

# Bilgisayarlı Görü Yöntemleriyle Sürücüde Uykululuğun Sezimi

## Detecting Driver Drowsiness Using Computer Vision Techniques

Esra Vural, Müjdat Çetin, Aytül Erçil

Gwen Littlewort, Marian Bartlett, Javier Movellan

Sabancı Üniversitesi  
Mühendislik ve Doga Bilimleri Fakültesi  
Tuzla, İstanbul, Türkiye

University of California San Diego  
Institute of Neural Computation  
La Jolla, San Diego, A.B.D.

### Özetçe

Bilişim teknolojisindeki gelişmeler artık akıllı araç sistemlerinin inşa edilmesine olanak tanımaktadır. Uykulu sürücü tanıma, akıllı araç sistemlerinin potansiyel uygulamalarından biridir. Bu çalışmada uykululuk tespiti için makine öğrenmesi yöntemlerini kullanan yeni bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem uykululuk tespitinde %98 oranında başarı elde etmiştir. Bu şimdiki kadar gerçek uykululuk için bulunan en yüksek orandır. Üstelik, analiz, uykulu araç sürme esnasında ortaya çıkan insan yüzündeki davranış hakkında yeni bilgiler ortaya koymaktadır.

### Abstract

The advance of computing technology has provided the means for building intelligent vehicle systems. Drowsy driver detection system is one of the potential applications of intelligent vehicle systems. Here we employ machine learning techniques to detect driver drowsiness. The system obtained 98% performance in predicting driver drowsiness. This is the highest prediction rate reported to date for detecting real drowsiness. Moreover, the analysis revealed new information about human behavior during drowsy driving.

### 1. Giriş

Son yıllarda, akıllı araçlara ilgi artmaktadır. Otoyol kazalarının önlenmesi misyonuyla yola çıkan ve de akıllı araç sistemlerini baz alan dikkate değer bir girişim ABD taşımacılık kurumu tarafından başlatılmıştır [1]. Amerika ana yol trafik emniyet idaresinin yaptığı bir araştırmada yalnız Amerika'da olmak üzere yaklaşık 100,000 trafik kazasının öncelikle sürücü uykululuğu veya yorgunluğu ile ilgili sebeplerden kaynaklandığı belirlenmiştir [2]. Bu nedenle otomatik sürücü yorgunluk bulma mekanizması birçok kazayı engellemeye yardımcı olabilir.

Sürücü yorgunluğunun analizinde farklı teknikler kullanılabilir. Tekniklerin bir kısmı, aracın üzerindeki direksiyon, gaz pedalı gibi bileşenlere yerleştirilen algılayıcılardan yollanan [3] sinyalleri analiz eder. Ancak böyle tekniklerin, sürücüye uyarlanmasına gerek duyulabilir, örneğin yapılan bir çalışmada gaz pedalının kullanımında [4] sürücülerin arasında büyük oranda farklar olduğu belirtilmiştir.

Bu tekniklerden bir kısmı saniyedeki kalp atım sayısı, nabız sayısı, veya beyin elektriksel sinyal ölçüsü gibi [5] fizyolojik sinyallere odaklanmaktadır. Beyin elektriksel sinyalleri

Elektroensefalografi (EEG) yöntemiyle ölçülmektedir. Araştırmacılar uyanıklık düzeyinin azalmasıyla EEG sinyalindeki uyku ile ilintili olan alfa ve beta bantlarında artışlar gözlemlemiştir [6]. Yine de bu yaklaşım EEG başlığı giymeyi gerektirdiği için pratikte uygulanması oldukça zordur.

Sürücü yorgunluğu tanımadaki üçüncü bir grup çözüm yöntemi [7] uykululuk esnasında meydana gelen [8] ve yüzle ilgili hareket ve görünüm değişikliklerini tanıyabilen bilgisayarlı görüş sistemlerine odaklanır. Bilgisayarlı görüş tekniklerinin avantajlarından biri müdahaleci olmaması ve böylece halk tarafından kullanımının kolaylığıdır. Bugüne kadar yorgunluğun bulunmasında bilgisayarlı görüş yöntemlerini kullanan araştırmaların çoğu, göz kapanması ve baş hareketlerinin analizi üzerine yoğunlaşmaktadır. Ancak diğer yüzle ilgili ifadelerin uykululuğa etkisi tam olarak çalışılmamıştır. Gu ve Ji ilk defa yorgunluğun bulunmasında göz kapanması dışında yüzle ilgili diğer hareketleri de birleştiren bir çalışma sunmuştur [9]. Bu çalışmada, dinamik bir Bayes ağına hareket birimi bilgisi beslenmektedir. Ağ, yorgunluğun belirli durumları için poz veren denekler üzerinde eğitilmiştir. Bu poz esnasında video kısımları dikkatsizlik, esneme, veya uykuya dalma olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Uyku durumunu tahmin etmek için, baş, göz kapağı kapama, burun kırıştırma ve göz kapağı germe hareketlerinden faydalanılmıştır.

Uykululuğun tespiti için bugüne kadar geliştirilmiş olan yaklaşımlar, konuyla ilgili davranış hakkında ön varsayımlarda bulunmakta ve de göz kapanması, esneme gibi hareketlere odaklanmaktadır. Biz bu çalışmada makine öğrenmesi yöntemleriyle uykululuk bölümleri esnasında ortaya çıkan asıl insan davranışını anlamaya çalışmaktayız. Bir başka deyişle bu çalışmanın amacı, hangi yüz ifadesinin veya yüz ifadeleri kombinasyonunun yorgunlukla ilişkili olduğunu keşfetmektir. Bu çalışmada yüz hareketlerinin analizi için otomatik yüz ifadeleri analiz sistemine dayalı yüz hareket kodlama sistemi (FACS) kullanılmaktadır [10]. Lojistik Bağlanım sınıflandırıcısından (MLR) yorgunlukta önemli yüz ifadelerinin tespit edilmesinde ve uykulu durumun bulunmasında yararlanılmıştır.

### 2. Geliştirilen Yöntem ve Düzenek

#### 2.1. Sürüş Görevi

Denekler, direksiyon aracılığıyla, açık kaynak çok platformlu bir benzetim oyununu (Şekil 1), windows makinesi üzerinde oynadı. Oyunun windows uyarlaması, sürücünün kullandığı

arabayı, rasgele zamanlarda, bir rüzgar etkisi ile sağa veya sola sürükleyecek bir kuvvet uygulayacak şekilde geliştirildi ve de deneğin aracı doğru konumuna getirmesi talep edildi. Benzer şekilde bir nesnenin idaresi geçmişte yorgunluğu arttırmak için kullanılmıştı [11]. Bu oyunda araba hızı sabit tutuldu. Dört denek gece yarısı başlayan üç saatlik bir deneyde görev aldı. Bu zaman esnasında denekler, çeşitli zamanlarda uykuya daldı ve de bunun sonucunda araçları kimi zaman kaza yaptı. Arabanın yoldan çıktığı bölümler (kazalar) kaydedildi. Ayrıca deneğin yüz görüntüsü, 3 saatlik oturumu kapsayacak şekilde dijital bir görüntü kamerası kullanılarak kaydedildi.

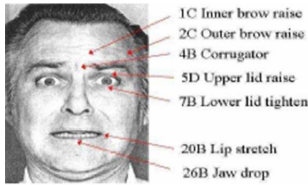


Şekil 1: Kullanılan Sürüş Benzetimi Düzenliği

## 2.2. Yüz Hareketi Sınıflandırıcıları

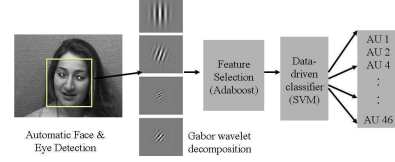
Yüzle ilgili hareket kodlama sistemi (FACS) [12], davranış bilimlerinde yüzle ilgili ifadeleri kodlamada en geniş ölçüde kullanılan metodlardan biridir. Sistem yüz ifadelerini 46 yüz bileşen hareketi ile temsil etmektedir ve bunlar kabaca yüz kaslarına karşılık gelmektedir. Bununla ilgili bir örnek Şekil 2'de gösterilmektedir.

FACS yüz ifadelerinin temel bileşen analizinde yansız ve kapsamlı bir kodlama sağlar. Kapsamlı olması nedeniyle FACS'in bilişsel ve duygusal durumları göstermede faydalı olduğu kanıtlanmıştır. Bu çalışmada, çene yukarı kaldırma (AU17), burun dudak kırışıklık derinleştirme (AU11), dış kaş kaldırma (AU2) ve iç kaş kaldırma (AU1) gibi hareketlerin uyumluluk durumu ile ilişkisini inceliyoruz.



Şekil 2: Yüz hareketlerinin Yüz Hareket Kodlama Sistemine göre Ayrıştırılması Örneği [12].

Bu proje için biz, poz verilen örnekler ek olarak kendiliğinden ortaya çıkan yüz hareketlerini de içeren daha büyük bir veri kümesiyle CERT uygulamasının iyileştirilmiş bir



Şekil 3: Otomatik Yüz Hareketi Kodlama Sistemi Seması

uyarlamasını çalıştırdık. Ayrıca, sistem, ek 11 yüz hareketini de kapsayan toplam 31 hareket birimi için eğitildi. Yüzle ilgili hareket kümesi, göz kapanması (AU45) ve de esneme oluştuğunda diğer hareketleri (AU26 ve AU27'yi) kapsar. 46 yüz hareketinden 31'inin seçilmesi tamamen mevcut etiketlenmiş eğitim verisinin olanaklarına dayanmaktadır.

Yüzle ilgili hareket bulma sistemi, şu şekilde tasarlandı: İlk başta yüz ve gözler gerçek zamanda çalışan üretken yapıyı bir sistemde artırma teknikleri kullanılarak bulunur. Otomatik olarak bulunan yüzler, bulunan göz konumları temel alınarak aynı hizaya getirildikten sonra kesilip 96 x 96 piksel boyutunda ölçeklenir ve de Gabor filtrelerinden geçirilir. Sistem, 9 uzamsal ölçek ve 8 yönü kapsayan 72 Gabor filtresinden geçirilir. Bu filtrelerin çıktuları normalize edildikten sonra standart bir sınıflandırıcıya geçirilir.

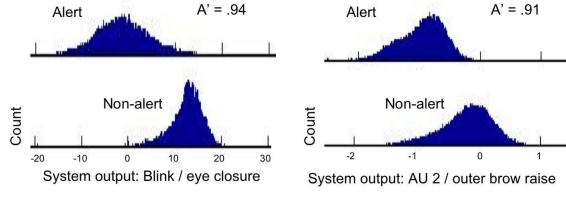
Bu çalışma için biz, destek vektör makinelerini (SVM) kullandık. Herbir 31 yüzle ilgili hareket için, tek başına veya diğer hareket üniteleriyle meydana gelip gelmediğine bakmaksızın, bir SVM eğitildi. Sistem çıktısı, herbir video çerçevesi için hesaplanan, SVM hiper düzlemine olan mesafe uzaklığını baz alan sürekli bir değere dayanır.

### Yüz ifadeleri eğitim verisi:

Yüzle ilgili hareket sınıflandırıcıları eğitim verisi, iki adet pozlu veri kümesinden ve de bir adet kendiliğinden ortaya çıkan ifadeleri içeren bir veri kümesinden oluşmaktadır. Herbir veri kümesindeki yüz ifadeleri sertifikalı FACS kodlayıcıları tarafından kodlanmıştır. İlk poz verilen veri kümesi Cohn-Kanade DFAT-504 veri kümesidir [14]. Bu veri kümesinde 100 üniversite öğrencisi 7 temel duyguyu içeren 23 tane yüz ifadesinin pozunu vermiştir. İkinci poz verilen veri kümesi Ekman ve Hager'in toplamış olduğu ve de 24 deneğin yönlendirilerek oluşturdukları yüz hareketlerinden oluşan bir veri kümesidir. Kendiliğinden ortaya çıkan ifadeleri içeren veri kümesi ise 33 denekten toplanmıştır ve de Rutgers Üniversitesi'nden Mark Frank tarafından oluşturulmuştur. Bu deneklerle destekledikleri politik görüşleri hakkında mülakat yapılmıştır. Her bir denek videosunun iki dakikası FACS'e göre kodlanmıştır. Toplam veri kümesi 2000 pozlu ve de 4000 kendiliğinden ortaya çıkan hareket içeren toplam 6000 örnekten oluşmaktadır.

## 3. Deneysel Sonuçlar

Deneklerden toplanan veriler uyukulu ve uyanık bölümler olmak üzere ikiye bölündü. Uykuya dalmadan veya kazadan önceki bir dakika dört deneğin her biri için uyukulu durum olarak etiketlendi. Deneklerin verisinde en az 9 en çok 35 olmak üzere ortalama 24 uyanık olmayan bölüm vardır. Her denek için 14 uyanık kesim ilk 20 dakikalık video bölümünden seçilmiştir.



Şekil 4: İlk bölüm, Göz Kapama Hareketi için uykulu (üst) ve uykusuz (alt) duruma ait histogramları göstermektedir. İkinci bölüm ise Dış Kaş Kaldırma Hareketi için uykulu (üst) ve uykusuz (alt) duruma ait histogramları göstermektedir.

### 3.1. Yüz Hareket Sinyalleri

Sürekli bir değer olan yüzle ilgili hareket tanıyıcısının çıktısı destek vektör makinesinde hiperdüzleme olan mesafeye bağlıdır. Uykulu ve uykusuz durum için iki ayrı hareket birimine ait histogramlar Şekil 4'te gösterilmiştir. ROC ( $A'$ ) eğrisinin altında kalan kısım, hareket bulucusunun uyanık ve uyanık olmayan çıktılarının dağılımlarının ne derecede ayrıştırılabilir olduğunu görmek için hesaplandı.  $A'$  ölçüsü sinyal bulma teorisinden türetilir, ve de sinyalin karar eşiğinden bağımsız olması durumunda ayrıştırma kapasitesini tanımlar. Şekilde denek 1 için en yüksek  $A'$  düzeyine sahip hareket olan göz kapama solda gösterilmektedir. Beklenildiği gibi, göz kapatma ölçüsünün, hemen hemen tüm denekler için en ayrıştırıcı ölçü olduğu görülmüştür. Yine de denek 2 için ( bkz şekil 4 ikinci bölüm) dış kaş kaldırma (AU2) en ayrıştırıcı hareket birimidir.

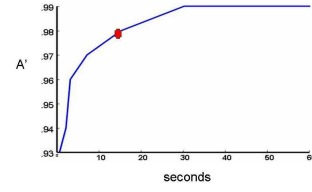
### 3.2. Uykulu Durumun Tespiti

Otomatik olarak bulunan yüzle ilgili davranışların temel alındığı, yüz hareket çıktıları, sınıflandırıcılara verilir. Bu çalışmada denekler arası uykululuk durumunun tahmini test edildi.

Denekler arası uykululuğun tahmin edilmesi için her seferinde bir deneğin dışarıda bırakıldığı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Her deneğin verisi sınıflandırıcıya verilmeden önce ortalaması 0 ve de standart sapması 1 olacak şekilde normalize edildi. MLR, AU çıktılarından uykululuğun tespiti için birkaç değişik şekilde eğitildi.

Başarım ROC eğrisi altında kalan alan olarak hesaplandı. Tek bir çerçevenin, yeterli bilgiyi sağlamayabileceği göz önüne alınması sebebiyle yeni denek analizinin tümünde, MLR çıktısı  $A'$  değerinin hesabının öncesinde, her bir öznelik için 12 saniyelik (360 çerçevelik) zaman diliminde toplandı. Tüm özneliklerle eğitilen MLR uykululuğun tahmininde %90 başarı elde etti.

Sonunda, yeni bir MLR sınıflandırıcısı, seçilen özneliklerin elde edilmiş olduğu varsayımıyla en ayrıştırıcı ilk öznelikle (AU45) başlayan, ve de daha sonradan ayrıştırıcı ikinci özneliği katarak devam eden bir yöntem olan sıralı öznelik seçim yöntemi ile eğitildi. Bu öznelikler Tablo 1'in altında gösterilmektedir. AU45, AU2, AU19 (dil gösterme), AU26 (çene düşmesi), ve AU15'ten oluşan beş öznelik kullanılarak en yüksek performans olan %98 elde edildi. Bu beş öznelik modeli MLR'in tüm öznelikler kullanılarak



Şekil 5: Zamandaki pencere uzunluğunun performansa olan etkileri

Tablo 1: Değişik öznelik bileşimleri kullanılarak elde edilen uykululuk tespit başarı oranları

Öznelik	$A'$
AU45	.9468
AU45,AU2	.9614
AU45,AU2,AU19	.9693
AU45,AU2,AU19,AU26	.9776
AU45,AU2,AU19,AU26,AU15	.9792
Tüm öznelikler	.8954

eğitimine göre daha iyi bir sonuç elde etti.

Bir sonraki analizimizde, zamandaki pencere uzunluğunun performansa olan etkilerini inceledik. Bu analiz için beş öznelikli model kullanıldı. Bu 5 öznelikli modelde MLR çıktısı, N uzunluğundaki pencereler üzerinden toplanmıştır, ve de N 0.5 ve 60 saniye aralığında değişmektedir. Şekil 5 çeşitli N değerleri için yeni deneklerin uykululuk durumunun bulunması durumunda ROC eğrisinin altında kalan alanı göstermektedir. Performans zaman penceresi 30 saniyeyi geçerken 0.99'ta doygunluk düzeyine ulaşmaktadır. Bir başka deyişle denekler arası deneyde, 30 saniyelik bir video kesidi verildiği takdirde sistem uykulu ve uykusuz bölümleri 0.99 doğrulukla tahmin edilmektedir.

Herbir hareket biriminin yorgunlukla ne derece ilgili olduğunu anlamak için, MLR sınıflandırıcısı her bir yüz hareketi için ayrıca eğitildi. Bu çalışmada  $A'$  değerinin her bir hareket için incelenmesi, o hareket biriminin ne derecede yorgunluğu tahmin etmemize yardımcı olabileceğini göstermektedir. Uykulu ve uykusuz durumlar için  $A'$  değerini Tablo 2'de görebilirsiniz. Uykululuk durumunun tahmininde uykulu durumda artan şekilde en başarılı beş hareket birimi sırasıyla AU45, AU2 (Dış Kaş Kaldırma), AU15 (Dudak Köşesi Sıkma/somurtma), AU17 (Çene Kaldırma), AU9 (Burun Kırıştırma) şeklindedir. Uykululuk durumunun tahmininde uykulu durumda azalan şekilde en başarılı beş hareket birimi sırasıyla AU12 (Dudak Köşesini Germe), AU7 (Göz Kapağını Germe), AU4 (Kaş İndirme), AU26 (Çene Düşmesi) şeklinde özetlenebilir. Göz kapama bilgisinin uykulu durumun tahmininde önemli rol oynadığı bilinmekteydi ancak AU2 (Dış Kaş Kaldırma) yorgunluğun tahmininde daha önceden bilinmeyen bir davranıştır.

Bu çalışmada, birçok deneğin gözlerini açık tutmak

Tablo 2: Denekler arası uykululuk tahmininde MLR modeli. Herbir yüz hareket birimi için tahmin başarısı gösterilmektedir.

**Kritik Uykulu Durumda Artan**

AU	Adlandırma	A'
45	Göz Kapama	0.94
2	Dis Kaş Kaldırma	0.81
15	Dudak Köşesi Sıkma	0.80
17	Çene Yükseltme	0.79
9	Burun Kırıştırma	0.78
30	Çeneyi Yana Alma	0.76
20	Dudak Germe	0.74

**Kritik Uykulu Durumda Azalan**

AU	Adlandırma	A'
12	Dudak Köşesini Germe	0.87
7	Göz Kapağını Germe	0.86
39	Burun Deliklerini İndirme	0.79
4	Kaş İndirme	0.79
26	Çene Düşmesi	0.77
6	Yanak Yükseltme	0.73

çabasıyla kaşlarını kaldırdığı gözlemlenmiştir ve de AU2 ile uykululuk durumun yüksek ilintisi bu durumla tutarlılık göstermektedir. Ayrıca AU26, esneme esnasında oluşan çene düşmesi, çarpışmadan önceki 60 saniyelik kesimde daha az sıklıkla görülmüştür. Bu sonuç esneme hareketinin uykuya dalmadan önceki son zamanlarda oluşmadığı bilgisiyyle tutarlılık göstermektedir.

#### 4. Vargılar

Bu çalışmada, videodan sürücü uykululuğunun otomatik olarak bulunması için geliştirdiğimiz sistemi sunduk. Önceki yaklaşımlar, uykululuğun bulunmasında tahmini davranışlar üzerinde odaklanıyordu. Burada yüzle ilgili ifadeleri otomatik olarak ölçen bir sistem kullanılarak gerçek uykululuk bölümleri esnasında kendiliğinden ortaya çıkan davranışları araştırdık. Bu çalışma gözleri kapamanın dışında diğer yüz ifadelerinin de yorgunlukla önemli ilintileri olabileceğini göstermesi açısından bizimiz dahilindeki ilk çalışmadır. Bir başka dikkat çeken unsur ise normalde yorgunlukla ilintili olarak görülen esnemenin deneklerin uykuya dalmadan önceki 60 saniyelik zaman penceresinde negatif bir tahmin hareketi olarak ortaya çıkmasıdır. Bu sonuç uykuya dalmadan önceki anlarda sürücülerin daha çok değil daha az esnediğini ortaya koymaktadır. Bu sonuç ise deneklerin rol yapmaksızın uykuya daldığı yorgunluk ve uykululuk örneklerini kullanmanın önemine dikkat çeker.

#### 5. Teşekkür

Bu araştırma, kısmen NSF'ten gelen NSF CNS 0454233, SBE-0542013 ve de Avrupa komisyonu FP6-2004-ACC-SSA-2 (SPICE), MIRG-CT-2006-041919 numaralı proje hibeleriyle desteklenmiştir. Bu bildiriye ifade edilen herhangi bir düşünce, buluş veya tavsiye yazarların bağlı oldukları kurumların görüşlerini yansıtır şeklinde bir şart koşulamaz.

#### 6. Kaynakça

- [1] Intelligent vehicle initiative. US DOT. <http://www.its.dot.gov/ivi/ivi.htm/>
- [2] Saving lives through advanced vehicle safety technology. US DOT. <http://www.its.dot.gov/ivi/docs/AR2001.pdf>.
- [3] Takei, Y. Furukawa, Y.: Estimate of driver's fatigue through steering motion. Man and Cybernetics 2005 IEEE International Conference. (Cilt: 2, Sayfa: 1765- 1770 )
- [4] Igarashi, K., Takeda, K., Itakura, F., Abut, H.: DSP for In-Vehicle and Mobile Systems. Springer (2005)
- [5] Cobb., W.: Recommendations for the practice of clinical neurophysiology. Elsevier (1983)
- [6] Hong, Chung, K.:Electroencephalographic study of drowsiness in simulated driving with sleep deprivation. International Journal of Industrial Ergonomics. (Cilt 35, Konu 4, Nisan 2005, Sayfa 307-320.)
- [7] Gu, H., Ji, Q.: An automated face reader for fatigue detection. FGR. (2004) 111-116
- [8] Zhang, Z., shu Zhang, J.: Driver fatigue detection based intelligent vehicle control. ICPR '06: Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition, Washington, DC, ABD, IEEE Computer Society (2006) 1262-1265
- [9] Gu, H., Zhang, Y., Ji, Q.: Task oriented facial behavior recognition with selective sensing. Comput. Vis. Image Underst. 100(3) (2005) 385-415 10.
- [10] Bartlett, M., Littlewort, G., Frank, M., Lainscsek, C., Fasel, I., Movellan, J.: Automatic recognition of facial actions in spontaneous expressions. Journal of Multimedia. 1(6) p. 22-35.)
- [11] Orden, K.F.V., Jung, T.P., Makeig, S.: Combined eye activity measures accurately estimate changes in sustained visual task performance. Biological Psychology (2000 Nisan;52(3):221-40)
- [12] Ekman, P., Friesen, W.: Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement. Consulting Psychologists Press Palo Alto, CA (1978)
- [13] Fasel I., Fortenberry B., M.J.: A generative framework for real-time object detection and classification. Computer Vision and Image Understanding. (98, 2005.)
- [14] Kanade, T., Cohn, J., Tian, Y.: Comprehensive database for facial expression analysis. Proceedings of the fourth IEEE International conference on automatic face and gesture recognition (FG'00), Grenoble, Fransa. (2000) 46-53