

**EOG'NİN KODLANMASINA DAYANAN BİLGİSAYAR
TABANLI GÖZLE YAZI YAZMA SİSTEMİ**

**COMPUTER BASED
EYE-WRITING SYSTEM BY USING EOG**

Hesna Özbek Ülkütaş¹, Metin Yıldız¹

¹ Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Başkent Üniversitesi
ozbekulkutas@hotmail.com
myildiz@baskent.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmanın amacı daha önce geliştirilmiş EOG tabanlı gözle yazı yazma tekniklerine göre daha hızlı ve daha az hata ile yazı yazılmasını sağlayabilecek bir yöntem önermek ve bunun uygulamasının yapılabileceği bilgisayar tabanlı bir sistem geliştirmektir. Bu amaçla daha önce önerdiğimiz gözle kodlama yönteminin performansını belirlemeye dönük deneyler yapılmış, bunların sonuçlarını referans alınarak; 29 harf ve 3 komutun (boşluk, sil, oku) sadece 4 yönde, 2 farklı açı ve 4 farklı bekleme süresi ile kodlandığı yeni bir yöntem önerilmiştir. Yöntemin uygulanması için bilgisayar tabanlı bir EOG ölçüm ve anlamlandırma sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem ile yapılan denemeler sonucu; 180 harften oluşan bir metnin yazılmasının ilk denemesinde % 92,5'lik doğru kodlama oranı sağlanmışken dördüncü denemeden itibaren %100'lük doğru kodlama seviyesine ulaşılmıştır. Ulaşılan ortalama yazma hızı ise dakikada 16,8 kelime ile bu güne kadar EOG tabanlı sistemlerle ulaşılmış en yüksek seviyede ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler — EOG, Beyin Bilgisayar Arayüzü, EOG tabanlı gözle yazı yazma sistemleri

Abstract

The aim of this study is to suggest a faster method that would also have better accuracy rate in coding eye movements into characters compared to previously developed by EOG visual writing techniques and to develop a system of computer-based applications that would implement this new method. To this end, several experiments were utilized in order to determine the performance of the observed coding method we propose, with reference to these experiments results; a new method encoding 29 letters and 3 commands (spaces, erase, read) by utilizing only 4 directions with two different angles and four different waiting period is proposed. For implementing proposed new technique, a computer based EOG measurement and inference system is developed. The results of trials with this newly developed system indicate that while the accuracy rate of coding into right characters in the first trial of a text comprised of 180 letters is 92.5%, this accuracy rate of the coding reaches to 100% starting from the fourth trial of the technique. Average writing speed of 16.8 words per minute that is measured with this method is the highest rate that has been achieved among EOG-based systems.

Keywords — EOG, Brain Computer Interface, EOG-based eye typing systems

1. Giriş

Çevre ile iletişimini konuşarak ya da işaret dili ile sağlayamayan, Amyotrofik Lateral Skleroz (ALS) gibi sinir kas hastalıkları bulunan veya felçli kişilerin istek ve düşüncelerini çevreye aktarması için pek çok sistem önerilmiştir.

Bu sistemlerden bazıları beyin bilgisayar arayüzü (BBA) genel ismi ile anılmaktadır. Bu sistemler genel olarak; kişinin isteklerini yazıya dökebilmek için beyninden kaydedilen sinyallerle yazmak istediği kelimeye ait harfleri bir bilgisayar ekranından seçmesi mantığına dayanmaktadır [1]. Bu tür sistemlerin dezavantajı yazı yazma hızının dakikada 5-10 harf gibi çok yavaş bir seviyede olmasıdır [2].

Bu tür hastaların gözlerini kullanma kabiliyetlerini kaybetmediği bilgisinden yola çıkan bazı çalışmalarda ise; kişinin yazmak istediği kelimeye ait karakterleri göz hareketleri ile seçmesine dayanan benzer bir yöntem kullanılmaktadır. Bu sistemler genellikle bir bilgisayar ekranında görülen klavye üzerinde yazılmak istenen harfin üzerine odaklanılmasına ve bu odaklanmanın ya bir kamera ya da gözlerin ürettiği Elektrokülogram (EOG) sinyalleri vasıtasıyla belirlenip, yazılması ilkesine dayanmaktadır [1,2,3,4].

Çeşitli yönlerdeki bakışların kombinasyonları ile karakterlerin kodlandığı gözle yazı yazma sistemleri, bilgisayar ekranında takip edilecek bir sanal klavyeye ihtiyaç duymamaları bakımından öncelilere göre bir üstünlüğe sahiptir. Bu yöntem ile dakikada yazılabilen karakter sayısında önceki sistemlere göre artışlar sağlanmıştır. Buna karşın, karakter kodlaması ile ilgili göz hareketlerinin öğrenilmesi zorluğu, bir karakterin çok sayıda göz hareketi ile kodlanması gibi dezavantajları mevcuttur [5].

Diğer bir yöntemde ise klavye kullanmak yerine karakterlerin gözle çizilmesi gündeme gelmiş fakat bu da istenen artış sağlamamıştır [6]. Bir karakteri yazmak için çok sayıda göz hareketi yapılması gerektiğinden sistemin çalışma hızı düşüktür.

Bu çalışmada, daha önceki bir çalışmamızda önerdiğimiz harfleri gözle kodlama yönteminin test edilmesi sırasında elde ettiğimiz sonuçlara dayanarak önerdiğimiz yeni gözle kodlama yöntemi tanıtılmış ve bu yöntemde göre çalışan EOG tabanlı gerçek zamanlı gözle yazı yazma sistemi anlatılmıştır.

Tıbbi Cihaz Tasarımı 4

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

2. Materyal Yöntem

EOG tabanlı bir gözle yazı yazma yönteminin pratik uygulanması sonucunda ortaya çıkabilecek aksaklıkların görülmesi için; öncelikle, Yıldız M, 2011 [7] tarafından önerilmiş olan EOG tabanlı gözle yazı yazma yönteminin performans testleri yapılmış yöntemin yazma hızını ve doğruluğunu etkileyen faktörler tespit edilmiştir. Buradan elde edilen bilgiler ışığında bu çalışmaya özel yeni bir yöntem önerilmiştir.

Yıldız M.'nin çalışmasında önerilen yöntemde, harf, rakam ve bazı noktalama işaretleri sağ, sol, yukarı, aşağı ve bunların arasındaki çapraz yönlere bakışlar ve bunların ikili kombinasyonlarının arka arkaya tekrarı ile kodlanarak yazıya dönüştürülmektedir. İki harfin birbirinden ayrılması bir yöndeki bakıştan sonra tekrar karşıya bakılması sonucu oluşan sinyaller ile gerçekleştirilmektedir. İki hareketten oluşan bir karakter kodlanırken; ilk bakıştan sonra, karakterler arasındaki ayrımı sağlamak için belirlenen karşıya bakma süresinden daha kısa bir süre karşıya bakılıp ikinci yöndeki bakışın yapılması gerekmektedir.

10 deneğin 8 farklı yöndeki bakışı ve birkaç ikili kombinasyonunu 10 kez tekrarı şeklinde gerçekleştirilen deney sırasında, BIOPAC MP35 fizyolojik veri toplama sistemi kullanılmış, yatay ve düşey yöndeki EOG sinyalleri kaydedilmiştir. Kayıtlar için Başkent Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulundan (Karar Sayısı:12/113) gerekli izin alınmış ve deney hakkında bilgilendirilmiş gönüllü kişilerle çalışılmıştır. Daha önceki çalışmada kullanılan yazılım ile yapılan harflerin tespiti ve yazdırılması çalışması sırasında;

1. Tek yöne bakışla kodlanan karakterlerin çok daha kısa sürede yazılabildiği,
2. Sağ yöne bakışın diğer yönlere göre daha çabuk yapılabildiği,
3. Karakterlerin onuncu denemede ilk denemeye göre %30-%50 daha hızlı yazılabildiği,
4. Çapraz yönlerdeki bakışın en yavaş yapılabildiği, yazılan karakterin tanıma yüzdesinin en düşük olduğu
5. 2 yönde bakışla kodlanan karakterlerin, tek yönde bakışla kodlananlardan yaklaşık 2 kat daha uzun sürede yapılabildiği, yine bu karakterlerin tanıma yüzdesinin düşük olduğu görülmüştür.

Yukarıda anlatılan deney sonuçları ve bir yöndeki farklı açılarla (10°,20°,30°,40°) yapılacak bakışlar sırasındaki oluşan EOG örneklerinin genliklerinin birbirinden ayrılabilceğini, gösteren R.Barea ark, 2012 çalışması dikkate alınarak, 29 harf ve 3 komutun (boşluk, sil, oku) sadece 4 yönde, 2 farklı açıyla ve 4 farklı bekleme süresi ile kodlandığı yeni bir yöntem önerilmiştir [8]. İnsanın sesli uyarılara tepki süresinin 200 ms civarında olduğu bilgisinden yola çıkarak, bir yöndeki bakışın farklı bekleme sürelerinin farklı harflere atanması, geliştirilen bilgisayar tabanlı sistemle harflerin seslendirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Harflerin yönlere dağıtımı (Tablo 1) yazma hızının artırabilmek için Tükçe'de en çok kullanılan harflerin en az süreli beklemeyle kodlanan bakış yönlerine yerleştirilmesi şeklinde yapılmıştır [9].

Önerilen yeni gözle yazı yazma yönteminin uygulanması için bilgisayar tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem donanım ve yazılım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Donanım kısmı yatay ve düşey göz hareketleri sırasında ortaya çıkan EOG sinyallerini alıp işleyerek

bilgisayara atarken, yazılım kısmı bu sinyalleri anlamlandırıp seslendiren ve yazıya çeviren programları içermektedir.

2.1. Geliştirilen Donanım

Tasarlanan sistem, yatay ve düşey göz hareketlerini algılayacak şekilde iki kanalıdır. İki adet 9V'luk pille beslenen devrede, EOG sinyallerinin alınması için küçük çaplı tek kullanımlık gümüş/gümüş klorür (Ag/AgCl) elektrotlar kullanılmıştır. Devrenin blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Harflerin yönlere dağıtımının gösterildiği tablo

Yön Mesafe	Bekleme-1 (400ms)	Bekleme-2 (800 ms)	Bekleme-3 (1200ms)	Bekleme-4 (1600 ms)
Sağ Yakın	A(11,8)	K(4,8)	O(2,5)	V(1,0)
Sağ Uzak	'BOŞLUK'	T(3,4)	G(1,3)	Ö(0,8)
Sol Yakın	E(9,1)	D(4,3)	Ü(2,0)	Ç(1,0)
Sol Uzak	R(7,1)	S(3,1)	'SİL'	
Yukarı Yakın	İ(8,5)	M(3,7)	Ş(1,7)	F(0,4)
Yukarı Uzak	L(6,4)	U(3,1)	Ç(1,1)	F(0,4)
Aşağı Yakın	N(7,3)	Y(3,5)	Z(1,5)	C(0,9)
Aşağı Uzak	I(5,0)	B(2,6)	H(1,1)	J(0,1)



Şekil 1: Donanım blok diyagramı

Donanım kısmında ilk olarak toprak sürücü devresi bulunmaktadır. Bu sayede vücut üzerindeki ortak mod gerilimi hastaya geri beslenerek genliği düşürülürken, hasta üzerine uygulanacak olası kaçak akımlar çok yüksek direnç üzerinden geçtiğinden çarpımlara karşı hasta güvenliğinin de sağlanmasına yardımcı olmuştur. İkinci kısımda ise elektrotların vücutla teması sonucu ortaya çıkan yarı hücre potansiyelini minimize etmek için çok yüksek Ortak Mod Sinyalini Bastırma Oranı (CMRR) (130dB) oranına sahip bir enstrümantasyon yükseltici (AD624) kullanılmıştır. EOG sinyalleri 0,05 Hz ile 30 Hz frekans bileşenlerine sahip olduğundan; ikinci derece bant geçiren Butterworth filtre tasarlanmıştır. Enstrümantasyon yükseltici çıkışında 100mV'lar mertebesinde olan EOG sinyallerinin voltlar mertebesine çıkarılması için x15'lik kazanç sağlayan başka bir

Tıbbi Cihaz Tasarımı 4

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

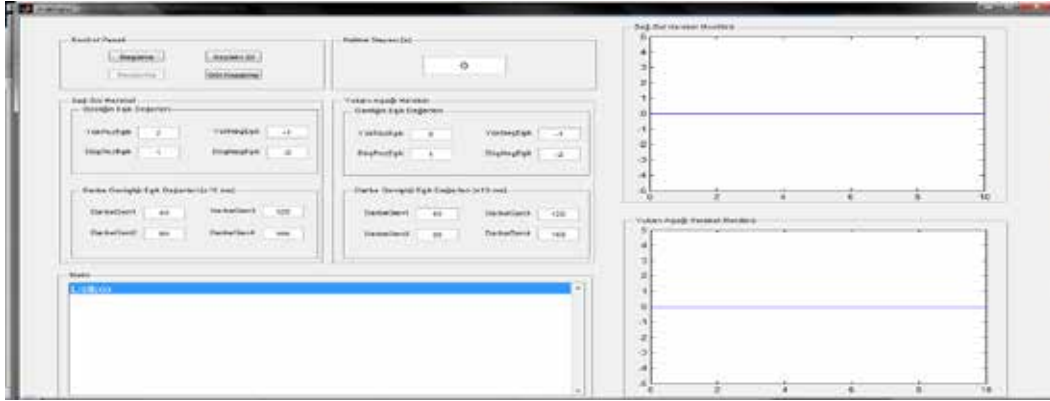
yükselteç kullanılmıştır. Bilgisayarda oluşabilecek herhangi bir arıza durumunda hasta üzerinde oluşabilecek kaçak akımları engellemek ve kullanıcıyı elektriksel olarak yüksek gerilim içeren kısımlardan yalıtım için optik aktarıcılar kullanılmıştır. Donanım kısmından alınan sinyaller bilgisayara aktarılırken National Instruments firmasının üretmiş olduğu USB-NI6009 model veri toplama kartı kullanılmıştır.

2.2. Yazılım Kısmı

Yazılım kısmı 3 ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar veri toplama (DAQ) kartının programlanması, grafik kullanıcı

ve düşey EOG sinyalleri gösterilerek, yukarıda sayılan ayarların uygun şekilde yapılmasına yardımcı olunması amaçlanmıştır. Kullanıcılara sunulacak son kullanıcı ekranında bu pencereler gösterilmeyebilir. Bu ayarlamaları kas hastalıkları bulunan kişiler yapamayacağından, bu aşamalarda ailesinden yardım alması gerekecektir.

Harflerin tanınması için geliştirilen algoritma ile; göz hareketleriyle oluşan sinyalin pozitif yönde mi yoksa negatif yönde mi genlik ürettiğine bakılır. İlgili eşik değerini geçilmesi ile o yön için atanan harfler sırasıyla belirlenen bekleme



Şekil 2: Geliştirilen grafik kullanıcı arayüzü

arayüzü alınan EOG verilerinin anlamlandırılıp karakterlere çevrilmesi ve seslendirilip ekrana yazılmasını sağlayan bölümlerdir. Geliştirilen programın kullanıcı arayüzü Şekil 2'de gösterilmiştir.

Program ilk çalıştırıldığında veri toplama kartının ayarlamaları, sesle kullanıcıyı destekleme kısmı için alfabedeki tüm harflerin ".wav" uzantısı olacak şekilde değişkenlere ataması, ekranda gösterilecek nesnelere ilgili ayarlamalar yapılmaktadır.

Kontrol panelinde yer alan kısımda bulunan butonlardan başlatma butonu basıldığında yüze takılan elektrotlar vasıtasıyla gözden sinyaller alınmaya başlanır. Durdurma butonuna basıldığında ise sinyal alma işlemi sonlandırılmaktadır. Hepsini sil butonu, metin yazılması için ayrılan pencereye yazılan harflerin tümünü silme işlemi yapmaktadır. Bu paneldeki son tuş olan GUI kapatma tuşu ise GUI arayüz ekranını kapatmaktadır.

Yukarı-Aşağı Hareket ve Sağ-Sol Hareket kutucukları içerisindeki Genliğin Eşik Değerleri panelleri, yatay ve düşey göz hareketleri anlamlandırılırken kısa mesafeli veya uzun mesafeli bakışların ayırt edilmesi sırasında kullanılacak eşik değerlerinin kullanıcı tarafından girilmesi için sisteme eklenmiştir. Böylelikle farklı miktarda EOG genliği üreten hastalar için sınır değerler seçimlik hale getirilmiştir.

Darbe genişliği eşik değerleri panelinde yer alan DarbeGen 1, DarbeGen 2, DarbeGen 3 ve DarbeGen 4 ise bir yöndeki bakıştan sonra beklemeyle kodlanacak karakterlerin ayrılmasının sağlandığı kısımdır. Kullanıcının başlangıçta harflerin yerini tam öğrenememesinden yazma işlemi yavaş yapacağı, fakat zaman geçtikçe kullanıcının göz hareketleri hızlanacağından sisteme bu darbe genişliğini değiştirebilme opsiyonu eklenmiştir. Bu opsiyon darbe genişliklerinin kullanıcıdan kullanıcıya değişmesi durumunda da işe yarayabilecektir. Panel üzerinde Sağ-Sol Hareket Monitörü ve Yukarı-Aşağı Hareket Monitörü pencerelerinde alınan yatay

süreleri kadar aralıklarla seslendirilmektedir. Kullanıcı yazmak istediği harfi duyar duymaz karşıya doğru bakarak ilgili harfin yazılması ile ilgili onayı verebilmektedir.

3. Deney Sonuçları

Çevresiyle iletişim kurmasını engelleyecek kas hastalıklarına sahip kişilerin en temel ihtiyaçlarını karşılanacağına düşündüğümüz kelimeler seçilerek denemeler yapılmıştır. Alınan etik kurul izni ticari cihazla kayıt yapılacağını belirttiği için bu aşamada yapılan deneyler yazarlardan biri tarafından gerçekleştirilmiştir. Bunun için seçilen kelimeler; acıktım, susadım, tuvaletim var, merhaba, günaydın, iyi geceler, nasılsın, görüşürüz, ışığı aç, ışığı kapat, nerede, üşüyorum, çok sıcak ve ilaçlarımı ver'dir. Bu kelimeler beşer tekrarlı olarak gözlerle kodlanarak geliştirilen sistemle yazıya çevrilmiştir. Bu denemelerden birinci ve beşincinin hızları ve doğru tanınma yüzdeleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tek kişi üzerinde yapılan tüm deney sonuçlarına göre; bir karakterleri en hızlı yazılması beşinci denemelerde gerçekleşmiştir. Yazılan 14 kelime, sonuna yazma süresinin belirlenmesi için konulan boşluk karakterleri dahil 180 karakterden oluşmaktadır. Bu sonuçlara göre saniyede; $128,16/180 = 0,712$ sn/karakter yazılabildiği, dakikada yazabildiği karakter sayısının $60/0,712 = 84,2$ karakter/dakika olduğu ve sonuç olarak yazma hızının, $84,2/5 = 16,8$ kelime/dakika olduğu görülmüştür. Bu tabloya göre; tüm kelimeler için deneme sayısı arttıkça yazma hızının arttığı, doğru kodlama oranının % 100'e ulaştığı görülmektedir.

4. Sonuç ve Yorum

Daha önce geliştirilmiş EOG tabanlı sistemlerin en hızlısı olan Majaranta ve ark. 2002 çalışmalarındaki [3,10] yazma hızı dakikada 10 kelime/dk'dır. Bu çalışmada 14 kelime ve 180

Tıbbi Cihaz Tasarımı 4

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

karakterle yapılan denemeler sonucunda ulaşılan yazma hızı ortalama 16,8 kelime/dakika olarak tespit edilmiştir. Yazma hızının 5 tekrar sonunda %20 civarında arttığı dikkate alınır, tekrar sayısı artıp kodlama yöntemi daha iyi öğrenildiğinde bu hızın daha da artacağı öngörülebilir.

Geliştirilen yöntem literatüre göre önemli yenilikler içermektedir. Tüm karakterlerin sadece 4 yöndeki bakışla kodlanıyor olması, karakterlerin tanınmasını; EOG'nin basit bir eşik değeri geçmesinin kontrolü ile tanınabilir hale getirmiştir.

Tablo 2: Birinci ve beşincinin denemelerdeki yazma hızları ve karakterlerin doğru tanınma yüzdeleri

Kelime	Birinci Deneme Süresi (sn)	Birinci Denemede Doğru Tanınma Yüzdesi	Beşinci Deneme Süresi (sn)	Beşinci Denemede Doğru Tanınma Yüzdesi
susadım	6,8	%86	6,5	%100
acıktım	9,1	%86	6,7	%100
tuvaletim var	14,1	%85	13,2	%100
merhaba	8,3	%86	7,3	%100
günaydın	9,0	%88	8,9	%100
iyi geceler	11,7	%82	11,0	%100
nasılsın	8,1	%88	7,7	%100
görüştürüz	11,1	%89	10,2	%100
ışığı aç	9,4	%88	7,9	%100
ışığı kapat	12,4	%82	11,3	%100
nerede	6,7	%84	4,8	%100
üşüyorum	9,8	%88	9,2	%100
çok sıcak	10,4	%89	9,9	%100
ilaçlarımı ver	16,5	%86	15,4	%100

Önerilen yöntemle, Türkçedeki kullanım yüzdeleri en yüksek 8 karakter (toplamda kullanım yüzdesi %50) sadece 0,4-0,5 saniyede kodlanabilir duruma gelmiştir. Literatürde ilk defa olarak kullanılan, karakterlerin kodlanmasını seslendirerek doğru kodlamayı destekleme olanağı sayesinde, daha uzun süreli beklemeyle kodlanan karakterlerin de kolayca kodlanabilir hale getirilmesi sağlanmıştır. Bu durum hatalı yazma riskini azalttığı gibi hatalı yazımın hemen farkına varılıp, sisteme eklenen "son yazılanı sil" bakışı ile kolayca silinebilmesini sağlanmıştır.

Önerilen sistemin kullanımı için önce harflerin hangi yön ve bekleme süresi ile seçileceğinin yani kodlanmasının ezberlenmesi gerekmektedir. Bu zaman alacak ve sistemin kullanımını ilk başta zorlayacak bir durumdur. Fakat yapılan denemeler harflerin yeri ezberlendikçe bu dezavantajın ortadan kalkabileceğini, yöntemin yazma hızının önceki sistemlere göre %50 daha fazla olması sebebi ile getirdiği yüke katlanılabileceğini göstermiştir. Sistemi kullanmanın bir diğer zorluğu ise yüze takılan elektrotların kullanıcıyı rahatsız etmesidir. Geliştirilen yöntem kameralı göz takip sistemleri ile uygulamaya da müsait olduğundan bundan sonraki

çalışmalarda, yüze takılan elektrotların kullanıcıyı rahatsız etmesi engellenebilir.

Geliştirilen yöntem çok farklı dillere kolayca adapte edilebilir. Alfabesinde 29'dan çok harf olan dillerde ise sistemdeki mevcut 4 bekleme süresine yeni bekleme süreleri eklenerek, biraz daha yavaş da olsa sistemin kullanımı mümkün olabilecektir.

Çalışma kapsamında geliştirilen gözle yazı yazma sistemi; çevresi ile iletişim kurma olanağı olmayan kişilerin yaşam kalitesinin artırılmasına, birikimlerini gelecek kuşaklara aktarmalarını sağlamaya ve aileleri ile kurabilecekleri iletişim ile bir nebze olsun mutlu olmalarına yardımcı olabilecektir.

5. Kaynakça

- [1] Wolpach J.R., Birbaumer N., Heetderks W. J. ve ark. "Brain-Computer Interface Technology: A Review of the First International Meeting", IEEE Tran. Rehabilitation Eng., Vol. 8, No. 2, 2000, p164-173.
- [2] Zhang Jian , Eye-writing Keyboard and Eye-writing Mouse, National Central University 1995.
- [3] Majaranta, P. ve RAIHA, K. J., "Twenty years of eye typing: systems and design issues" Proc. of Eye Tracking Research and Applications, 2002.
- [4] Uşaklı A.B., Gürkan S., Aloise F., Vecchiato G., Babailoni F., "On the Use of Electrooculogram for Efficient Human Computer Interfaces," Hindawi Publishing Corporation Computational Intelligence and Neuroscience, 2009.
- [5] Tsai J. Z., Lee C.K., Wu C.M., Wu J.J. Kao K.P., A feasibility of an eye writing system based on electro-oculography, Journal Of A Medical And Biologicak Engineering , vol. 28(1), 2007, p 39-46.
- [6] Kristensson P. O., Vartanen K., "The Potential of Dwell-Free Eye-Typing for Fast Assistive Gaze Communication" ETRA 2012, Santa Barbara, CA, 28-30 March , 2012.
- [7] Yıldız M., EOG Tabanlı Yazı Yazma Sistemleri İçin Yeni Bir Kodlama Tekniği, SIU, 2011
- [8] Barea R., Boquete L., Ortega S., López E., Rodríguez-Ascariz J.M., "EOG-based eye movements codification for human computer interaction "Electronics Department, University of Alcalá, 28871 Alcalá de Henares, Madrid, Spain.
- [9] Diri B., Karşılığ M. Y. , "Türk Dilinin Biçimbilim Yapısından Yararlanarak Türkçe Metinlerin Farklı İmgelere Ayrılarak Kodlanması ve Sıkıştırılması", Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi - Bilgisayar Mühendisliği.
- [10] Majaranta P., Text Entry by Eye Gaze, Dissertations in Interactive Technology, Faculty of Information Sciences of the University of Tampere, 2009.