



Web Kamerasıyla Bakış Kontrollü Türkçe Sanal Klavye Uygulaması

Gaze-Controlled Turkish Virtual Keyboard Application with Webcam

Metin YILDIZ

Biyomedikal Mühendisliği
Başkent Üniversitesi

Bağlıca Kampüsü Eskişehir Yolu 20. km (Ankara, Türkiye)
myildiz@baskent.edu.tr

Muhammet YORULMAZ

Endüstri Mühendisliği
Başkent Üniversitesi

Bağlıca Kampüsü Eskişehir Yolu 20. km (Ankara, Türkiye)
muhammed@baskent.edu.tr

Özetçe—Bu çalışmada, ALS gibi bazı hastalıklara sahip engellilerin iletişim ihtiyaçlarını gözleri ile yazı yazmalarını sağlayarak çözmeyi hedefleyen, kullanımı kolay ve ucuz bir sistem tanıtılmış, sistemin performansını ölçmeye dönük ilk testlerin sonuçları paylaşılmıştır. Sistem, plastik gözlük çerçevesi ile gözün tam karşısına sabitlenen web kamerası ve bir bilgisayardan oluşmaktadır. Bu çalışma için geliştirilen sanal klavyede; bakıldığı hatasız olarak tespit edilebilen 22 noktaya yerleştirilen karakterlerden, Türkçe’de kullanım sıklığı toplamda %85 olan 16 tanesi tek göz sıçraması, kalanlar ise tek göz sıçraması ve bir süre bekleyerek ayırt edilebilmektedir. Kameranın kaydettiği görüntü üzerindeki iris dairesi, Hough transformuna göre bulunup, gözün merkez koordinatlarının konumu makine öğrenmesi yöntemlerinden k-en yakın komşuluk algoritması kullanılarak sınıflandırılarak yazılmak istenen karakter belirlenmektedir. Bakılan noktadaki harflerin seçimi için yazılım tarafından sesli ve renkli olarak vurgulanan harf, gözle ekranın ortasındaki yazım alanına taşınmaktadır. İlk denemeler sonucunda geliştirilen sistemin göz ile dakikada ortalama 6,63 kelimenin (yaklaşık 33 harf), %0,86 hata oranı ile yazılmasına imkân verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler — web kamerası; insan bilgisayar etkileşimi; bakış ile kontrol.

Abstract— In this study, an easy-to-use and inexpensive system aimed at solving the communication needs of people with disabilities such as ALS by writing with their eyes was introduced. The performance of the system are measured by writing speed (word per minutes) and error rate. The system consists of a webcam that fixed in front of the eye with a plastic eyeglass, and a computer. On the keyboard proposed in this study, the characters to be typed are placed at 22 discrete points which can be detected without error. 16 characters which are most used in Turkish (total %85 usage rate), can be selected with a single gaze. Other characters can be selected with gazing these points with a dwell time. The iris circle on the image recorded by the camera is found according to the Hough transform and the position of the center coordinates of the eye is classified by using the k-nearest neighbor algorithm from the machine learning methods and the character

to be written is determined. In order to select the letters at the gaze points, the letter that is highlighted by the software in voice and color is moved to the writing area in the middle of the screen by eye. As a result of the first experiments, it has been observed that the system developed allows the average of 6.63 words per minute (approximately 33 letters) to be written with an error rate of 0.86%.

Keywords — webcam; human computer interaction; gaze-control.

I. GİRİŞ

İletişim için konuşma, işaret dili veya yazı yazmayı kullanamayacak durumdaki engellilerin yaşamlarını kolaylaştırmak ve iletişimlerini sağlamak için yapılan çalışmalar son yıllarda artmıştır. Bu çalışmalar içinde, insan bilgisayar etkileşim aracı olarak gözlerin kullanımı öne çıkmaktadır. Literatürde, gözlerle tekerlekli sandalye kullanımı [1], hasta yatağının hareket ettirilmesi [2] ve ev otomasyon sistemi kullanımına ilişkin [3] çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır. Gözün yazı yazmak amacıyla kullanımı da yaygın kullanım alanlarından birisidir [4][5][6][7][8]. Alandaki çalışmalarda, göz hareketlerini algılamak için elektrookülografi (EOG) veya kamera tabanlı sistemler kullanılmaktadır. Bu tür yazı yazma sistemlerinde genellikle, göz ile sanal klavye üzerindeki tuşların seçilmesi şeklinde yazı yazma gerçekleşir. Harflerin seçimi için ise bazen harfe bakıp bekleme, bazen göz kırpmaya kullanılmaktadır [9]. EOG tabanlı göz izleme sistemleri sanal klavyede görülen harflerin doğrudan seçilmesi zordur. Usaklı ve ark. sanal klavye üzerinde imleci birbiri peşi sıra bakışlar ile istenilen konuma taşıyarak bu sorunu çözmeye çalışmışlardır. Ancak bu durumda bir harfi yazabilmek için çok sayıda göz hareketi yapılması gerektiğinden yazma hızı EEG tabanlı yazı yazma sistemleri gibi çok yavaş olmuştur [10]. Buna alternatif olarak, harflerin birkaç farklı yöndeki bakışın kombinasyonlarından oluşturulması denenmiş, en fazla 15 kelime/dakikalık yazma hızlarına ulaşmıştır [11]. Ancak, EOG tabanlı sistemlerin hastaya temas eden elektrotlar kullanılması ve donanımlarının nispeten karmaşık olması gibi dezavantajları sebebi ile kamera tabanlı sistemler daha yaygın kullanılmaya

başlanmıştır. Literatürde, pupil kornea yansımalarına dayanan infrared kamera tabanlı profesyonel göz izleme sistemleri kullanılan (Tobii, Eyetribe vs..) çeşitli gözle yazma yöntemleri önerilmiştir [12][13]. Bu tür sistemlerin kullanıldığı çalışmalarda 2-3 kelime/dakikalık (9,30 harf/dakika ve 11,39 harf/dakika) gözle yazma hızlarına ulaşılmıştır. Taranan çalışmalarda en yüksek hız 19,28 kelime/dakika olarak tespit edilmiştir [14]. Herkesin kolaylıkla ulaşabildiği web kamerası kullanılan göz takip sistemleri kullanılan gözle yazma sistemlerine olan ilgi son yıllarda artmıştır. Ancak web kamerası kullanılan göz izleme sistemlerinde baş bir aparatla sabitlenmediğinde gözün baktığı konum 4-7 derece veya 5-8 cm (ekrana 50-60 cm mesafeden) hata ile tespit edilebilmektedir [15]. Bu durum ekrandaki sanal klavye üzerine normal bir klavyedeki tuşların tamamının yerleştirilip isabetli bir şekilde seçilmesine imkân vermemektedir. Hansen ve ark. 2002 ekran üzerine 10 ayrı nokta yerleştirilen giriş noktalarına altıya kadar harf yerleştirerek kademeli olarak ilgili noktadaki harfleri gözlerini ilgili noktada bekleterek seçim yaptıkları bir sanal klavye geliştirmiştir [4]. Saraswati ve ark. 2016 sanal cep telefonu klavyesi üzerinde seçilmek istenen harfe, sağ-sol, yukarı- aşağı bakışlarla tek tek hareket edildiği, harf seçiminin göz kırpmaları ile gerçekleştirildiği bir klavyeyi önermişlerdir [16]. Al-Kassim and Memon, 2017 ise aynı işi tam bir bilgisayar sanal klavyesi ile yapmayı denemiştir [8]. Bu sistemlerden en hızlısı ile dahi dakikada 20 harf (5 kelime) yazılabilmektedir. Gözün 10-100 ms de bir sıçrama [17] yapabildiği dikkate alındığında ulaşılabilen yazma hızları gözün potansiyelinin çok gerisindedir.

Bu çalışmada, gözle mümkün olduğunca hızlı ve hatasız yazı yazılmasını sağlayacak şekilde tasarlanmış, web kamerası tabanlı yeni bir yazı yazma sistemi ve Türkçe sanal klavye tanıtılmıştır. Sistem ile ulaşılabilen gözle yazı yazma hızı ve doğru kodlama oranlarının tespit edildiği ilk test sonuçları verilmiştir.

II. MATERYAL VE METOD

A. Geliştirilen sistem ve kullanılan donanımlar

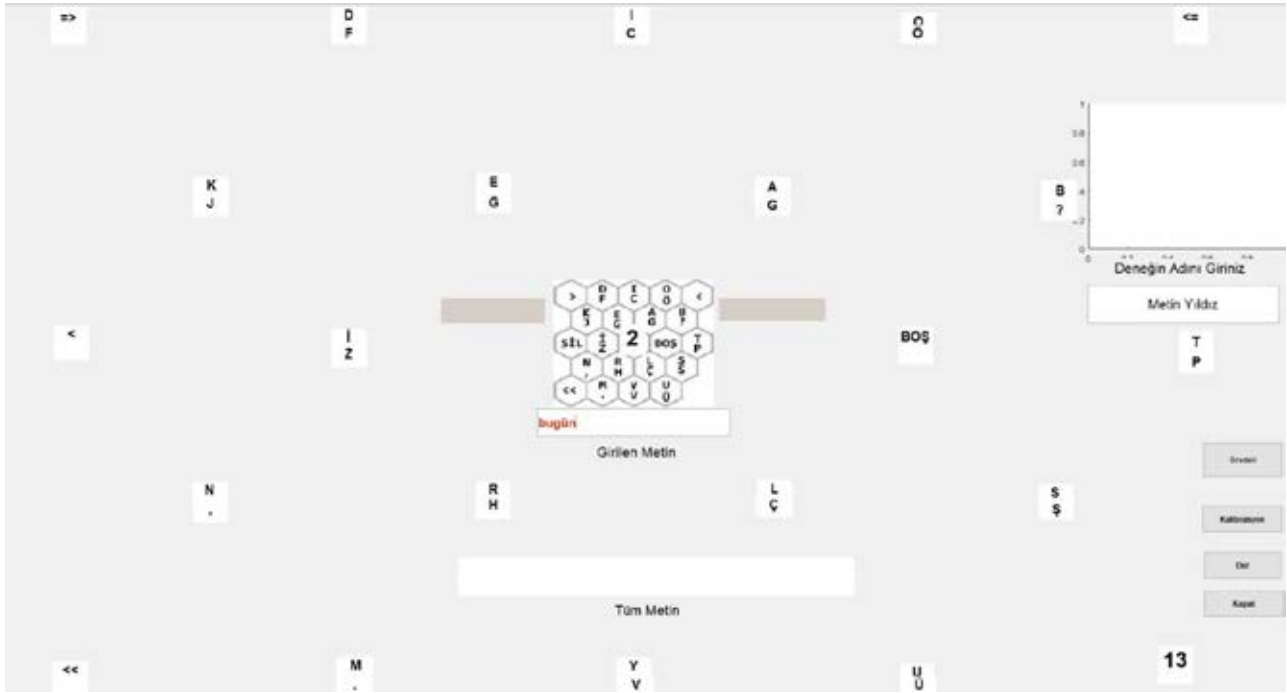
Şekil 1 de bu çalışma için geliştirilen web kamerası tabanlı gözle yazı yazma sisteminin genel görünümü verilmiştir. Sistem temel olarak, web kamerası ile takip edilen gözün, bu çalışma için geliştirilen özel bir klavye üzerinde nereye baktığının makine öğrenmesine dayanan bir yöntemle tespitini yaparak, gözle yazı yazmayı sağlamaktadır. Çalışmada; en çok 25 fps hızla görüntü alabilen, 320x240, 640x480 gibi seçilebilen farklı çözünürlüklerde video kaydı yapabilen sıradan bir web kamerası (Bewel-BC91) kullanılmıştır. Kamera Şekil 1 de görüldüğü gibi plastik bir gözlük çerçevesine monte edilen bir mekanizma ile gözden yaklaşık 10 cm uzaklığa sabitlenmiştir. USB girişinden bilgisayara bağlanan kamera MATLAB yazılımının "Image Acquisition" araç kutusu vasıtası ile saniyede 10 kare ve 320x240 çözünürlükte video alacak şekilde programlanmıştır. Çalışmalar sırasında, 8GB RAM kapasiteli, Intel Core i3 (3.3GHz) işlemcili, 22 inç (1920x1080) bir monitöre sahip, Windows 2010 işletim sistemi ile çalışan bir bilgisayar kullanılmıştır.



Şekil 1 Geliştirilen sistem

B. Geliştirilen sanal klavye ve yazılımda harflerin kodlanması

Literatürdeki web kamerası ile gözün baktığı noktanın 60 cm mesafeden 4-7 derece (5-8 cm) hata ile tespit edilebildiği bilgisi dikkate alınarak, kullanılan 22 inç (42cmx24cm) boyutlarındaki ekran üzerine 8 cm aralıklarla en fazla 25 ayrı nokta yerleştirilebilir. Şekil 2 de gösterilen ve bu çalışmada önerilen Türkçe sanal klavyede; ekranın tam merkezinde yazılan karakterleri gösterme ve ileride kelime tamamlama özelliği ile önerilecek en uygun 2 kelimenin gösterilmesi için 3X4cm lik bir çerçeve, ayrılmıştır. Ekranda 22 ayrı noktanın konumlandırılması mümkün olmuştur. Türkçe alfabede 29 karakter bulunduğundan ayrı noktaların sayısı karakterlerin tümü ve ek işlemler (noktalama işaretleri, boşluk, karakter silme vs.) için temsile yeterli değildir. Ekrandaki ayrı bakış noktalarının çoğuna MATLAB GUI (Graphical User Interface) geliştirme aracı ile iki ayrı karakter yerleştirilerek karakter blokları oluşturulmuş ve sorunun üstesinden gelinmiştir. Harflerin kullanım sıklığı referans [18] alınarak Türkçe 'de en çok kullanılan karakterler öncelikle ekranın merkezine yakın bloklara daha sonra uzak bloklara olmak üzere bekleme yapılmadan kodlanabilecek konumlara, daha az kullanılanlar ise bloklarda ikinci sıraya yerleştirilmiştir. En çok kullanılan özel karakterlerden biri olan boşluk karakteri (Şekil 2 de BOŞ ismi ile gösterilmiştir) ekran merkezinin hemen sağına tek karakter olarak yerleştirilmiştir. Yazılan son karakteri silme işlevi (<) merkezin en soluna, tüm kelimeyi silme işlevi (<<) ise ekranın sol alt köşesindeki bakış noktasına yerleştirilmiştir. Kelime tamamlama özelliği ile önerilecek iki kelimedenden birini seçmek için sol (=>) ve sağ (<=) en üst köşelerdeki bakış noktaları ayrılmıştır. Önceki çalışmalar sırasında [19] hatalı tespit oranı en yüksek olan 13 kodlu noktaya bir karakter ya da işlev atanmamıştır. Ekranın merkezine kullanıcıya karakterlerin konumlarını hatırlatmak için geliştirilen sanal klavyenin minyatürüze edilmiş bir hali resim olarak yerleştirilmiştir. Çalışmanın başlatılıp bitirilmesi için denetim düğmeleri harici olarak eklenmiştir (Şekil-2).



Şekil 2 Geliştirilen Türkçe sanal klavye

Geliştirilen GUI ile ilişkilendirilmiş programın algoritması web kamerasının çalıştırılacağı çözünürlük (320x240), kare yakalama sayısı ve alınan görüntüdeki gözün bulunduğu bölge seçimlerinin yapıldığı ayarlama işlemleri başlamaktadır. Daha sonra sistemin kalibrasyonu aşamasında, kullanıcıdan sesli ve ışıklı yönlendirmeleri ile 3'er saniye aralıklarla ekran üzerinde giriş olarak kullanılacak tüm noktalara bakması istenmektedir. Kamera ile göz tespiti çalışmalarında genellikle şekil, görünüm ve özellik tabanlı yöntemler kullanılmaktadır [20][21]. Bu çalışmada, iris dairesinin merkezi kullanılmıştır. Geliştirilen yazılımda, dairesel bileşenleri belirlemede en etkin yaklaşımlardan biri olan Hough transformunu kullanan MATLAB yazılımının "imfindcircles" fonksiyonu (polarite="dark", rMin=25 ve rMax=75) kullanılmıştır. Fonksiyondan elde edilen gözün merkez koordinatları, eğitim kümesine kaydedilmektedir. Kalibrasyondan sonra göz merkez noktası koordinatlarının, eğitim kümesindeki sınıflara göre bakılan nokta tespit edilmektedir. Sistemin, bloktaki hangi harfin seçilmek istendiğini anlayabilmesi için kullanıcının o harfin, harf bloğunun yerleştirildiği bakış noktasına bakması gerekmektedir. Kullanıcının karakter bloğundaki hangi harfe baktığını anlayabilmesi için bakış sürdüğü müddetçe 300 ms de bir o bloktaki iki karakter dönüşümlü olarak Türkçe seslendirilmekte ve kırmızı yapılarak vurgulanmaktadır. Kullanıcı yazmak istediği harf vurgulandığı anda sanki bunu gözü ile ortadaki yazım alanına taşıyormuş gibi gözünü tekrar merkezdeki yazım alanına döndürür. Böylece karakter seçilmiş ve yazma alanına taşınmış olur.

C. Deney düzeneği ve prosedürü

Bu çalışmada; önerilen sanal klavye ve gözle yazı yazma sisteminin başarımını ölçmek için bir sağlıklı denek üzerinde ön testler yapılmıştır. Gözlüğü takan denek, Şekil 1'deki gibi bilgisayar ekranının tam ortasına gözü hizalanacak şekilde yüksekliği ayarlanabilir bir sandalyeye oturtulmuştur. Deney boyunca hareket etmemesi istenmiştir. Sistem performansını ölçmek için MacKenzie prosedürü takip edilmiştir [22]. Bu prosedüre göre deneyler sırasında kullanılacak sözcük kümesi oluşturulmuştur. Kümedeki sözcükler seçilirken, Türkçe dil varlığı (Corpus) içerisinde en çok kullanılan 100 sözcük içinde geçen [23] ve sistemin potansiyel kullanıcılarının engelli kişiler olacağı öngörüldüğünden bir ALS hastasının hazırladığı [24] sık kullanılan sözcükler tablosunun kesişimi ele alınmıştır. Buna göre; "doğru", "önce", "dur", "sonra", "yapma", "ekmek", "bugün", "şey", "var", "aynı", "haber", "fazla", "neden", "çıtır", "gitti", "sizle", "baş", "ilkin", "iste", "ılık", "duyma", "demli" sözcükleri testler için seçilmiştir. Seçilen 22 sözcük, 120 karakterden (98 harf ve 22 boşluk) oluşur, noktalama işaretleri içermez ve küçük harf ile girilmesi istenmiştir. Türkçe alfabedeki harflerin dil varlığındaki kullanım sıklıklarının [20] deney için seçilen sözcük grubunda da yaklaşık olarak yakalayabilmek için denenecek sözcük listesine en çok kullanılan 100 kelime dışında birkaç sözcük ilave edilmiş, bazı sözcüklerin çekim veya yapım eklerinde küçük değişiklikler yapılmıştır. Türkçe alfabede en sık kullanılan ilk 16 karakter klavyemizde tek bakışla kodlanmaktadır. Bunların kullanım sıklığı toplamı %85, geri kalanları %15'tir. Denenecek sözcüklerin harflerinde de aynı oran tutturulmuştur. Seçilen sözcüklerde Türkçe'de kullanım sıklığı en az olan 'j' harfi dışındaki her harfin en az bir kez geçmesine dikkat edilmiştir.

Geliştirilen sistemle gözle yazı yazmanın performansını ölçmek üzere; dakikada yazılabilen kelime sayısı (WPM- Words per Minute) ve hata oranı (ER-Error Rate) kullanılarak hesaplanmıştır [25][26]. Deneğe seçilen sözcük kümesinden rastgele seçilen sözcüğe ait harfleri önce ekranın ortasındaki minyatür klavyede bulup zihninde bu hareketleri bir kez tekrar etmesi istenmiştir. Daha sonra kodlama işlemine geçmesi istenmiştir. Karakteri yanlış yazdığını görse bile düzeltmeden, kendisine söylenen sözcüğü gözleri ile yazmaya devam etmesi istenmiş yazma süresi ölçülmüştür.

III. BULGULAR

Yazarlardan birinin seçilen 22 kelimeyi beşer kez yazması sırasında ölçülen performans sonuçları Tablo I'de verilmiştir. Buna göre deneğin her kelimeyi en yavaş yazdığı durumda sadece 2 karakteri (hata oranı %1,6) yanlış yazdığı ve 5,76 kelime/dakika hızla yazmayı başardığı görülmüştür.

Zamanla sistemin kullanımına alışan deneğin 22 kelimeyi en hızlı yazdığı durumda 7,51 kelime/dakikaya yazma hızına ulaştığı, bu durumda hatalı yazma oranında da bir artış olmadığı görülmüştür. Ortalama yazma hızı ise 6,63 kelime/dakika ölçülmüş olup hatalı yazma oranı %0,98 dolaylarında olup, yüz karakterde 1 karakterin bile altındadır.

TABLO I. PERFORMANS SONUÇLARI

Ölçüt	Maksimum	Minimum	Ortalama
WPM	7,51	5,76	6,63
ER	%1,6	%1,6	%0,98

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Web kamerası ile yapılan gözle yazı yazma çalışmalarında şimdiye kadar en fazla 5 kelime/dakika yazma hızlarına ulaşılmıştır. Bu çalışmada deneğimiz %1,6 bir hata ile 7,51 kelime/dakika yazma hızına ulaşmıştır. Geliştirilen sanal klavyeye aşinalık arttıktan sonra yazma hızında artış olduğu görülmüştür. Sisteme kelime tamamlama yazılımı eklendiğinde bu hızın 15 kelime/dakikalara çıkarak, profesyonel göz takip sistemi kullanılan gözle yazı yazma sistemlerinin performansına yaklaşacağı umulmaktadır.

Bundan sonraki çalışmalarda, sistem kelime tamamlama yazılımları ile desteklenerek, performans testleri daha büyük denek gruplarında yapılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] N. Wanluk, S. Visitsattapongse, A. Juhong, and C. Pintavirooj, "Smart wheelchair based on eye tracking," *BMEiCON 2016 - 9th Biomed. Eng. Int. Conf.*, pp. 1-4, 2017.
- [2] N. A. Atasoy, A. Çavuşoğlu, and F. Atasoy, "Real-Time motorized electrical hospital bed control with eye-gaze tracking," *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 24, no. 6, pp. 5162-5172, 2016.
- [3] E. Sümer, İ. B. Uslu, and M. Türker, "An eye-controlled wearable communication and control system for als patients : smarteyes," *Sigma J Eng Nat Sci*, vol. 8, no. 2, pp. 107-116, 2017.
- [4] D. W. Hansen, J. P. Hansen, M. Nielsen, A. S. Johansen, and M. B. Stegmann, "Eye Typing using Markov and Active Appearance Models," in *In Applications of computer vision*, 2002, pp. 132-136.

- [5] J. O. Wobbrock, J. Rubinstein, M. Sawyer, and A. T. Duchowski, "Gaze-based Creativity Not Typing but Writing: Eye-based Text Entry Using Letter-like Gestures," *3rd Conf. Commun. by Gaze Interact. - COGAIN 2007*, no. January 2007, pp. 1-4, 2007.
- [6] P. Majoranta, U.-K. Ahola, and O. Špakov, "Fast gaze typing with an adjustable dwell time," p. 357, 2009.
- [7] P. O. Kristensson and K. Vertanen, "The potential of dwell-free eye-typing for fast assistive gaze communication," in *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications - ETRA '12*, 2012, vol. 1, no. 212, p. 241.
- [8] Z. Al-kassim and Q. A. Memon, "Designing a low-cost eyeball tracking keyboard for paralyzed people," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 58, pp. 20-29, 2017.
- [9] P. Majoranta and A. Bulling, "Eye Tracking and Eye-Based Human-Computer Interaction BT - Advances in Physiological Computing," S. H. Fairclough and K. Gilleade, Eds. London: Springer London, 2014, pp. 39-65.
- [10] A. B. Usakli, S. Gurkan, F. Aloise, G. Vecchiato, and F. Babiloni, "On the use of electrooculogram for efficient human computer interfaces," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2010, 2010.
- [11] M. Yıldız and H. Ö. Ülkütaş, "A New PC-Based Text Entry System Based on EOG Coding," *Adv. Human-Computer Interact.*, vol. 2018, 2018.
- [12] H. Cecotti, "A Multimodal Gaze-Controlled Virtual Keyboard," vol. 46, no. 4, pp. 601-606, 2016.
- [13] Y. K. Meena, H. Cecotti, K. Wong-Lin, A. Dutta, and G. Prasad, "Toward Optimization of Gaze-Controlled Human-Computer Interaction: Application to Hindi Virtual Keyboard for Stroke Patients," *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 26, no. 4, pp. 911-922, 2018.
- [14] Y. Liu, B. S. Lee, and M. J. McKeown, "Robust Eye-Based Dwell-Free Typing," *Int. J. Hum. Comput. Interact.*, vol. 32, no. 9, pp. 682-694, 2016.
- [15] E. Skodras, V. G. Kanas, and N. Fakotakis, "On visual gaze tracking based on a single low cost camera," *Signal Process. Image Commun.*, vol. 36, pp. 29-42, 2015.
- [16] V. I. Saraswati, R. Sigit, and T. Harsono, "Eye gaze system to operate virtual keyboard," *Proc. - 2016 Int. Electron. Symp. IES 2016*, pp. 175-179, 2017.
- [17] A. T. Duchowski, *Eye Tracking Methodology*, Second. Springer London, 2007.
- [18] M. E. Dalkılıç and G. Dalkılıç, "On the Cryptographic Patterns and Frequencies in Turkish Language," in *Lecture Notes in Computer Science*, 2002, vol. 2457, no. October.
- [19] M. Yıldız and M. Yorulmaz, "Eye Gaze Location Detection Based On Iris Tracking with Web Camera," in *2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2018, pp. 1-4.
- [20] S. Cristina and K. P. Camilleri, "Unobtrusive and pervasive video-based eye-gaze tracking," *Image Vis. Comput.*, vol. 74, pp. 21-40, Jun. 2018.
- [21] D. W. Hansen and Q. Ji, "In the Eye of the Beholder: A Survey of Models for Eyes and Gaze," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 32, no. 3, pp. 478-500, 2010.
- [22] I. S. MacKenzie and R. W. Soukoreff, "Phrase sets for evaluating text entry techniques," p. 754, 2003.
- [23] Y. Aksan, M. Aksan, Ü. Mersinli, and U. U. Demirhan, *A Frequency Dictionary of Turkish Core Vocabulary for Learners*. London and New York: Routledge Taylor & Francis Group, 2016.
- [24] M. Arslan, "ALS hastası Mustafa Arslan Tarafından Düzenlenen İletişim kartı," 2019. [Online]. Available: <https://www.als.org.tr/yardimci-teknoloji-1>.
- [25] I. S. MacKenzie and K. Tanaka-Ishii, *Text Entry Systems Mobility, Accessibility, Universality*. 2007.
- [26] A. S. Arif and W. Stuerzlinger, "Analysis of text entry performance metrics," *TIC-STH'09 2009 IEEE Toronto Int. Conf. - Sci. Technol. Humanit.*, pp. 100-105, 2009.