






Gözbebeği Hareketleri Temelli Duygu Durumu Sınıflandırılması

Araştırma Makalesi/Research Article

 Samet METE¹,  Oğuz ÇAKIR²,  Oğuz BAYAT¹,
 Dilek GÖKSEL DURU^{3*},  Adil Deniz DURU⁴

¹Bilişim Teknolojileri Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Altınbaş Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

²Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İstanbul Arel Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

³Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İstanbul Arel Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

⁴Antrenörlük Eğitimi Bölümü, Spor Bilimleri Fakültesi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

samet-mete@hotmail.com, oguz.28414@gmail.com, oguz.bayat@kemerburgaz.edu.tr, dilekgokselduru@arel.edu.tr, denizduru@marmara.edu.tr

(Geliş/Received:13.05.2019; Kabul/Accepted:08.02.2020)

DOI: 10.17671/gazibtd.563830

Özet— İnsanlardaki duygu durumu otonom sinir sistemi tarafından kontrol edilmektedir. Bu sebeple, olumlu veya olumsuz bir uyaran ile karşılaştığında otonom sinir sistemi çok kısa bir süre içerisinde, uyaran çeşidinin bireyde tetiklediği duygu türüne göre çeşitli bedensel farklılıklara sebebiyet vermektedir. Bedensel bu farklılıklardan bir tanesi de kişilerin gözbebeğinin uyaran çeşidine göre gösterdiği fizyolojik farklılıklardır. Yapılan araştırmalar göz bebeği hareketlerinin ve boyutunun ölçülmesinin yararlı bir girdi sinyali olabileceğini göstermektedir. İnsanlar olumsuz bir uyaran gördüğünde gözdeki pupil boyutunda genişleme, olumlu bir uyaran gördüğünde ise pupil boyutunda daralma oluşmaktadır. Bu bilgiler ışığında çalışma kapsamında, erkek ve kadın katılımcılara uygulanan, türlü kategorilerden oluşan büyük bir fotoğraflar dizisi olan IAPS içerisinde, katılımcılarda fazlasıyla zıt duygulanımlar meydana getiren uyaran sınıfları değerlik puanlarına göre tercih edilmiş ve uyaranlar olumlu, olumsuz ve nötr olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Çalışma sırasında IAPS'ten seçilmiş olan toplamda 60 adet fotoğraf kullanılmış ve 13 adet katılımcıya sunulmuş ve göz takip cihazı kullanılarak katılımcıların göz verileri veri tabanına kaydedilmiştir. Sol ve sağ pupil büyüklükleri ve fiksasyon süresi sınıflama için girdi olarak kullanılmıştır. Üç sınıf kullanılarak, kNN, Naive Bayes, Destek Vektör Makinaları, Doğrusal Diskriminant analizi, karar ağacı ve lojistik regresyon teknikleri uygulanmıştır. Düşük sınıflandırma başarısından ötürü, işlem sadece pozitif ve negatif sınıflar için tekrar hesaplanmıştır. Bu iki duygusal durum için %68'lik bir oran ile k-NN sınıflandırma yönteminde en yüksek sınıflandırma başarısına ulaşılmıştır. Naive Bayesçi Sınıflandırıcı ve DVM %55, LDA %50, karar ağaçları ve lojistik regresyon %48'lik başarıya ulaşmıştır. Kişilerin çeşitli uyaranlara verdiği duygusal yanıtların göz hareketlerine yansıtılabileceği ve göz hareketlerinden kişinin duygusal uyarılma düzeyi hakkında fikir sahibi olunabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler— göz takibi, emosyon, sınıflandırma

Classification of Emotional State based on Eye Movements

Abstract— Emotional state is controlled by the autonomous nervous system (ANS). Thus, in the presence of a positive or negative type of a stimulus, ANS responses occur in a short time which can be observed as various physical output, depending on the type of emotion triggered by the stimulus type in the individual. One of these physical differences related to the type of stimulus is the pupil size variation and can be named as a physiological change to examine one's emotional state. According to previous studies, pupil size and eye movement measurements were shown to be a useful input signal. Relying on that, emotion recognition by extracting eye gaze pattern is aimed in the present study. When a negative type of a stimulus triggers a person, pupil size seems to dilate. On the other hand, in the presence of a positive type of stimulus, pupil size is tightened. Based on this information, in the concept of this study, stimuli are applied to male and female volunteers. Stimuli, a total of 60 pictures, are selected from the IAPS image database, where different emotional stimuli sets are chosen concerning valence scores to form positive, neutral and negative stimulus classes. Thirteen volunteers participated in the study to perform the test paradigm and to attend the eye tracker measurement. Left and right pupil size values and fixation time parameters are used for classification purposes. The input features are classified for three classes using kNN, Naive Bayes, Support Vector Machine, Linear Discriminant Analysis, decision

tree and logistic regression techniques. Low classification accuracy yields us to apply classification based on positive and negative stimuli. Analysis results demonstrated the best success rate with 68% for kNN algorithm for classification within these two emotion groups, where the application of Naïve Bayes and SVM results in a success rate of 55%, Linear Discriminant Analysis 50%, decision tree and logistic regression 48%. To conclude, eye movements can reflect the emotional responses of the subject and also predictions of the arousal level of the subjects might be performed.

Keywords— eye tracking, emotion, classification

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Duygu durumu tespiti beyin bilgisayar arayüzü çalışmaları başta olmak üzere eğitim bilimleri, dil bilimleri, psikoloji, sinirbilim, biyomedikal, bilişim gibi farklı alanlarda araştırılmakta ve kullanılmaktadır. İnteraktif uygulamalarda önemli yer tutan duygu durum tespiti ile sözel ifade ötesinde kişinin kendini ifade etmesi mümkün olmaktadır. Göz hareketlerinden duygu durumu (emosyon) analizi, mental durum ve farklı emosyonların sınıflandırılmasına ve tespitine imkan tanımaktadır. Bu tip duygu durumu tespiti ve analizi çalışmalarında tanımlanmış emosyonlar girdi verisi olarak kullanılmaktadır.

Emosyon sözcüğü Türkçe’de ruhsal alandaki bir takım oynamalar ve duygu durumu olarak kullanılmakta olup, bir uyarana cevap olarak duygu durumunun, duyarlılığın değişmesi ve bir davranışsal cevabın oluşması anlamındadır. Günümüze kadar emosyon tanımını çok kere yapılmış olup [1], psikolojide emosyonlara deneysel ilgi ve modern teoride belirgin bir şekilde Amerikalı psikolog ve filozof William James’in teorileri ile başlamıştır [2]. Bu tanımlamalar içinden emosyonların diğer öznel ve nesnel etkenler ile birarada nöronal ve hormonal sistemler aracılığı ile oluşan karmaşık etkileşimler olduğu kanaatine varmışlardır [3]. Emosyonel uyarılma alanında iki temel yaklaşım, kategorize etmeye çalışan ve boyutsal olarak sınıflandırmaya çalışan yaklaşımlardır. Kategorize eden yaklaşım, altı temel duygu çerçevesinde ve kültürlerden bağımsız evrensel emosyonel durumu birbirinden kesin sınırlarla ayıran bir model önermektedir [4]. Temel duygular olarak tanımlanan bu duygu sınıfları mutluluk, şaşırma, korku, öfke, tikslenme ve üzülmeye şekildedir [4]. Diğer emosyon modeli olan boyutlandırmaya dayanan yaklaşımda ise, değerlik (valence) ve uyarılmışlık (arousal) seviyelerini iki temel boyut olarak esas alarak emosyonel uzayı oluşturulmaktadır [5]. Bu modelde, her emosyonel durum valans ve uyarılmışlık eksenlerinin iki boyutta doğrusal kombinasyonu olarak çift yönlü ifade edilmektedir. Değerlik emosyonel uyarımın hoş-nötr-hoş olmayan veya pozitif-negatif niteliğine dayanırken, uyarılma düzeyi daha çok emosyonun yoğunluğunu ve şiddetini (düşük-yüksek) ifade etmektedir [5].

Emosyonlar, sempatik ve parasempatik olarak iki bölümden oluşan otonom sinir sistemi tarafından kontrol edilmektedir. Sempatik sinir sisteminin görevi insan vücudunu acil durum ve tehditlere karşı hazırlamaktır.

Tehlike halinde, heyecan, korku, stres, ağrı vb. durumlarda etkin hale gelen sistemdir. Sempatik sistem kalp hızını arttırmakta, kan basıncını yükseltmekte, pupillaları (gözbebekleri) genişletmekte ve sfinkterleri kapatmaktadır. Parasempatik sinir sistemi, sempatik sinir sisteminin aksine, sindirimi etkinleştiren, kalp atım hızını yavaşlatan, rahatlama ve yenilenme sağlayan sistem olup, gözbebeklerini daraltarak, kalp atım hızını yavaşlatmakta dolayısıyla bir dizi fizyolojik değişime sebep olmaktadır. Literatürde yer alan birçok çalışma, gözbebeği boyutunun farklı çeşitlerdeki duygusal uyarımlar esnasında fark edilecek boyutta değişime neden olduğunu göstermiştir [6-10]. Literatürdeki bu bulgular ışığında ve gelişen göz takip teknolojileri yardımı ile gözbebeği boyut takibinin yanı sıra, fiksasyon, gözün kısa ve hızlı anlık hareketlerinin (saccade) frekansı gibi parametrelerin duygu durumu belirteci olabileceği söylenebilmektedir.

Göz hareketleri ve göz izleme sistemleri odaklı araştırmalarda özellikle algı ve veri işlenmesi üzerine çalışılmaktadır. Ameliyattaki bir cerrahın göz hareketlerinin izlenmesi veya bir pilotun uçağı uçurduğu süre boyunca göz hareketlerinin izlenmesi gibi karmaşık ödevlerde, göz takip teknolojisi, kişinin işlediği bilgi kaynaklarını ve bunları ne sıklık ile kullandığını, kararlarını ve duygu durumunu ne şekilde etkilediğini ortaya çıkarabilmektedir. Bu amaçla, ilk çalışmalarda pupilometre benzeri araçlar, refraktif bir ameliyatın öncesinde değerlendirmede bulunmak için [11-12] ayrıca ilgili sinir yolları lezyonunun tanımı araştırmalarında kullanılmıştır [13]. Özellikle insan makine etkileşimi (beyin bilgisayar arayüzü) uygulamalarında göz takip sistemleri tercih edilmekte, bu teknolojilerin yaygınlaşmasıyla web tasarımlarında, arayüzlerde ve kullanılabilirlik (usability) analizlerinde, felçli veya engelli bireylerin iletişim alternatiflerinde, usta çırak (elite novice) beyin bilişsel fonksiyon analizlerinde vb. birçok alanda yararlanılmaktadır. Hess ve diğ. [14], duygu değişimi üzerinde gözbebeğinin iki yönlü etkisini öne sürmüştür. Bireylerin, olumsuz uyarılar ile karşılaştıklarında gözbebeğinin genişlediğini ve olumlu uyarılar ile karşılaştıklarında ise daraldığını öne sürerek, duygu farklılıklarının gözbebeğindeki etkilerini raporlamışlardır [14]. Emosyonel uyarılmanın, gözbebeğinin tepkisini değiştirmekte temel bir etken olduğunu öne sürmektedir [14]. Armony ve Dolan (2002) [15] ise, kişilere uyarı olarak oldukça olumsuz ve nötr fotoğraflar sunulduğunda ve bu sunum neticesinde bir karşılaştırma yapıldığında kişilerin olumsuz uyarana karşı daha hızlı tepki verdiğini tespit etmişlerdir. Benzer şekilde, uyarılar olumlu

fotoğraflardan oldukça tehdit edici fotoğraflara doğru giderek uyarıların tehdit değeri arttıkça, çoğu denek bunlara karşı önyargılı tepki göstermiş, fakat bu durum en fazla endişeli insanlar arasında gözlenmiştir [16]. Bir diğer çalışmada, [17], uyarıların tehdit değeri ile donatılmış olmaları durumunda dikkatin yönlendirilmesi ile ilgili bir etki yapabileceğini öne sürülmüştür. Literatürdeki bu bilgiler ışığında, bu çalışmamızda kişilere eşit fiziksel şartlar altında oldukça zıt duygulanım yaratan uyarı sunumu gerçekleştirilip, bu esnada göz takip cihazı ile izleme sağlanarak, göz hareketleri kayıt altına alınarak, toplanan katılımcı göz hareketleri verilerinden emosyon bilgilerine ulaşmak amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM (METHOD)

2.1. Göz İzleme Sistemi Ölçüm Düzenliği (Eye Tracking System's Measurement Setup)

Bu çalışma Marmara Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Sporda Sinirbilim ve Psikoloji Araştırmaları Laboratuvarı'nda "The Eye Tribe" göz takip cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Tüm katılımcılar çalışma esnasında sunumu izleyecekleri ekrana 50 cm uzaklıkta oturmuşlardır. Göz takip cihazı ile katılımcının deney süresince ekran üzerinde baktığı noktalar, ne kadar süre ile ve kaç kez baktığı gibi göz fiksasyon sayımları ve süreleri bilgileri toplanmıştır.



Şekil 1. Göz takip cihazı
(Eye tracking device)

Göz izleme sisteminde ayrıca Şekil 1'de görülen göz takip cihazının bağlı olduğu görsel uyarıların sunumunun gerçekleştirildiği ve bu sunum esnasında göz hareketlerinin kaydedilmesi amacı ile 15.5" ekrana sahip, 8gb ram, DDR4 i5 7200 işlemcili bir bilgisayar kullanılmıştır. Uyarı sunumu ve göz hareketlerinin kaydı OGAMA (Open Gaze And Mouse Analyzer) açık kaynak göz takip yazılımı kullanılmıştır [18].

2.2. Uyarı Seçimi (Selection of Stimuli)

Çalışmada deney paradigması için, IAPS (Uluslararası Affektif Resim Sistemi)'den 20 adet olumlu, 20 adet olumsuz ve 20 adet nötr olmak üzere toplamda 60 adet

fotoğraf rastgele seçilerek, 3 farklı uyarı sınıfı meydana getirilmiştir. Seçim aşamasında fotoğrafların değerlik puanları belirleyici olmuştur. Lang ve arkadaşları (2008) [19] tarafından ortaya koyulan norm çalışmasında sistemde bulunan her bir fotoğrafın değerlik seviyeleri 9'lu Likert tipi bir ölçek üzerinde tanımlanmıştır. Ölçekte uyarılma seviyesinin en düşük olması "1" ile en yüksek olması ise "9" ile gösterilmektedir. Yani değerlik düzeyi göz önüne alındığında "1" en olumsuz uyarı, "9" ise en olumlu uyarı ifade etmektedir. Olumlu ve olumsuz uyarı grubu seçim aşamasında değerlik puanları bakımından olabildiğince birbirlerine zıt değerler seçilmesine özen gösterilmiştir. Bunun nedeni katılımcıların en olumlu ya da en olumsuz bir görüntü ile karşılaştığında gözbebeği ölçümlerindeki değişimin fark edilir şekilde ortaya konabilmesi ve gözlenebilmesidir. Olumlu ve olumsuz fotoğrafların aralarına nötr fotoğrafların yerleştirilmesinin ve sunumda fotoğrafların sırasız bir şekilde sunulmasının sebebi ise, katılımcıların sunumu izlerken bir beklentiye girmesini engellemektir. Bu sayede katılımcı, sunum sırasında karşısına gelecek bir sonraki fotoğrafın olumlu, olumsuz ya da nötr bir fotoğraf olduğuna dair bir tahminde bulunamayacaktır.

2.3. Uyarı Sınıflarının Özellikleri (Properties of Stimuli Classes)

Düşük değerlik puanına sahip 20 adet fotoğrafın değerlik düzeyleri 1,31 ile 1,70 arasında değişmektedir. Bu uyarı sınıfının içeriği erkek, kadın ve çocukların bulunduğu olumsuz (parçalanmış erkek, kadın ya da çocuk yüzü gibi) durumlardan oluşmaktadır. Yüksek değerlik puanına sahip yer alan 20 adet fotoğrafın değerlik düzeyleri 7,90 ile 8,34 arasında değişmektedir. Bu sınıfta yer alan uyarılar seçilirken çalışmanın doğruluğu bakımından, en yüksek değerlik puanına sahip fotoğraflar arasından seçim gerçekleştirilmiştir. Bu uyarı sınıfının içeriği olumlu duygulanım yaratan çocuk, kadın, erkek, hayvan ve doğa resimlerinden (göze hitap eden doğa manzaraları, sevimli çocuk ve hayvan resimleri gibi) oluşturulmuştur.

20 adet fotoğraftan oluşan nötr uyarı sınıfının değerlik düzeyleri 3,47 ile 5,22 arasında değişmektedir. Bu uyarı sınıfı da insan, hayvan, nesne ve manzaralardan (yol üzerinde akan bir trafik görüntüsü, sabit bir şekilde duran insan resmi, boş bir bardak gibi) oluşmaktadır. Bu sınıfta yer alan fotoğraflar, sunumu izleyen katılımcılarda olumlu veya olumsuz bir duygulanımı tetiklemediği varsayılmıştır. Deney paradigması için oluşturulan uyarı sınıflarına ait değerlik puanlarının ortalama ve standart sapmaları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Değerlik puanları bakımından olumlu ile olumsuz uyarı sınıflarının ortalamaları birbirinden anlamlı farklı, nötr sınıfı ise diğer iki sınıfa da yaklaşık eşit uzaklıkta yer almaktadır (Tablo 1). Katılımcılar çalışmanın yapılacağı ortama teker teker alınmış ve çalışmanın yapılacağı laboratuvarında şartlar (ışık, sıcaklık, izolasyon) ve kullanılan malzemeler tüm katılımcılar için eşit tutulmuştur. Çalışmanın yapıldığı ortam içinde

katılımcıların dikkatini dağıtacak objelerin bulunmamasına önem verilmiştir.

Tablo 1. Uyarın sınıflarının tanımlayıcı özellikleri
(Descriptive properties of stimuli classes)

N Örneklem Büyüküğü	Ortalama	Standart Sapma
20	8,10	0,11
20	1,53	0,09
20	4,60	0,41
60	4,74	2,71

Tablo 2. Çoklu karşılaştırmalar bulguları
(Findings of multicomparisons)

(I) tip	(J) tip	Ortalama Farkı (I-J)	Std. Hata	Anlamlılık
olumlu	olumsuz	6,56	,08	,00
	nötr	3,50	,08	,00
olumsuz	olumlu	-6,56	,08	,00
	nötr	-3,06	,08	,00
nötr	olumlu	-3,50	,08	,00
	olumsuz	3,06	,08	,00

Üç sınıf için seçilen 20'şer resime ait değerlik seviyeleri, tek yönlü ANOVA testine tabii tutularak, sınıflar arasında anlamlı farklılıklara ulaşılmıştır (F(57,2)=3368,72 p<0.001). Yapılan Post-Hoc testleri sonucunda tüm gruplar arasında anlamlı değerlilik farkları tespit edilmiştir. Böylece, seçilen uyarınların olumlu ve olumsuz duygu durumu oluşturabilecekleri varsayılmıştır. Uyarın gruplarına ait farklılıklar ve ortalamalar Tablo 1 ve 2'de özetlenmiştir.

2.4. Uyarın Sunumu (Presentation of Stimuli)

IAPS fotoğraflarından seçilerek oluşturulan uyarın sınıfları katılımcılara OGAMA göz takip yazılımı ile rastgele sıralı bir şekilde sunulmuştur. Sunum sırasında her bir uyarın fotoğrafı ekranda 5 saniye tutulmuştur. Sunumda yer alan her bir uyarın fotoğrafı arasına bir saniyelik boşluklar yerleştirilmiştir. Bu birer saniyelik boş ekran görüntüsü ile amaçlanan, bir önceki uyarın fotoğrafta fizyolojik olarak değişim gösteren göz pupil boyutunu bir saniyelik bir boşluk ile yeniden doğal haline geçmesinin sağlanması ve bir sonraki uyarın fotoğrafa doğal bir şekilde hazır hale getirebilmektir. Sunum

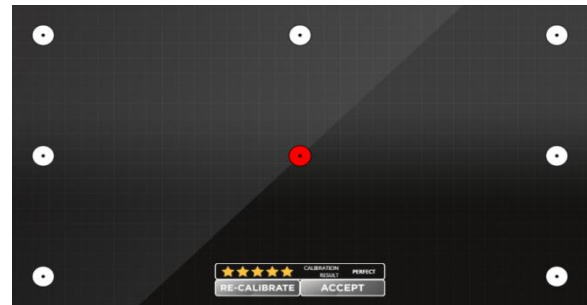
sırasında katılımcılara izletilen uyarın fotoğrafların çözünürlüğü 1024x720 olarak tercih edilmiştir.

Çalışmaya gönüllü olarak cinsiyet ayrımı olmaksızın 18-30 yaş aralığında toplamda 13 gönüllü üniversite öğrencisi katılmıştır. Çalışmada görsel uyarınlar sunulduğu için katılımcıların herhangi bir göz problemi olmamasına dikkat edilmiştir. Ayrıca, katılımcıların nörolojik ve psikiyatrik bir hastalığının bulunmaması ve sinir sistemini olumsuz yönde etkileyen herhangi bir ilaç tedavisine devam etmiyor olmalarına özen gösterilmiştir. Bu çalışma İstanbul Arel Üniversitesi Etik Kurulu 2018/10 numaralı ve 07.08.2018 tarihli onayı ile ve Helsinki Deklarasyonu prensiplerine uygun şekilde yürütülmüştür.

3. UYGULAMA PROTOKOLÜ VE ANALİZİ (IMPLEMENTATION PROTOCOL AND ANALYSIS)

Uygulama için TheEyeTribe göz takip sistemi ve OGAMA göz izleme analiz yazılımı kullanılarak, göz sabitleme sürelerinin tamamı, gözün anlık hareketlerinin (geçişlerinin) toplamı, bir ilgi alanındaki toplam bekleme süreleri, tekrarlı bakışlar, ortalama göz sabitleme süresi, giriş zamanı gibi göz izleme karakteristik parametreleri tespit edilmiştir. Bir ilgi alanında daha uzun süre fiksasyon yaşanması, o alanda ilginin ve görsel uyarının artış göstermesi olabileceği gibi, kimi zaman bu alanlardaki görsel bilgi dönüşünün az olması nedeniyle gözlemleniyor olabilmektedir. Gözlenen hareketlerin açık olması ve verilen görevin karmaşık olmaması sebebiyle uzun sabitleme durumları ilginin artışı ve uyarına tepki/yanıt olarak değerlendirilmektedir.

Her bir bireyin göz fizyolojisi farklılık gösterdiğinden uygulama öncesi her bir katılımcı için kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ortalama 20 saniye süren kalibrasyon işlemi ile göz izleme düzeneğinde, katılımcının gözbebeği merkezinin yerinin tespit edilebilmesi ve ölçümlere için cihazla entegre olabilmesi oldukça önem taşımaktadır. Kalibrasyon işleminde, katılımcının gözünü ekrandan ayırmadan ve başını hareket ettirmeden ortaya çıkan hedefleri takip etmesi beklenmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Kalibrasyon ekranı görüntüsü
(Image of calibration screen)

Çalışmada kullanılan göz izleme cihazı, saniyede 15 santimetreye kadar katılımcının başını oynatmasına izin vermektedir. Ancak bu özelliğe rağmen çalışma süresi

boyunca katılımcıların kafa hareketlerinin en az seviyede olması sağlanmıştır.

Kalibrasyon aşamasından sonra deney protokolüne geçilmiş ve IAPS'ten seçilen ve göz takip yazılımına eklenip hazırlanan sunum her bir katılımcıya izletilmiştir. Her bir seçili uyaran fotoğrafın ekranda kalma süresi 5 saniye olarak seçili deney protokolünde, her bir uygulama toplamda 5 dakika 59 saniye sürmektedir. Katılımcılardan bazıları çalışmanın ortalarında olumsuz fotoğraflardan rahatsız olup çalışmayı sonlandırmışlardır, bazıları ise çalışmayı sonuna kadar devam ettirmiş ancak olumsuz fotoğraflarda gözlerini ekrandan ayırdıkları belirlenmiştir, bu katılımcıların verileri çalışma sonucuna dahil edilmemiştir.

3.1. Göz Hareketlerinin Sınıflandırılması (Classification of Eye Movements)

Çalışmada IAPS'ten seçilmiş toplam 60 adet fotoğraf 13 adet katılımcıya sunulmuş ve göz takip cihazı ve yazılımı kullanılarak, katılımcıların tüm fiksasyon süreleri, gözün kısa ve hızlı anlık hareketleri, seçili bir ilgi alanındaki bekleme sürelerinin tamamı, tekrarlı bakışlar, ortalama göz sabitleme süresi, giriş zamanı gibi göz izleme parametreleri veri tabanına kaydedilmiştir. Bu veriler k en yakın komşu (kNN), Naïve Bayes, destek vektör makineleri (DVM) doğrusal ayırmacılık analizi, karar ağaçları ve lojistik regresyon yöntemleri kullanılarak sınıflandırma gerçekleştirilmiştir.

K-En Yakın Komşu yönteminde, sınıf bilgisi uyarınca n boyutlu uzay içinde örneklem tasvir edilmektedir [20]. Sınıf tespiti gereken ve sınıfı bilinmeyen yeni bir örneklem için, kendisine en yakın olan, k sayıdaki komşu örnek saptanır. En yoğun ve en yakın olduğu komşular sınıfına atanarak sınıf belirlemesi gerçekleştirilmektedir [20]. Bayes Teoremi'ne dayanan Naïve Bayes yöntemi belirli koşullar etkisinde, eldeki özniteliklerin birbirinden bağımsız olduğunu kabul ederek, bir sonucun oluşma olasılığını göstermektedir [21-22]. DVM, sınıflandırma için en uzak mesafede olacak hiperdüzlemi arayan, kullanılan çekirdek fonksiyonunun sınıflar arasındaki sınırın uzaklığını belirleyen katsayı ve karar sınırının şeklini belirleyen katsayının (Gamma) optimizasyonuna dayalı yöntemdir [23,24]. Karar ağaçları ise gürültü toleransı, düşük hesaplama ihtiyaçları, uygulama kolaylığı ve sağladığı görsellik ile [25] literatürde sınıflandırma çalışmaları için oldukça tercih edilen bir yöntemdir [26]. Özyinelemeli bir yöntem olup, bilgi kazancı en yüksek olan öznitelik dallanma ile seçim gerçekleştirilir [27]. Ayrıca bu yöntemlere ek olarak çok değişkenli istatistiksel analiz metodları olarak LDA ve LR incelemeye eklenmiştir.

Uyaran görüntüleri gerçekleştirilen göz izleme ölçümlemesi sonucunda uyaran resim numarası (U.No), odaklanma sayısı (Odakl.Sayı), toplam süre (TplmSüre), toplam süre odaklanma süresi (Tplm Süre Odak. Süre.), pupil çapı x ortalaması, pupil çapı y ortalaması (au, keyfi birim) ve resim duygu durumu olarak farklı parametreler

raporlanmıştır (Tablo 3). Yukarıda aktarılan sınıflandırma yaklaşımları için, resim başına ortalama odaklanma süresi, sağ göz pupil çapı ve sol göz pupil çapı olmak üzere üç öznitelik kullanılmıştır. Sınıflandırma başarısının test edilmesi için Tablo 4'te özetlenen karışıklık matrisinden faydalanılmıştır.

Tablo 3. Kayıtlanan göz takip sistemi parametrelerine ait örnek bir veri kümesi

(Sample dataset of recorded eye tracking parameters)

U.No	Odakl. Sayısı	Tplm Süre	Toplam Süre		Pupil Çapı Y		Resim Durumu
			Odak. Süre. (ms)	Pupil Çapı X Ort. (au)	Ort. (au)	Resim Durumu	
6	8	1796	224,5	21,76239	22,230		Olumsuz
2	5	4294	858,8	23,60493	24,214		Olumlu

Tablo 4. Karışıklık matrisi (Confusion matrix)

		Var olan durum	
		Olumlu	Olumsuz
Tahmin	Doğru	TP	TN
	Yanlış	FP	FN

Tablo 4'te yer alan karışıklık matrisi (hata matrisi), gerçek değerlerin bilindiği test verisi üzerinde uygulanan sınıflandırma yönteminin performansını saptayabilmek için tercih edilmektedir. Karışıklık matrisi uygulanarak gerçekleştirilen sınıflandırma yönteminin başarı performansını tespit edebilmek amacıyla anma, hassasiyet ve F1 ölçütlerinden faydalanılmıştır.

Anma (recall), her bir sınıf için doğru bir şekilde tahminde bulunulan örneklerin bu sınıfta tahmin edilen toplamdaki örnek sayısına oranı olarak tanımlanmaktadır. Karışıklık matrisi göz önüne alınarak keskinlik değerleri olumlu (1) ve olumsuz (2) grup için hesaplanmaktadır.

$$Anma_{olumlu} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (1)$$

$$Anma_{olumsuz} = \frac{TN}{TN+FP} \quad (2)$$

Hassasiyet (precision), her bir sınıf için doğru bir şekilde sınıflandırılan örneklerin, pozitif sınıflandırılmış örnek sayısına bölümü olarak tanımlanmaktadır. Karışıklık matrisi göz önüne alınarak hassasiyet değerleri denklem (3) ve (4)'te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır;

$$\text{Hassasiyet}_{\text{olumlu}} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (3)$$

$$\text{Hassasiyet}_{\text{olumsuz}} = \frac{TN}{TN+FN} \quad (4)$$

F1 skoru, hassasiyet ve anma değerlerinin harmonik ortalaması olarak bilinmektedir (5). F1 skor hesaplaması formülde gösterildiği şekilde gerçekleştirilmektedir.

$$F1 = \frac{2 \times \text{Anma} \times \text{Hassasiyet}}{\text{Anma} + \text{Hassasiyet}} \quad (5)$$

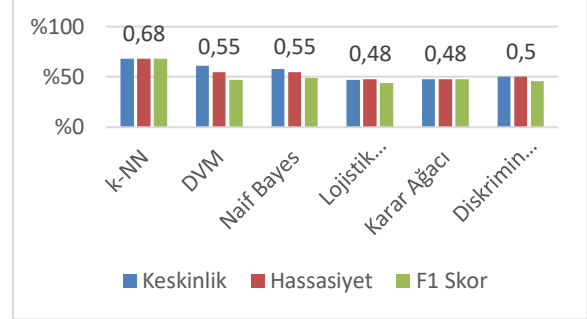
4. SONUÇ VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Literatürde fazlasıyla kullanılan teknikler de göz önüne alınarak katılımcıların göz hareketlerini takip etmek için bir sistem ortaya koyulmuş ve çalışma için hedefe uygun bir deney paradigması geliştirilmiştir. Katılımcıların çalışmayı gerçekleştirdiği süre içerisinde gerçek zamanlı bir şekilde göz pupil hareketleri göz takip cihazı ve yazılımı yardımıyla izlenerek; görüntüler üzerinde pupil koordinatları (x, y) ve çapları belirlenmiştir. Gözdeki pupilin bahsedilen noktaların hangilerinde ne kadar süre boyunca kaldığı bilgileri hesaplanmış, katılımcının uyarın fotoğraflarına verdiği tepkiler, pupil çapında ve odak noktalarında izlenen değişimler üzerinden raporlanmıştır. Çalışma süresince gözün gerçekleştirdiği toplam odaklanma sayısı saptanmış ve katılımcıların çalışma süresi boyunca uyarın sınıflarının her birinde sabitlendiği süre belirlenmiştir.

Veri analizi aşamasında, Naive Bayes, destek vektör makineleri, k-NN (k en yakın komşu), lojistik regresyon, karar ağacı ve doğrusal ayrımcılık analizi sınıflandırma yöntemleri uygulanmıştır. Verilere uygulanan sınıflandırma yöntemleri neticesinde başlangıçta sınıflandırmanın başarı oranı tüm sınıflandırma yöntemlerinde yaklaşık %50 oranında ve yetersiz bulunmuştur. Bu durum uygulanan sınıflandırma yöntemlerinin hiçbirisinin 3 uyarın grubunu birbirinden ayırt edememesinden kaynaklanmıştır. Nötr uyarın sınıfı olumlu ve olumsuz uyarın sınıflarına değerlik puanları bakımından hemen hemen eşit derecede yakın olduğu için tüm sınıflandırma yöntemlerinin sonuçlarının yetersiz çıkmasına sebebiyet vermiştir. Sınıflandırma yaklaşımı güncellenerek, üç uyarın sınıfı içerisinde nötr uyarın sınıfının sınıflandırma testine dahil edilmeyerek, tüm sınıflandırma yöntemlerinin yeniden uygulanmıştır. Bu karar doğrultusunda uyarın sınıflarından nötr olanları yapılan sınıflandırma uygulamasından çıkarıldıktan sonra geriye kalan olumlu ve olumsuz uyarın sınıflarına karşı ortaya çıkan veriler kullanılarak uygulanan sınıflandırma testi beklenildiği gibi daha başarılı bir sonuç ortaya koymuştur.

Seçili parametreler, kNN, naive Bayes, destek vektör makineleri, doğrusal ayrımcılık analizi, karar ağaçları ve lojistik regresyon yöntemleri kullanılarak sınıflandırılmış ve %68'lik bir oran ile k-NN sınıflandırma yönteminde en yüksek başarıya ulaşılmıştır (Şekil 3). Böylelikle

kişilerdeki emosyon halinin gözbebeklerinde fizyolojik olarak farklılıklara sebebiyet verdiği ortaya çıkmış ve nicel olarak gösterilmiştir. Analiz sonuçlarında, Naive Bayes ve DVM için %55, doğrusal ayrımcılık analizi için %50, karar ağaçları ve lojistik regresyon yöntemleri sınıflandırma sonuçları için %48 sınıflandırma başarıları bulunmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Sınıflandırma yöntemleri karşılaştırma sonuçları
(Comparative results of the classification methods)

İki katılımcının deneyi tamamlayamadıkları için, kalan 11 katılımcının verileri üzerinden analiz sürdürülmüştür. 220 adet olumlu 220 adet olumsuz uyarınlardan ortaya çıkan toplamda 440 adet veri elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerin rastgele olarak %80'i eğitim, %20'si test kümesi olarak kullanılmıştır.

Olumlu ve olumsuz olmak üzere toplamda 440 adet veri, karışıklık matrisi ve ilgili keskinlik ve hassasiyet denklemleri kullanılarak en başarılı sınıflandırma yöntemi olan k-NN sınıflandırma yöntemi için detaylı incelenmiş ve sonuç raporları ayrıntılı olarak gösterilmiştir (Tablo 5 ve Tablo 6).

Literatürde, Soleymani ve diğ. bakış mesafesi, pupiler yanıt ve EEG verilerinden faydalanarak kullanıcılara bağımsız bir şekilde duygu tanıma tekniğini sunmuş, böylece 3 sınıflandırma değeri için % 68,5 ve 3 uyarıcı etiketi için ise % 76,4 oranında en iyi doğruluk oranlarını elde etmişlerdir [28]. Yine sporcularda yürütülmüş göz takip çalışmalarında, 70 saniyelik karate kata videosunun uyarın paradigması olarak kullanıldığı araştırmada elit karate sporcularının kontrol grubuna oranla fiksasyon sayılarının daha çok olduğu saptanmıştır [29]. Ayrıca sürenin yanı sıra, elit sporcuların ortalama sabitleme sürelerinin de daha yüksek olduğu raporlanmıştır [29]. Bir diğer sporcu grup odaklı göz takip çalışmasında, elit sualtı hokeyi sporcularında çalışılmış, gruplar arasında belirgin bir ayırım gösterilmiş ve elit sporcuların görsel ödev uygulamalarında göz sabitlemelerinin kontrol gruba kıyasla fazla olduğu saptanmıştır [30]. Masa tenisi sporuna başlamamış iki grup ile yapılan Kaya ve diğ. ait bir başka çalışmada, bir gruba masa tenisi eğitimi verilmiş, diğer gruba ise verilmemiştir. Antrenman programı sonunda son ölçümler ile, el ve robot ile atılan hızlı ve yavaş servis videolarını uyarın olarak derlendiği görsel dikkat paradigması ile test edilmiştir. Bulgularda, yalnızca el ile ve hızla atılan servislerin göz takibinde anlamlı farklılık,

ayrıca bu servislere karşılık deneklerin belirgin bir gelişme gösterdiği saptanmıştır [31]. Bu ve benzeri bulgular, literatürde farklı spor branşlarında gerçekleştirilen çalışmaların sonuçlarının göz-zihin hipotezini desteklediğini göstermektedir. Farklı alanlarda yürütülen çalışmalarda, kişinin göz izleme parametreleri ile bir modelin (arayüz veya bataryanın) kullanılabilirlik ölçütünü; stres, uyanıklık (arousal) seviyesini, zihinsel işyükü değerlendirmelerini EEG ile birleştirerek yorumlayabilmektedir [32]. EEG sinyallerinden yola çıkılarak çeşitli sinyal işleme teknikleri ile de duyu durumu belirlenmektedir [34].

Tablo 5. Karışıklık matrisi
(Confusion matrix)

		Var olan durum	
		Olumlu	Olumsuz
Tahmin	Doğru	29	31
	Yanlış	15	13

Tablo 6. Test veri kümesi için k-NN sınıflandırma bulguları
(The k-NN classification findings for test data)

	Kesinlik	Hassasiyet	F1 Skorlama	Toplam Uyarın Sayısı
Olumsuz	0,67	0,70	0,69	44
Olumlu	0,69	0,66	0,67	44
Ort. / Toplam	0,68	0,68	0,68	88

Ayrıca, yakın zamanda yapılan bir çalışmada, algısal bağlam görsel olmadığında bile duygusal uyarılmanın pupiler artışlara yol açtığını öne sürerek, nötr uyarınlar ile karşılaştırıldığında katılımcıların etkili bir şekilde ilgisini çektiklerinde, pupilla (gözbebeği) genişlemesini arttırdığını bildirmişlerdir [33]. Göz hareketlerinin takibi literatürde duyu algılamanın yanı sıra kullanılabilirlik [35] çalışmalarında ve beyin bilgisayar arayüzü çalışmalarında [36] sıklıkla kullanılmakta ve duyu durumu tespiti amaçlı yürütülen farklı yaklaşımlara üstünlük sağlamaktadır [37].

Sonuç olarak, k-NN sınıflandırma tekniği kullanılarak elde edilen başarı göz önüne alındığında, kişilerin sunum esnasında gösterilen olumlu ve olumsuz uyarınlar karşısında gözbebeklerinin verdiği tepkinin duygulanım cinsine göre bir takım fizyolojik farklılıklara sebep olduğu tespit edilmiş ve niceliksel olarak bulgulara yansıtılmıştır.

Yürütülen çalışma özgün bir çalışma olup, örneklem sayısı artırılarak, cinsiyete göre grup oluşturularak, paradigmlar çeşitlenerek devam çalışmaları geliştirilmeye açık görülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] P. R. Kleinginna, A. M. Kleinginna, "A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition," *Motivation and Emotion*, 5(4), 345–379, Kluwer Academic Publishers-Plenum Publishers, December, 1981.
- [2] A. S. R. Manstead, **Psychology of Emotions**, Sage Publications Ltd, 89, 2008.
- [3] M. Uğur, **Medikal psikoloji**, Sahhaflar Kitap Sarayı, 475-476, 1994.
- [4] P. Ekman, "An argument for basic emotions", *Cognition & Emotion*, 6(3), 169- 200, 1992.
- [5] J. A. Russell, "A circumplex model of affect", *Journal of Pers. Soc. Psychol.*, 39, 1161–1178, 1980.
- [6] R. F. Staners, M. Coulter, A. W. Sweet, P. Murphy, "The papillary response as an indicator of arousal and cognition", *Motivation and Emotion*, 3(4), 319-340, 1979.
- [7] G. S. Dichter, A. J. Tomarken, B. R. Baucom, "Startle modulation before, during and after exposure to emotional stimuli", *International Journal of Psychophysiology*, 43, 191-196, 2002.
- [8] L. Ruiz-Padial, J. J. Sollers, J. Vila, J. F. Thayer, "The rhythm of the heart in the blink of an eye: Emotion-modulated startle magnitude covaries with heart rate variability", *Psychophysiology*, 40, 306–313, 2003.
- [9] M. G. Calvo, P. J. Lang, "Gaze patterns when looking at emotional pictures: Motivationally biased attention", *Motivation and Emotion*, 28, 221–243, 2004.
- [10] V. L. Kinner, L. Kuchinke, A. M. Dierolf, C. J. Merz, T. Otto, O. T. Wolf, "What our eyes tell us about feelings: Tracking pupillary responses during emotion regulation processes", *Psychophysiology*, 54(4), 508-518, 2017.
- [11] R. Ambrosio, S. C. Schallhorn, S. E. Wilson, "The importance of pupil size in refractive surgery", **Refractive Surgery Outlook**, American academy of ophthalmology, 2002.
- [12] R. Duffey, D. Leaming, "Trends in refractive surgery in the United States", *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 30-8, 1781-1785, 2004.
- [13] I. E. Loewensfeld, "**The pupil: Anatomy, physiology, and clinical applications**", Iowa City: Iowa State University, 1993.
- [14] E. H. Hess, J. M. Polt, "Pupil size as related to interest value of visual stimuli", *Science*, 132(3423), 349-50, 1960.
- [15] J. L. Armony, R. J. Dolan, "Modulating of spatial attention by fear-conditioned stimuli: An event-related fMRI study", *Neuropsychologia*, 40, 817–826, 2002.
- [16] K. Mogg, J. MacNamara, M. Powys, H. Rawlinson, A. Seiffer, B. P. Bradley, "Selective attention to threat: A test of two cognitive models of anxiety", *Cognition and Emotion*, 14, 375–399, 2000.

- [17] E. H. Koster, G. Crombez, S. Van Damme, B. Verschuere, J. De Houwer J., "Does imminent threat capture and hold attention?", *Emotion*, 4(3), 312-317, 2004.
- [18] A. Voßkühler, V. Nordmeier, L. Kuchinke, A. M. Jacobs, "OGAMA-Open Gaze And Mouse Analyzer: Open source software designed to analyze eye and mouse movements in slideshow study designs", *Behavior Research Methods*, 40(4), 1150-1162, 2008.
- [19] P. J. Lang, M. M. Bradley, B. N. Cuthbert, "International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual", **Technical Report A-8**, University of Florida, Gainesville, FL, 2008.
- [20] V. Nitin Bhatia, "Survey of Nearest Neighbor Techniques", (*IJCSIS International Journal of Computer Science and Information Security*, 8(2), 2010.
- [21] I. Rish, "An empirical study of the naive Bayes classifier", *IJCAI Workshop on Empirical Methods in AI*, 2001.
- [22] P. Domingos, M. Pazzani. "On the optimality of the simple Bayesian classifier under zero-one loss", *Machine Learning*, 29, 103-130, 1997.
- [23] C. Cortes, V. Vapnik, "Support-vector networks", *Machine Learning*, 20(3), 273-297, 1995.
- [24] A. Ben-Hur A, J. Weston. "A User's Guide to Support Vector Machines", *J. Methods Mol. Biol.*, 609, 223-239, 2010.
- [25] R. Coelho, et al.. "Survey of Evolutionary Algorithms for Decision-Tree Induction", *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part C: Applications And Reviews*, 42(3), 2012.
- [26] L. Rokach, O. Maimon, "Top-down induction of decision trees classifiers", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, 35(4), 476- 487, 2002.
- [27] J.R. Quinlan, "Induction of Decision Trees", *Machine Learning*, 1(1), 81-106, 1986.
- [28] M. Soleymani, M. Pantic, T. Pun, "Multimodal emotion recognition in response to videos", *IEEE Transactions on Affective Computing*, 3(2), 211-223, 2012.
- [29] T. Balcıoğlu, D. Şahin, M. Assem, S. B. Selman, D. Göksel Duru, "Analysis of Gaze Characteristics with Eye Tracking in Elite Athletes: A Pilot Study", **Proc. of IEEE BIYOMUT 18th National Biomedical Engineering Conference**, 1-4, 2014.
- [30] Ö. Battal, T. Balcıoğlu, A. D. Duru, "Analysis of gaze characteristics with eye tracking system during repeated breath holding exercises in underwater hockey elite athletes", **Proc. of IEEE BIYOMUT 20th National Biomedical Engineering Meeting**, 2016.
- [31] Y. Kaya, A. D. Duru, "Masa Tenisi Çok Top Antrenmanının 9-12 Yaş Grubu Çocuklarda Görsel Reaksiyon Performansındaki Etkisinin İncelenmesi", *Marmara Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 1(2), 2016.
- [32] D. E. Barkana, A. Açık, D. Goksel Duru, A. D. Duru, "Erratum to: improvement of design of a surgical interface using an eye tracking device", *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 11(1), 48, 2014.
- [33] T. Partala, M. Jokiniemi, V. Surakka, "Pupillary responses to emotionally provocative stimuli", **Proceedings of the Eye Tracking Research & Application Symposium, ETRA 2000**, Palm Beach Gardens, Florida, USA, November 6-8, 2000.
- [34] M. D. Basar, A. D. Duru, A. Akan, "Emotional state detection based on common spatial patterns of EEG", **SIViP (2019)**. <https://doi.org/10.1007/s11760-019-01580-8>.
- [35] Y. İnal, N. Özen Çınar, K. Çağiltay, "Kamu İnternet Sitelerinde Yer Alan Arama Alanlarının Kullanılabilirliği ve Buna Yönelik Kullanıcı Davranışlarının Belirlenmesi", *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 9(1), 41-54, 2016.
- [36] E. Koç, O. Bayat, D. Göksel Duru, A. D. Duru, "Göz Hareketlerine Dayalı Beyin Bilgisayar Arayüzü Tasarımı", *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(1), 176-188, DOI: 10.29137/umagd.555494, 2020.
- [37] B. Karaöz Akın, U. T. Gürsoy Şimşek, "Adaptif Öğrenme Sözlüğü Temelli Duygu Analiz Algoritması Önerisi", *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 11(3), 245-253, 2018.