

# Araç Sürücüleri İçin Silindirik Model Tabanlı Kafa Duruşu Kestirimi Cylindrical Model Based Head Pose Estimation for Drivers

Zeynep Yücel<sup>\* †</sup>, Roberto Valenti<sup>†</sup>, Nicu Sebe<sup>†</sup>

<sup>\*</sup> Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bilkent Üniversitesi, Ankara

<sup>†</sup> ISLA Laboratuvarı, Amsterdam Üniversitesi, Amsterdam

zeynep@ee.bilkent.edu.tr, rvalenti@science.uva.nl, n.sebe@uva.nl

## Özetçe

Hareket tanıma algoritmalarının sürüş güvenliği sistemlerine uygulaması henüz açık bir araştırma alanıdır. Sürüş güvenliği açısından, kafa hareketlerinin ayırt edilmesi diğer hareketlere kıyasla daha fazla bilgi sunar. Bu yüzden, biz de bu çalışmada, sürücünün kafa hareketlerini izlemek üzere silindirik model tabanlı bir kafa duruşu kestirimcisi geliştirdik. Deneyler göstermiştir ki, önerilen yöntem kafa duruşunu kayda değer bir kesinlikle saptayabilmektedir.

## Abstract

The application of action recognition algorithms onto driving safety systems is still an open area of research. In terms of driving safety, identification of head movements present more significant information in comparison to other actions of the driver. Therefore, in this study, we developed a cylindrical model based head pose estimator to track drivers' head movements. The experiments indicate that the proposed scheme presents significant accuracy in estimation of head pose.

## 1. Giriş ve İlgili Çalışmalar

İnsan bilgisayar arayüzlerinin yaygınlaşmasıyla kafa duruşu kestirimi de büyük ilgi görmeye başlamıştır. Sürüş güvenliği sistemleri, duruş kestirimcilerinin uygulama alanlarından biridir. Bu tarz bir sistemin sahip olması gereken özelliklerin başında sürüş rahatlığını bozmaması, özel donanıma gereksinim duymaması ve gerçek zamanlı olması gelir. Ayrıca görsel sistemlerde tekgözlü olma ve düşük çözünürlüklerde çalışabilme özellikleri de uygulama kolaylığı getirir. Bu şartları en iyi şekilde sağlayabilecek bir sistem tasarlamak amacıyla öncelikle kafa takibi ve duruş kestirimi alanında yapılmış çalışmalara değinmek istiyoruz.

Literatürde kafa duruşu kestirimine yönelik bildirilen yöntemler genel olarak iki farklı yaklaşıma dayanmaktadır. Bunlar Aktif Görünüm Modeli (AGM) ve Silindirik Kafa Modeli (SKM) yaklaşımlarıdır. AGM, yüz üzerinde belirlenen nirengi noktalarından faydalanarak izleme sağlarken, SKM kafayı 3 boyutlu katı bir silindirik modele oturtur. AGM model karmaşıklığı bakımından SKM'ye göre üstünlük sağlar, ancak büyük duruş değişikliklerine ve ilklendirme değişkenlerine karşı hassastır. Bu açıdan her iki yaklaşımın da getiri ve götürüleri vardır.

Burada kayda değer bazı başlıca çalışmalar sıralanabilir. Örneğin [8] ve [10] stereo kamera düzeniyle edinilmiş veri üzerinde 2 boyutlu (2B) öznitelik takibi ve 3 boyutlu (3B) model oturtması kullanarak kafa duruşunu kestirmekte ve takip sağlamaktadır. Hu vd. ise AGM ve SKM'yi yüz görüntü asimetrisi ve 3B kafa modelini birleştirerek biraraya getirmekte ve kabadan inceye (coarse to fine) bir kestirim yöntemi önermektedir [5]. Ba vd. kafa duruşu kestiriminin kesinliğini ve kafa takibinin doğruluğunu, bu iki problemi olasılıksal bir düzen içinde karışık durumlu parçacık süzgeci çerçevesinde bağlı problemler şeklinde ifade ederek geliştirmektedir [2]. Yazarlar bu yöntemi sonraki çalışmalarında dört farklı kameradan gelen verileri kaynaştırarak iletirmektedir [1].

Yukarıda sıraladığımız yöntemler genel kafa duruşu tesbiti ve izlemesine yönelik karma yöntemlerdir. Bunların yanı sıra pek çok sürücü izleme uygulaması da bildirilmiştir. Örneğin Zhu vd. sürücünün kafa hareketini 3B eliptik model yardımıyla kestirmekte ve yeniden ilklendirme aşamasında da ana bileşen ayrışımı kullanmaktadır [13]. Bu yöntem derinlik bilgisinin elde edilmesi için stereo kamera donanımına gerek duymaktadır. Ji vd. ise sürücü uyanıklığını tesbit etmek amacıyla kızılötesi aydınlatma yoluyla gözbebeklerini bulmayı ve bunlardan yola çıkarak elde edilmiş öznitelik uzayında yüz duruşunu hesaplamayı önermektedir [7]. Bunların yanısıra sürücü destek uygulamaları ve sürüş güvenliği için 3B modelleri geliştirmeye yönelik parçacık süzgeci, yapay görüntülere dayalı çoklu referanslama ve Kalman süzgeci tabanlı yöntemler de önerilmiştir [9], [3], [6]. Ancak yukarıda sıraladığımız yöntemlerin çoğu özel kurulum ve adanmış donanım gerektirmeleri bakımından tekgözlü düşük çözünürlüklü yöntemlere kıyasla daha kısıtlı kullanım imkanı sunmaktadır.

Biz de bu çalışmada güvenli sürüş uygulamalarına yönelik bir kafa takibi ve duruş kestirimi yöntemi öneriyoruz. Sung vd.'ne benzer şekilde SKM'nin özelliklerinden faydalanıp ilklendirme aşamasında AGM yerine [12]'de tanımlanmış göz konumu kestirimcisini kullanarak ilklendirme problemlerinin üstesinden gelmeyi hedefliyoruz [11]. Önerdiğimiz yöntem özel donanıma gerek duymayan SKM'ye dayalı düşük çözünürlükte çalışabilen tekgözlü çevrimiçi bir sistem olduğundan kullanım kolaylığı ve verim sağlamaktadır.

## 2. Yöntem Bilgisi

Bu bölümde, yukarıda sıralanan çalışmaların ışığında tasarlanan kafa izleme ve duruş kestirimi yöntemi açıklanmaktadır.

Öncelikle yöntemin genel adımları sıralanmakta, ardından da bu adımların ayrıntılarına değinilmektedir.

Önerdiğimiz yöntemde göre ilk adım olarak herhangi bir görsel dizgenin ilk çerçevesi  $F_0$  üzerinde Voila-Jones yöntemiyle yüz bölgesi  $A_0$  tesbit edilmektedir. Bu yüz bölgesi üzerinde Valenti vd.'nin yöntemiyle gözlerin konumu  $E_l$  ve  $E_r$  bulunmaktadır [12]. Ardından bu değerler kullanılarak bu çerçeveye ait duruş yöneyi  $\mathbf{p}^0$ 'ın ilkleme gerçekleştirilmektedir. İkleme sağlanan kafa modeli, Lukas Kanade optik akış yöntemiyle, sonraki çerçeveler üzerinde takip edilmekte ve bu  $F_i$  çerçevelerine ait yüz bölgeleri  $A_i$  ve duruş yöneyleri  $\mathbf{p}^i$  güncellenmektedir. Ardından, bulunan yöney, sürücünün yapabileceği olası faaliyetlerle ilişkilendirilmektedir.

## 2.1. Silindirik Kafa Modelinin Oluşturulması

Kafa modeli, antropometrik değerlerden faydalanarak tasarlanan katı (rigid) bir eliptik silindirden oluşmaktadır. Elipsin yarı çapları ve silindirin yüksekliği Gordon vd. tarafından belirtilen ölçüler yardımıyla saptanmaktadır [4].

Bu şekilde ölçüleri belirlenen modelin herhangi bir  $F_i$  çerçevesi üzerindeki duruşu,  $\mathbf{p}^i = [r_x^i, r_y^i, r_z^i, t_x^i, t_y^i, t_z^i]$  gibi bir yöneyle tanımlanmaktadır. Burada  $r_x^i, r_y^i$  ve  $r_z^i$  modelin referans çerçevesine göre dönme değişkenlerini,  $t_x^i, t_y^i, t_z^i$  ise öteleme değişkenlerini göstermektedir. Kafanın izlenmesine başlamadan önce, bu değişkenler uygun değerlere ilklendirilmelidir. Bu bölümde ilklendirme işleminin ayrıntıları ele alınmaktadır.

### 2.1.1. Dönme Parametrelerinin İlklendirilmesi

İlk çerçevede sürücünün kafasının cepheden gözlemlendiği varsayılırsa, Şekil 1'de verilen referans çerçevesine göre  $r_x^0$  ve  $r_y^0, 0$  ile ilklendirilebilir. Yuvarlama açısı,  $r_z^0$ , ise göz konumlarından faydalanarak ilklendirilmektedir.

Göz konumlarını bulmak içinse Valenti vd.'nin yöntemi kullanılmaktadır [12]. Buna göre,  $F_0$  çerçevesi üzerindeki göz konumları, eşyeğinlik eğrilerinin kıvrımından faydalanılarak bulunmaktadır. Eğri üzerindeki herhangi bir nokta için kestirilen merkez, bu merkeze ait yönelim ve doğrultu belirlenmektedir. Bu değerlerin [12]'de tanımlanan oylamada kullanılmasıyla elde edilen merkez haritasında, göz konumlarına karşılık gelen noktalarda yüksek değerler elde edilmektedir. Bu şekilde göz konumları  $E_l$  ve  $E_r$  tesbit edilmektedir. Bunları birleştiren doğrunun eğimi ise  $r_z^0$ 'a eşit kabul edilmektedir.

$$r_z^0 = \text{atan} \left( \frac{E_l(y) - E_r(y)}{E_l(x) - E_r(x)} \right).$$

### 2.1.2. Öteleme Parametrelerinin İlklendirilmesi

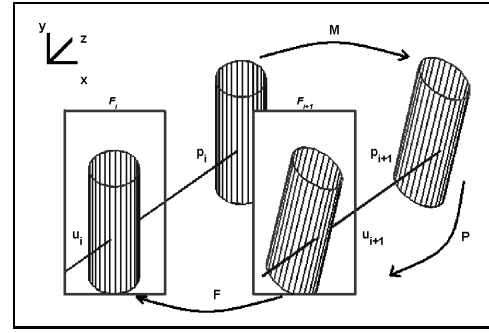
Öteleme parametrelerinden  $t_x^0$  ve  $t_y^0$ , Viola-Jones metodu ile saptanan yüz bölgesi  $A_0$ 'ın merkez noktasının  $F_0$ 'ın merkezine uzaklığından elde edilir. Derinlik parametresi  $t_z^0$  ise, bir takım öngörüler yoluyla ilklendirilmektedir. Öncelikle kameranın araç içindeki yeri sabit tutulmaktadır. Bu nokta, aracın ön panelinde ve sürücünün görüntüsünü cepheden alacak şekilde seçilmektedir. Ayrıca sürücünün araç kullanırken bulunacağı noktanın beklenen yeri konumlandırılmaktadır. Ardından bu iki nokta arasındaki mesafe kullanılarak  $t_z^0$  ilklendirilmektedir.

## 2.2. Silindirik Modele Dayalı Kafa Takibi

Bu bölümde ilklendirmesi sağlanan silindirin izlenmesinin ve duruş kestiriminin detayları açıklanmaktadır. Kafa modelinin görsel dizgi üzerinde takip edilmesi için öncelikle 3B silindirik model üzerindeki noktaların 2B imge üzerinde karşılık geldiği noktalar bulunmalıdır. Bu amaçla perspektif izdüşüm yöntemiyle 3B cisim uzayı ile 2B görüntü uzayı arasında eşleme ilişkisi (mapping) kurulmaktadır. Ardından 2B görüntü uzayında gözlemlenen değişikliklerin 3B uzayda gerçekleşen hangi hareketler sonucunda oluştuğunun anlaşılması için ışın geri izlemesi (ray tracing) yapılmaktadır. Son olarak, bulunan hareket yöneyi vasıtasıyla duruş yöneyi ve görüntüdeki yüz bölgesinin sınırları güncellenmektedir.

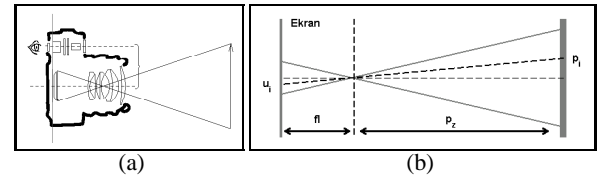
### 2.2.1. Perspektif izdüşüm

Öncelikle örneklem alma yoluyla 3B silindir üzerindeki noktaların referans çerçevesine göre konumları belirlenmektedir. Bu noktaların koordinatlarını içeren küme ise  $\Omega$  ile gösterilmektedir. Bu noktalar arasındaki ilişki, Şekil 2'de



Şekil 1: 3B silindirik model ve imge üzerinde izdüşümü

gösterildiği gibi, kamera için basit bir pin delikli kamera modeli göz önüne alınarak ve perspektif izdüşüm kullanılarak bulunur.



Şekil 2: (a) Pin delikli kamera modeli ve (b) Perspektif izdüşüm

Kafa modeli olarak kullanılan 3B silindir üzerinde  $p = [p_x, p_y, p_z]$  noktasının 2B imge uzayında  $u = [u_x, u_y]$  noktasına karşılık geldiğini varsayalım. Kameranın odak uzaklığı  $fl$  ile gösterildiğinde, Şekil 2'den de açıkça anlaşılacağı gibi bu noktalar arasında aşağıda verilen geometrik ilişki vardır.

$$\begin{aligned} p_x &= \frac{p_z u_x}{fl}, \\ p_y &= \frac{p_z u_y}{fl}. \end{aligned} \quad (1)$$

Burada perspektif izdüşüm fonksiyonu  $\mathbf{P}$  ile gösterilirse, Denklem 1'de görülen ilişki şu şekilde özetlenebilir.

$$\mathbf{P}(p) = u. \quad (2)$$

### 2.2.2. Işın Geri İzleme ve Duruş Güncellemesi

Kafa modeli, Şekil 1'de gösterildiği gibi, birbirini izleyen  $F_i$  ve  $F_{i+1}$  çerçevelerinde iki farklı duruşta gözlemlenmektedir. Herhangi bir anda, 3B silindir üzerinde örneklennmiş bir  $p_i$  noktasının  $F_i$  çerçevesinde  $u_i$  noktasına karşılık geldiğini ve bir sonraki anda da  $p_{i+1}$  noktasına hareket ederek  $F_{i+1}$ 'deki izdüşümünün de  $u_{i+1}$ 'e karşılık geldiğini varsayalım.

Bu iki çerçeve arasındaki duruş farklılığı 3B uzayda duruş yöneyi  $\mathbf{p}^i$ 'nin  $\mu^i$  gibi bir yöney ile güncellenmesi ile temsil edilir. Güncelleme yöneyi  $\mu^i$ 'yi bulmak için  $u_i$  ve  $p_i$ 'nin  $u_{i+1}$  ve  $p_{i+1}$ 'e eşlenmesi gerekmektedir. Bu ilişki Şekil 1'de gösterilen üç dönüşüm matrisi yoluyla ifade edilmektedir. Burada  $\mathbf{M}$  matrisi  $p_i$  noktasını  $p_{i+1}$ 'e,  $\mathbf{F}$  matrisi  $u_i$  noktasını  $u_{i+1}$ 'e,  $\mathbf{P}$  ise Denklem 2'de gösterildiği gibi  $p_i$ 'yi  $u_i$ 'ye eşlemektedir.

İzleme, video görüntüsü üzerinden yapıldığı için, elimizde temel olarak 2B veri ( $u_i$  ve  $u_{i+1}$ ) bulunmakta ve bundan 3B bilgi ( $p_i$  ve  $p_{i+1}$ ) elde etmemiz gerekmektedir. Bunun için de 2B görüntü üzerindeki noktaların cisim üzerinden gelen hangi ışınlar tarafından oluşturulduğunun anlaşılması gerekir. Bu işleme ışın geri izleme adı verilir. Bu işlem yürütülürken kafanın eliptik silindir şeklinde olduğu varsayımından faydalanılmaktadır. Kameranın merceğine cisim üzerinden ulaşan bir ışının başlangıç noktasının  $n$ , doğrultusunun  $d$ , cisimden kameraya ulaşma süresinin ise  $t$  olduğu düşünülürse,

$$p = n + dt,$$

olmaktadır. Bu ifadeler aşağıdaki genel elips denklemi ile birleştirilirse  $t$  çözümlenmektedir.

$$(p_x/r_x)^2 + (p_z/r_z)^2 = 1.$$

Böylece bu noktaya ait derinlik değeri de elde edilmiş olmaktadır. Bu şekilde 2B'den 3B'ye eşleme problemi de çözülmüş olmaktadır.

Dönüşüm matrisi  $\mathbf{M}$ ,  $p_i$  ve  $p_{i+1}$  noktaları arasında aşağıda verilen ilişkiyi kurar.

$$p_{i+1} = \mathbf{M}(p_i, \mu_i).$$

İzdüşüm noktasının  $F_{i+1}$  üzerindeki yeri ise  $\mathbf{F}$  dönüşümüyle bulunmaktadır.

$$u_{i+1} = \mathbf{F}(u_i, \mu_i).$$

Burada  $F_i$  ve  $F_{i+1}$  için aydınlatma sabit kabul edildiğinde, noktaların yeğinliklerinin değişmediği sonucuna varılmaktadır. Yani,  $I(\cdot)$  yeğinlik değerini gösterdiğinde

$$I(\mathbf{F}(u_i, \mu_i)) = I(u_{i+1}),$$

olmaktadır. Böylece hareket yöneyi iki imge çerçevesi arasındaki farkı minimize ederek çözülebilir:

$$\min(E(\Delta\mu)) = \sum_{u_{i+1} \in \Omega} \{I(\mathbf{F}(u_i, \mu_i)) - I(u_{i+1})\}^2.$$

Bu minimizasyon problemi, video çerçevelerinden üretilen Gauss piramidi üzerinde Lukas Kanade optik akış yönteminin kullanılmasıyla çözümlenmekte ve  $\mu^i$ 'ye ulaşılmaktadır.

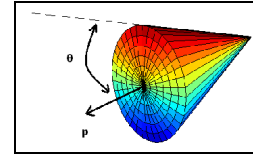
## 3. Deneysel Sonuçlar

Başarımın değerlendirilmesinde sürücünün kafasının yöntemimizce tesbit edilen ve kullanıcılarca öznel olarak atanan duruşlarının örtüşme yüzdesi göz önüne alınmıştır.

Yöntemimiz tarafından yürütülen izleme işlemi sırasında, sürücünün bakış uzağı belli bir aralıkta olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Yani kafanın her üç eksen etrafında da  $[-\pi, \pi]$  aralığındaki bütün duruşları alamayacağı göz önüne alınmış ve duruş yöneyinin alabileceği açılar belirlenmiştir. Duruş yöneyi bu sınırları aştığında izleme durdurulmakta ve ilkendirme işlemi tekrarlanarak izlemeye devam edilmektedir. Bu işlem deneyler sırasında izlemenin doğru devam edip etmediğini anlamaya ve beklenmeyen duruşlar elde edildiğinde sistemi düzeltmeye yönelik bir kontroldür. Şekil 3(e)-(g)'de verilen örnekte kameranın yol üzerindeki bir kasisten dolayı kayarak odağı ve izlemeyi kaybetmesi ve ardından gelen çerçevede tekrar izlemenin düzelmesi gösterilmektedir.

Kullanıcının görsel dizgiyi elle işaretlemeleri (manual annotation) için, sürücününün bakış uzağı Tablo 1-a'da gösterilen dokuz kardinal yönden oluşan parçalara bölünmüştür. Bunlar kuzeybatı (KB), kuzey (K), kuzeydoğu (KD), batı (B), merkez (M), doğu (D), güneybatı (GB), güney (G), ve güneydoğu (GD) olarak sıralanabilir. Bu yönler sürücünün yapacağı olası hareketlerle ilişkilendirilebilir. Örneğin D ve GD yan aynaya, KB ise dikiz aynasına bakmak olarak düşünülebilir. M ve K ileri, G panele, GB araç içine bakışla eşleştirilebilir.

Kullanıcılardan her çerçeve için bir duruş doğrultusu tayin etmeleri istenmiş ve referans (ground truth) olarak, kullanıcıların atadığı bu duruş doğrultuları kullanılmıştır. Bulu-



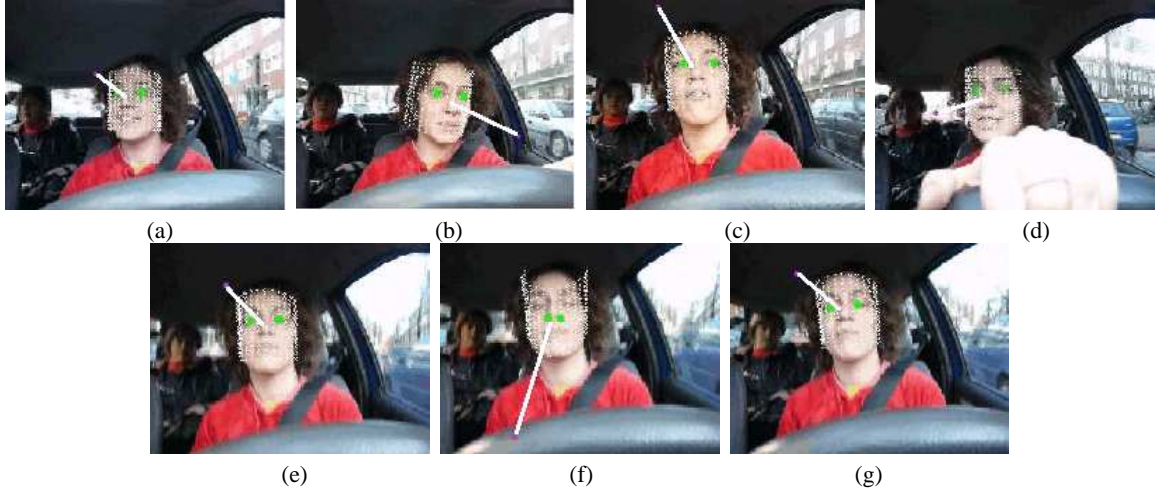
Şekil 4: Duruş yöneyi için kullanılan tolerans aralığı

nan duruş vektörleri ise seçilen eşik değerlere göre konumlarına bakılarak yine bu dokuz yönen birine atanmışlardır. Şekil 3(a)-(d)'deki duruşlar KB, GD, K ve B'ye tekabül etmektedir.

Örtüşmenin saptanması aşamasında, kullanıcıların sürücünün kafa duruşunu yüksek bir kesinlikle saptayacağı düşünülerek, yöntemimiz tarafından bulunan duruş yöneyi etrafına bir tolerans aralığı yerleştirilmiştir. Şekil 4'te de gösterildiği gibi kestirilen duruş yöneyi etrafına yerleştirilmiş bir  $\theta$  tolerans aralığına düşen bütün noktaların bu duruş yöneyi ile aynı doğrultuda olduğu kabul edilmiştir. Bu şekilde her duruş doğrultusuna bakış sayısı ve doğru tesbit yüzdeleri Tablo 1-(b) ve (c)'de verilmiştir. Ayrıca tüm yönler için doğru tesbit yüzdesi hesaplandığında, yöntemimizin duruş yönünü %78 oranda doğru belirleyebildiği görülmüştür.

## 4. Sonuçlar

Bu çalışmada araç sürücülerine yönelik geliştirilmiş silindirik model tabanlı bir kafa duruşu çözümleme yöntemi sunulmuştur. Geliştirilen yöntem sürüş rahatlığını bozmadığından ve gerçek zamanlı olduğundan böylesi bir sistemin sağlaması gereken başlıca özellikleri sağlamaktadır. Ayrıca yüksek çözünürlüğe



Şekil 3: (a)-(d) Sürücünün değişik bazı duruşları; (f) Odağın yitirilmesi, (g) izlemenin kaybedilmesi ve (h) geri kazanılması

Tablo 1: (a) Dokuz kardinal yön, (b) bu yönlere bakış sayıları ve (c) başarımlar yüzdeleri

KB	K	KD			
B	M	D			
GB	G	GD			
1686	1144	665	0.77	0.83	0.83
1738	3790	1356	0.73	0.76	0.81
655	655	739	0.79	0.96	0.92

gerek duymayan bir internet kamerası ile çalışabildiğinden masrafsız bir düzen gerektirmektedir. Bunun dışında her hangi bir adanmış donanım veya özel kurulumu gerektirmemektedir. Yapılan deneyler sonucu görülmüştür ki, duruş doğrultusunu toplamda %78 oranında doğru belirleyebilmekte ve izleme kaybedildiği anlarda kısa sürede toparlanabilmektedir.

*Teşekkür:* Bu çalışma TÜBİTAK 105E 065 nolu proje desteği ile gerçekleştirilmiştir.

## 5. Kaynakça

- [1] S. Ba and J.M. Odobez. From camera head pose to 3d global room head pose using multiple camera views. In *Proc. Intl. Workshop Classification of Events Activities and Relationships*, 2007.
- [2] S.O. Ba and J.M. Odobez. A probabilistic framework for joint head tracking and pose estimation. In *Proc. 17th Int'l. Conf. on Pattern Recognition*, volume 4, pages 264–267, 2004.
- [3] PA Beardsley and C. MERL. A qualitative approach to classifying head and eye pose. In *Applications of Computer Vision, Proc., 4th IEEE Workshop on*, pages 208–213, 1998.
- [4] C.C. Gordon, T. Churchill, CE Clauser, B. Bradtmiller, J.T. McConville, I. Tebbets, and R.A. Walker. Anthropometric Survey of US Army Personnel: Methods and Summary Statistics. *US Army Natick Research Development and Engineering Center Natick Massachusetts Tech. Report*, 1989.
- [5] Y. Hu, L. Chen, Y. Zhou, and H. Zhang. Estimating face pose by facial asymmetry and geometry. In *Automatic Face and Gesture Recognition, 2004. Proc. 6th IEEE Int'l. Conf. on*, pages 651–656, 2004.
- [6] K.S. Huang and M.M. Trivedi. Driver Head Pose and View Estimation with Single Omnidirectional Video Stream. In *Proc. 1st Intl Workshop on In-Vehicle Cognitive Computer vision Systems, in conjunction with the 3rd Int'l. Conf. on Computer Vision Systems, Graz, Austria, April*, volume 3, 2003.
- [7] Q. Ji and X. Yang. Real-Time Eye, Gaze, and Face Pose Tracking for Monitoring Driver Vigilance. *Real-Time Imaging*, 8(5):357–377, 2002.
- [8] Y. Matsumoto and A. Zelinsky. An algorithm for real-time stereo vision implementation of headpose and gaze direction measurement. In *Automatic Face and Gesture Recognition, 2000. Proc. 4th IEEE Int'l. Conf. on*, pages 499–504, 2000.
- [9] Murphy-Chutorian, E. and Trivedi, M. HyHOPE: Hybrid head orientation and position estimation for vision-based driver head tracking. In *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp.*, 2008.
- [10] R. Newman, Y. Matsumoto, S. Rougeaux, and A. Zelinsky. Real-time stereo tracking for head pose and gaze estimation. In *Proc. IEEE Int'l. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition Gesture Recognition*, 2000.
- [11] J. Sung, T. Kanade, and D. Kim. Pose Robust Face Tracking by Combining Active Appearance Models and Cylinder Head Models. *Int'l. J of Computer Vision*, pages 1–15.
- [12] R. Valenti and T. Gevers. Accurate eye center location and tracking using isophote curvature. In *Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Conf. on*, pages 1–8, 2008.
- [13] Zhu, Y. and Fujimura, K. Head pose estimation for driver monitoring. In *Intelligent Vehicles Symp., 2004 IEEE*, pages 501–506, 2004.