendiriciler $\pm 5V$ DC besleme gerilimlerine, mikrodenetleyici ise $+5V$ DC besleme gerilime ihtiyaç duymaktadır. Bu gerilim seviyeleri birbirine seri olarak bağlanmış iki adet $+9V$ pil kaynağından bir pozitif ve bir negatif besleme katı tarafından sağlanmaktadır. Bu katlar uygun kondansatörler bağlanmış LM7805 ve LM7905 voltaj düzenleyici tümlüşik devrelerini içermektedir.

Tasarlanmış olan devrenin tüm elektronik devre çizimi Şekil 3’ de görüldüğü gibidir.

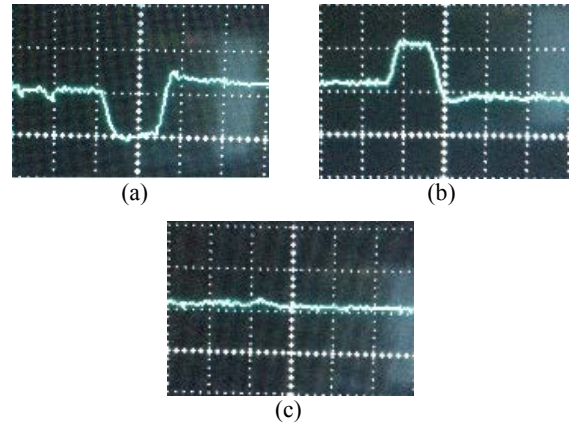


Şekil 3: Tasarlanmış elektronik devre

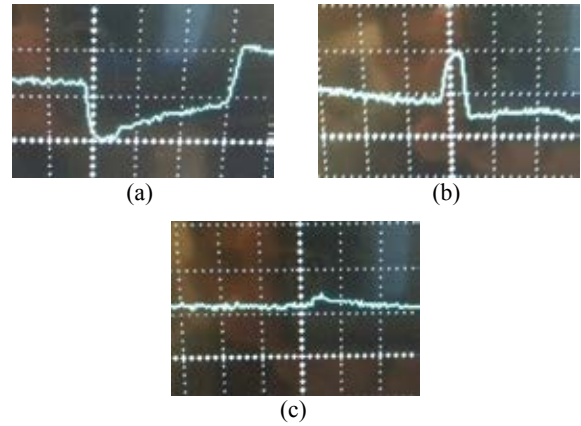
3. Sonuçlar

Tasarlanan devrenin performansının sınanmasında sağlıklı üç erkek gönüllüden alınan ölçümler kullanılmıştır. Bu ölçümler esansında devrenin gerilim seviye kaydırma katı çıkışında görülmüş olan örnek EOG sinyalleri Şekil 4-6’ de görüldüğü gibidir (Volt/DIV=2V ve Time/DIV=500ms).

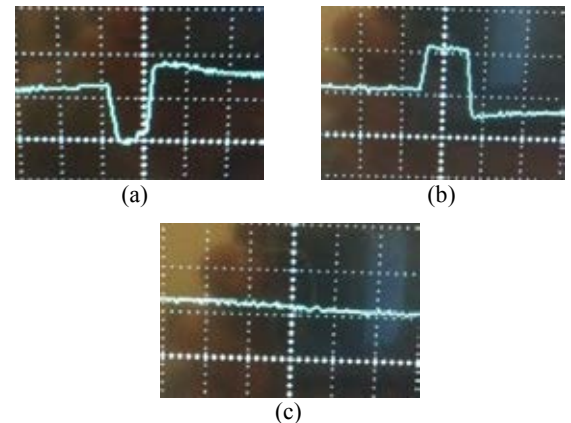
Her bir gönüllüden birbiri peşi sıra gelen üç ayrı zaman diliminde gözlerini on defa sola (merkez-sol-merkez) ve on defa sağa (merkez-sağ-merkez) hareket ettirmeleri istenmiştir. Ayrıca üç ayrı zaman diliminde gözler hareketsiz durumda iken on kez hareket sınıflandırması yaptırılmıştır. Her bir sınıflandırma sonucu devredeki LED eyleyicilerden gözlemlenip not edilerek doğru ve yanlış sınıflandırmalar belirlenmiştir. Gönüllüler için sınıflandırmalar ve hesaplanmış sınıflandırma başarıları Tablo 2-4’ de görülmektedir.



Şekil 4: Gönüllü #1 den EOG sinyalleri: (a) Merkez-sağ-merkez hareketi, (b) merkez-sol-merkez hareketi ve (c) hareketsiz.



Şekil 5: Gönüllü #2 den EOG sinyalleri: (a) Merkez-sağ-merkez hareketi, (b) merkez-sol-merkez hareketi ve (c) hareketsiz.



Şekil 6: Gönüllü #3 den EOG sinyalleri: (a) Merkez-sağ-merkez hareketi, (b) merkez-sol-merkez hareketi ve (c) hareketsiz.



Tıbbi Cihaz Tasarımı

2. Gün 26 Eylül 2014 Cuma (09.00-10.00)

Tasarlanan devre tüm gönüllülerin merkez-sol-merkez göz hareketini %100 başarı ile sınıflandırabilmektedir. Bununla birlikte merkez-sağ-merkez göz hareketi için sırasıyla %90, %67 ve %69 sınıflandırma başarıları ve hareketsiz göz için %97, %100 ve %90 sınıflandırma başarıları söz konusudur. Her bir hareket için ortalama sınıflandırma başarıları %100, %75 ve %96 olarak hesaplanmıştır. Genel sınıflandırma başarıları ise %90 olarak bulunmuştur. Sonuçlar tasarlanmış olan devreyle gözün yatay düzlemdaki hareketlerinin ve hareketsiz durumlarının EOG sinyallerinden etkin bir biçimde algılanabildiğini ve her bir hareket için farklı eyleyicilerin kontrol edilebildiğini göstermektedir.

Bu çalışmada tasarlanan devre gözün dikey düzlemdaki hareketlerini algılaması devreye benzer bir sinyal iyileştirme katının eklenmesiyle ve mikrodenetleyici kodunu güncellenmesiyle kolayca sağlanabilir. Mevcut devrede eyleyici olarak LEDler kullanılmış olsa da sadece eyleyicilerin bağlı olduğu mikrodenetleyici çıkış portlarına uygun sürücü katlarıyla dc motor gibi elektromekanik eyleyicilerin kolayca bağlanması mümkündür. İlerde bu çalışma kapsamında tasarlanmış olan devrenin insan bilgisayar arayüzü görevi görerek boyundan aşağısı tutmayan hastaların elektrikli tekerlekli sandalyelerinin kontrolünde kullanılmasına yönelik çalışmalar planlanmaktadır.

4. Kaynakça

- [1] Barrett, K.E., Barman, S.B., Boitano, S., Brooks, H.L., Ganong's Review of Medical Physiology, McGraw-Hill, 2012.
- [2] Barea, R., Boquete, L., Manuel, M., Lopez, E., "System for Assisted Mobility using Eye Movements based on Electrooculography", *IEEE Trans. Neural Systems and Rehab. Engineering*, 209-218, 2002.
- [3] Tsui, CSL., Pei J., Gan, JQ., Huosheng H., Kui Y., "EMG-based hands-free wheelchair control with EOG attention shift detection", *IEEE Int. Conf. on Robotics and Biometrics*, 2007, 1266-1271.
- [4] Yingxi, C., Newman, WS., "A human-robot interface based on electrooculography", *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, 2004, 243-248.
- [5] Kumar, D., Poole, E., "Classification of EOG for human computer interface", *24th Annu. Conf. and the Annu. Fall Meeting of EMBS*, 2002, 64-67.
- [6] Zhao, L., Xiaopei, W., Mi, L., Chao Z., "Implementation of the EOG-Based Human Computer Interface System", *Int. Conf. on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 2008, 2188-2191.
- [7] Qiuping, D., Kaiyu, T., Guang, L., "Development of an EOG Based Human-Computer Interface", *27th Annu. Conf. of EMBS*, 2006, 6829-6831.
- [8] Usakli, AB., Gurkan, S., "Design of a Novel Efficient Human-Computer Interface: An Electrooculogram Based Virtual Keyboard", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2099-2108, 2010.
- [9] Bulling, A., Ward, JA., Gellersen, H., Troster, G., "Eye Movement Analysis for Activity Recognition Using Electrooculography", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 33, 741-753, 2011.
- [10] Doman, J., Kupfer, DJ., "Computer analysis of EEG, EOG, and NPT activity during sleep", *Int. J. Biomed. Comput.*, 191-200, 1988.
- [11] Kenji, Y., Hori, J., Miyakawa, M., "Development of EOG-Based Communication System Controlled by Eight-Directional Eye Movements", *28th Annu. Conf. of EMBS*, 2006, 2574-2577.

Tablo 2: Gönüllü #1 için göz hareketi sınıflandırma sonuçları ve sınıflandırma başarıları

Göz Hareketi	Merkez-Sol-Merkez			Merkez-Sağ-Merkez			Hareketsiz		
Deneme Sırası	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Yanlış/Doğru Sınıflandırma	0/10	0/10	0/10	1/9	1/9	1/9	1/9	0/10	0/10
Sınıflandırma Başarısı	%100			%90			%97		

Tablo 3: Gönüllü #2 için göz hareketi sınıflandırma sonuçları ve sınıflandırma başarıları

Göz Hareketi	Merkez-Sol-Merkez			Merkez-Sağ-Merkez			Hareketsiz		
Deneme Sırası	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Yanlış/Doğru Sınıflandırma	0/10	0/10	0/10	2/8	5/5	3/7	0/10	0/10	0/10
Sınıflandırma Başarısı	%100			%67			%100		

Tablo 4: Gönüllü #3 için göz hareketi sınıflandırma sonuçları ve sınıflandırma başarıları

Göz Hareketi	Merkez-Sol-Merkez			Merkez-Sağ-Merkez			Hareketsiz		
Deneme Sırası	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Yanlış/Doğru Sınıflandırma	0/10	0/10	0/10	3/7	5/5	4/6	2/8	0/10	1/9
Sınıflandırma Başarısı	%100			%69			%90		