

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VIDEO GÖRÜNTÜLERİNE DAYALI NÖROPSİKOLOJİK TESTLER İÇİN

PUPİL (GÖZ BEBEĞİ) HAREKETLERİ İZLEME SİSTEMİ

GÖKAY AKINCI

KASIM 2011

ÖZET

VİDEO GÖRÜNTÜLERİNE DAYALI NÖROPSİKOLOJİK TESTLER İÇİN PUPİL (GÖZ BEBEĞİ) HAREKETLERİ İZLEME SİSTEMİ

AKINCI, Gökay

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ediz Polat

Kasım 2011, 81 sayfa

Video görüntülerinden gözün nereye baktığı bilgisinin çıkartıldığı göz izleme sistemleri, bilgisayarlı görü uygulamalarında giderek yaygınlaşmaktadır. Gözün nereye baktığı bilgisi (x, y koordinatları ve göz bebeğinin yarıçapı) nöropsikolojik bozuklukların teşhisi, bilişsel dilbilim çalışmaları, reklamların etkinlik analizi ve insan bilgisayar etkileşimi gibi geniş bir alanda yaygın olarak kullanılabilir. Bu tezde, nöropsikolojik testler için kullanılması planlanan bir göz izleme sistemi gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca nöropsikolojik testler de tez kapsamında gerçekleştirilecektir.

Video görüntülerinden pupilin (göz bebeği) pozisyon (x , y) ve yarıçap (r) bilgilerinin çıkartılması için Aktif Kontur Yılan modeli ile elips bulma algoritması önerilmiştir. Ayrıca Aktif Kontur Yılan modeli ve elips bulma algoritması ile bu alanda yaygın olarak kullanılan diğer algoritmalar (Integro Diferansiyel Operatör ve Hough Dönüşümü) arasındaki kapsamlı karşılaştırmalar da sunulmuştur. Pupilin yerinin tam olarak bulunması ve pupilin yarıçapının net olarak ölçülmesi konularında, deneysel sonuçlar Aktif Kontur Yılan yönteminin diğer yöntemlerden (Integro Diferansiyel Operatör ve Hough Dönüşümü) daha iyi performansa sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle nöropsikolojik testler için kullanılması planlanan göz izleme sistemi, Aktif Kontur Yılan modeli ile elips bulma algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu tezde gerçekleştirilen nöropsikolojik testler bipolar bozukluğu olan grup ve kontrol grubu olmak üzere iki farklı gruba uygulanmıştır. Göz izleme sistemi ve nöropsikolojik testler eş ve gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır. Seçilen bazı kelimeler kişilere bilgisayar ekranında gösterilerek nöropsikolojik testler gerçekleştirilmiştir. Kişiler bu kelimeleri okurken, göz izleme sistemi ile aynı anda gözün ekranda baktığı yerin koordinatları ve bu kelimelere ne kadar süreyle baktıkları belirlenmektedir. Testlerden alınan bu veriler, bipolar bozukluğu olan grup ve kontrol grubunu ayrı ayrı sınıflandırmak amacıyla Destek Vektör Makinelerini (DVM) eğitmek için kullanılmıştır.

Testlerin analiz edilmesiyle bipolar bozukluğu olan grubun toplam kelimeleri okuma sürelerinin kontrol grubundan daha uzun olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, bipolar bozukluğu olan kişiler genellikle kelimelerin köküne ve ekine kontrol grubundaki kişilerin baktıklarından daha çok bakmaktadırlar.

Literatürde, bu tez kapsamındaki çalışmalar derinden araştırılmamıştır. Bu nedenle, bu özgün çalışmanın psikoloji ve nöropsikoloji alanında yapılacak araştırmalara yol göstereceği düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELEER: Göz İzleme, Pupil Bulma, Aktif Kontur Yılan modeli ile elips bulma algoritması, Integro-Diferansiyel Operatör, Hough Dönüşümü, Bipolar Bozukluk, Destek Vektör Makineleri (DVM).

ABSTRACT

VIDEO BASED PUPIL MOTION TRACKING SYSTEM FOR NEURO PSYCH TESTING

AKINCI, Gökay

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Eng., M. Sc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ediz Polat

November 2011, 81 pages

Eye tracking systems, which extract the knowledge of where the eye looks at in video sequences, have become increasingly popular in computer vision applications. The knowledge of where the eye looks at (x,y coordinates and radius of pupil) can be used in a wide spectrum of areas such as diagnosis of neuropsychological disorders, studying cognitive linguistics, analysing of effectiveness at advertisements and human computer interaction. The main aim of this thesis is to perform the eye tracking system which can be used in neuro psych tests. Moreover, neuro psych tests will be conducted in the scope of this thesis.

An Active Contour Snake model with ellipse fitting algorithm is proposed to extract the position (x,y) and radius (r) information of pupils in video sequences. It is also presented a comprehensive comparison between an Active Contour Snake model and ellipse fitting algorithm with other algorithms (Integro Differential Operator and Hough Transformation) which are frequently used in this field of study. Experimental results show that the Active Contour Snake method has superior performance than other methods (Integro Differential Operator and Hough transformation) in terms of precise localization of pupils and accurate measurement of pupil radius. So, eye tracking system which can be planned to use in neuro psych tests is actualized with using an Active Contour Snake model with ellipse fitting algorithm.

The neuro psych tests of this thesis are applied to two different groups namely; bipolar disorder group and control group. The eye tracking system and neuro psych tests work simultaneously and in real time. In order to conduct the neuro psych tests, some selected words are shown to the people using a computer screen. While they are reading these words, the eye tracking system is used to determine the coordinates of the screen where the eye looks at and how long it looks at to these words at the same time. These data acquired from these tests are used for training Support Vector Machines (SVM) for classifying the bipolar disorder and control groups separately.

It is observed from analysis of these tests that the total words reading time of the bipolar disorder group is longer than that of the control group. Moreover, the bipolar disorder people generally look at to roots and suffix of the words more than the control group people do.

This research work covered in this thesis has not been deeply studied in the literature. Therefore, it is expected that this unique work will lead up to further research studies in the field of psychology and neuro psychology.

KEY WORDS: Eye Tracking, Pupil Detection, Active Contour Snake model with ellipse fitting algorithm, Integro-Differential Operator, Hough Transform, Bipolar Disorder, Support Vector Machines (SVM).

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sırasında bilgisini ve desteğini paylaőmaktan çekinmeyen danıőmanım Doç. Dr. Ediz POLAT'a teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca bipolar bozukluk ve deney paradigmaları konusunda bilgisini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Orhan Murat KOÇAK'a teőekkürlerimi sunarım. Tez savunmam sırasında görüşlerini belirterek yardımcı olan jüri üyeleri Yrd. Doç. Dr. Eyüp TUNA ve Yrd. Doç. Dr. Tolga EREN'e teőekkürlerimi sunarım.

Bütün eğitim öğretim hayatım boyunca desteğini esirgemeyen annem Ömür AKINCI, babam Selim AKINCI ve kardeőim Aykut AKINCI'ya őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Gözün Yapısı	1
1.2. Göz İzleme ve Tarihçesi	1
1.3. Göz İzleme Teknikleri	4
1.4. Bipolar Bozukluk (İki Uçlu Bozukluk).....	10
1.5. Destek Vektör Makineleri (DVM)	13
1.6. Çalışmanın Kapsamı	15
1.7. Çalışmanın Amacı.....	16
2. GELİŞTİRİLEN SİSTEM	19
2.1. Integro-Diferansiyel Operatör	23
2.2. Hough Dönüşümü	25
2.2.1. Canny Kenar Bulma Algoritması	25
2.2.2. Dairesel Hough Dönüşümü	26

2.3. Aktif Kontur Yılan Yöntemi	28
2.3.1. Binary Görüntü Oluşturma	29
2.3.2. Aktif Kontur Yılan Yöntemi ile Elips Bulma Algoritması	30
2.4. Yöntemlerin Karşılaştırılarak Uygun Yöntemin Belirlenmesi	37
3. DENEY VERİLERİ VE SINIFLANDIRILMASI	51
3.1. Bipolar Duygu Durum Bozukluğu	51
3.2. Kullanılan Deneş Paradigması	52
3.3. Deneş Paradigmasıyla Paralel Çalışan Göz Hareketleri Takip Sisteminden Elde Edilen Veriler	55
3.4. Elde Edilen Verilerden İstenilen Parametrelerin Hesaplanması	58
3.5. Parametrelerin İstatistiksel Analizi	60
3.6. Sonuçların Değerlendirilmesi	64
3.7. Verilerin DVM için Uygun Hale Getirilerek DVM'ye Uygulanması	65
3.8. DVM'nin Sonuçlarının Yorumlanması	72
4. SONUÇLAR	73
KAYNAKLAR	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

2.1. Video 1'den alınan 25 adet resim için Integro-Diferansiyel Operatör, Hough Dönüşümü ve Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemlerinden elde edilen (pupil merkez koordinatları ve yarıçapları için) Ortalama Kare Hataları (MSE)	39
2.2. Video 2'den alınan 10 adet resim için Integro-Diferansiyel Operatör, Hough Dönüşümü ve Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemlerinden elde edilen (pupil merkez koordinatları ve yarıçapları için) Ortalama Kare Hataları (MSE)	39
2.3. Video 3'den alınan 50 adet resim için Aktif Kontur Yılan algoritmasından elde edilen (pupil yarı eksenleri (w)(h) ve merkez koordinatları (x,y) için) Ortalama Kare Hatası (MSE)	45
2.4. Video 3'den alınan 100 adet resim için Aktif Kontur Yılan algoritmasından elde edilen (pupil yarı eksenleri (w)(h) ve merkez koordinatları (x,y) için) Ortalama Kare Hatası (MSE)	46
3.1. Üç farklı görünüş kipleri (bitmişlik (-dı), sürüyorluk (-yor), ve plan\niyet aşamasındalık (-acak)) kullanılarak oluşturulmuş anlamlı örnek kelimeler	53
3.2. Üç farklı görünüş kipleri (bitmişlik (-dı), sürüyorluk (-yor), ve plan\niyet aşamasındalık (-acak)) kullanılarak oluşturulmuş anlamsız örnek kelimeler	54

3.3. Kontrol grubundaki sağlıklı bir kişinin 3 tane anlamlı kelimeyi okurken elde edilen verilerin örnek olarak gösterilmesi.....	57
3.4. Bipolar ve kontrol gruplarının anlamlı ve anlamsız kelimelere karşı verdikleri doğru ve yanlış sayıları	60
3.5. Gözün kelimenin eki üzerinde kaldığı toplam sürenin, kişinin kelimeyi okuyup fareye basana kadar geçen süreye oranının her üç görünüş kipi için ortalama değerleri	61
3.6. Kişinin karar vermeden önce baktığı en son yerin kelimenin eki olması durumunda gözün buradaki bekleme süresinin toplam okuma süresine oranının her üç görünüş kipi için ortalama değerleri	62
3.7. Tur sayılarının her üç görünüş kipi için ortalama değerleri	62
3.8. Kişinin fareye basma anına kadar geçen sürenin her üç görünüş kipi için ortalama değerleri	63
3.9. Kontrol grubundaki sağlıklı bir kişinin verilerinin DVM'ye uygulanmak için "-dı", "-yor", "-acak" görünüş kipleri göz önüne alınarak düzenlenmiş hali	68
3.10. Normal kişilerden alınan, DVM'ye uygulanan 20 adet test verisinden elde edilen sonuçlar ve çıkması gereken sonuçlar (Bipolar bozukluk gösterenlerin sonuçları (-) ; Normal kişilerin sonuçları (+))	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Gözün Yapısı	1
1.2. Okuma sırasında gözün yaptığı sıçrama ve sabitleme hareketleri (Lund University 2005)	3
1.3. Göze takılan özel manyetik lensler [5]	4
1.4. Göz çevresine yerleştirilen elektrotlar [7]	5
1.5. Kasların kasılma durumunda gelen bilgiler [8]	5
1.6. Kafa sabitleyici kullanılarak göz hareketlerinin tespit edilmesi [9][10]	6
1.7. (a) Kafaya monte edilen başlık veya (b) gözlük sistemi kullanılarak göz hareketlerinin tespit edilmesi [11][12]	6
1.8. Kızıl ötesi ışınlarla aydınlatılmış göz resmi [13]	8
1.9. Kafa sabitleyici kullanılarak görüntüye dayalı göz takip sistemi [14]	8
1.10. Kafaya sabitlenen başlık sistemi kullanılarak görüntüye dayalı göz takip sistemi [15]	9
1.11. DVM eğitimi	14
1.12. DVM’de sınıflandırılmış veriler	14
1.13. DVM testi	15
2.1. (a) Integro-Diferansiyel Operatör, (b) Hough Dönüşümü ve (c) Aktif Kontur Yılan Yöntemlerinin akış diyagramları	20
2.2. Kamera sisteminden alınan örnek göz resimleri	21

2.3. Gri resim formatına çevrilmiş resimler	22
2.4. Gauss filtresi uygulanan resimler	22
2.5. Integro-Diferansiyel Operatör uygulanarak pupilin tespit edilmesi	24
2.6. Canny Kenar Bulma algoritması sonucunda elde edilen kenar noktaları	26
2.7. (a) (x,y) noktasından, (b) geçebilecek doğruların, (c) (p,θ) düzleminde gösterimi	27
2.8. Hough Dönüşümü uygulanarak pupilin tespit edilmesi	28
2.9. OpenCV yazılımından örnek bir Trackbar ekran alıntısı	30
2.10. Binary görüntü oluşturma	30
2.11. (a) 4 yönlü ve (b) 8 yönlü zincir kodları	31
2.12. Örnek bir 4 yönlü zincir kodu	32
2.13. Zincir kodu uygulanarak referans sınırların belirlenmesi	32
2.14. Aktif Kontur Yılan algoritması uygulanarak iteratif olarak dış sınırların belirlenmesi	34
2.15. Aktif Kontur Yılan algoritması ile pupilin sınırlarının tespit edilmesi	35
2.16. En Küçük Kareler yöntemini uygulanarak pupilin elips matematiksel formunda ifade edilmesi	36
2.17. Elips parametreleri	37
2.18. Pupilin merkez koordinat piksel değerleri (x,y) ve yarıçap piksel değerleri (r) gösterimi “Merkez Koordinatları $(274,186)$, Yarıçapı (28) ”	38

2.21. Video 1 için (a) Integro-Diferansiyel Operatör, (b) Hough Dönüşümü ve (c) Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemlerinden elde edilen pupil merkez koordinatları (x,y) için Ortalama Kare Hatalarının (MSE) grafiksel olarak gösterimi	40
2.22. Video 2 için (a) Integro-Diferansiyel Operatör, (b) Hough Dönüşümü ve (c) Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemlerinden elde edilen pupil merkez koordinatları (x,y) için Ortalama Kare Hatalarının (MSE) grafiksel olarak gösterimi	40
2.19. Video 1'den alınan 25 adet resim için gerçek piksel değerleri, Integro-Diferansiyel Operatör, Hough Dönüşümü ve Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemleri uygulanarak elde edilen pupil merkez koordinatları (x,y) ve yarıçap (r) değerleri	41
2.20. Video 2'den alınan 10 adet resim için gerçek piksel değerleri, Integro-Diferansiyel Operatör, Hough Dönüşümü ve Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemleri uygulanarak elde edilen pupil merkez koordinatları (x,y) ve yarıçap (r) değerleri	42
2.23. Integro-Diferansiyel Operatörün kızıl ötesi aydınlatma kullanılmadan çekilen resimlere uygulanması	43
2.24. Hough Dönüşümü yönteminin kızıl ötesi aydınlatma kullanılmadan çekilen resimlere uygulanması	43
2.25. Aktif Kontur Yılan algoritmasının kızıl ötesi aydınlatma kullanılmadan çekilen resimlere uygulanması	43
2.26. Tez kapsamında gerçekleştirilen göz izleme sistemi	47
2.27. Video 3 'den alınan 50 adet resim için gerçek piksel değerleri ile Aktif Kontur Yılan algoritması uygulanarak elde edilen değerler	48-49

2.28. Video 3’de gözün kırıldığı anda veya aşırı gürültü olması gibi durumlarda pupilin yok olduğu durumlar	50
3.1. Gerçekleştirilen göz izleme sistemi ile kişilerin göz hareketlerinin takip edilmesi.....	54
3.2. DVM’ye eğitim verilerinin uygulanarak DVM’nin eğitilmesi	69
3.3. DVM testi	70
4.1. Kontrol grubundaki herhangi bir kişinin anlamlı bir kelimeyi okurken kelimenin üzerindeki göz hareketleri	74
4.2. Bipolar grubundaki herhangi bir kişinin anlamlı bir kelimeyi okurken kelimenin üzerindeki göz hareketleri	75

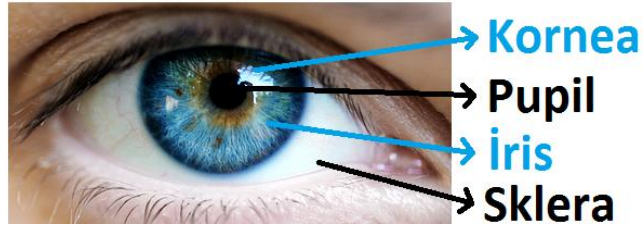
KISALTMALAR DİZİNİ

DVM	Destek Vektör Makineleri
SVM	Support Vector Machines

1. GİRİŞ

1.1. Gözün Yapısı

Göz, kafanın ön tarafında göz çukurunda yer almaktadır. Gözü sklera adı verilen sert ve beyaz renkli bir tabaka çevrelemektedir. Sklera gözün ön bölümünde tümsekleşerek saydam tabakayı oluşturmaktadır. Saydam tabaka (kornea), gözü toz gibi maddelerden koruyan tabakadır. Korneanın altında iris bulunmaktadır. İris yeşil, mavi, ela, kahverengi gibi renk pigmentlerini barındıran ve göze rengini veren tabakadır (Şekil 1.1’de irisi mavi renge sahip olan bir gözün yapısı gösterilmiştir). Ayrıca iris, pupilin (göz bebeğinin) büyüüp küçülmesini sağlayarak odaklanmayı gerçekleştiren kasları da barındırmaktadır. İrisin ortasında ise pupil yer almaktadır.



Şekil 1.1. Gözün Yapısı

1.2. Göz İzleme ve Tarihçesi

Kişinin gözünün bir noktadan diğer bir noktaya hareket etmesi içinde bulunduğu ortam ve bu ortamdaki nesnelere mi, yoksa zihninden mi kaynaklanmaktadır? [1]. Gözün nereye baktığının bilinmesi halinde kişinin ne düşündüğü hakkında bilgi sahibi olunabileceği düşüncesiyle, göz hareketlerini

izleyen ve bu hareketleri kaydeden sistemler tasarlanmaya ve geliştirilmeye başlanmıştır.

Göz hareketlerinin izlenmesi 1930'lu yıllara kadar uzanmaktadır. 1936 yılında göz hareketlerini izleyen bir sistem geliştirilerek, gözün nereye baktığı, nasıl hareketler yaptığı ve nasıl tepkiler verdiği konusunda incelemeler yapılmıştır [2].

1960'lı yıllarda pupilin büyümesi veya küçülmesi gibi durumlar dikkate alınarak, bu durumlarda kişinin etkilendiği kabul edilip reklam tasarımlarını incelemek amacıyla göz hareketleri takip edilmiştir [2].

1995 yılında bir telefon şirketi, göz izleme sistemini kullanarak, kişilerin herhangi bir sayfa üzerinde nerelere daha çok baktıklarını göz izleme sistemi ile bulmaya çalışarak, sayfaya yerleştirilecek reklamların yerlerini düzenlemeye çalışmışlardır [2].

Göz izleme sistemleri özellikle insan ile bilgisayar iletişim uygulamalarında kullanılmaktadır. Ayrıca bilişim teknolojilerinin gelişimine paralel olarak, web sayfalarında ve reklamlarda etkinlik analizinde, engelliler için bilgisayar kullanımında, tamamen felçli kişilerin iletişim çözümlerinde, psikolojik ve nöropsikolojik hastalıkların teşhisi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

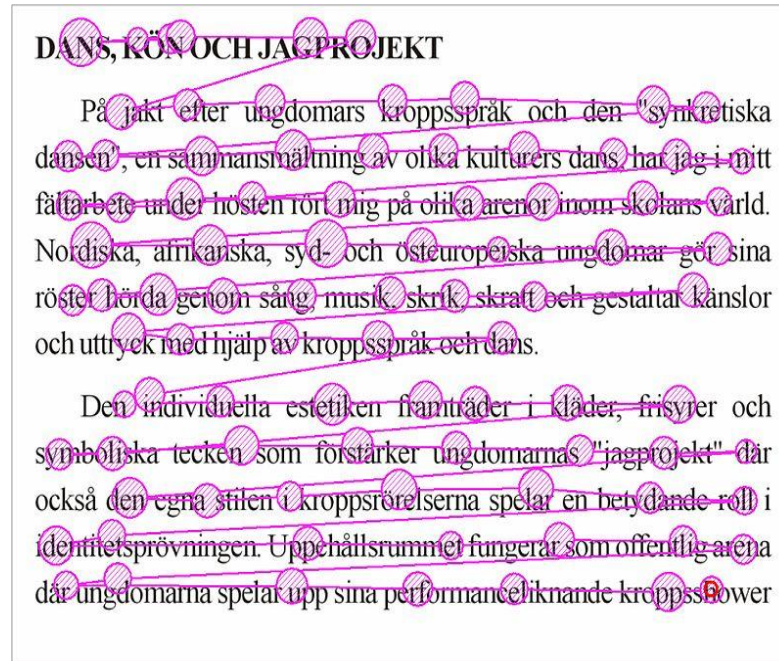
Göz izleme, bir uyarana karşısında gözün hareketlerinin kaydedilmesidir. Göz izleme, bir yazı okuma, bir resme bakma veya bir cisim inceleme anında, gözün hareketleri incelenerek, kişinin okuduğu yazıyı veya baktığı objeyi nasıl algıladığını ve bu görsel bilgiyi, hafızasında var olan eski bilgilerle nasıl eşleştirdiği konusunda bilgiler vermektedir. Uyarana bağlı olarak değişen;

- Gözün yarıçapı (r),
- Gözün merkez koordinatları (x,y),
- Gözün ne kadar süre boyunca sabit kaldığı veya hareket ettiği,

gibi parametreler göz izleme için belirlenmesi gereken parametrelerdir. Gözün sürekli olarak yaptığı iki hareket vardır:

- Sıçrama (saccade) (ortalama 40-50 milisaniye),
- Sabitleme (fixation) (ortalama 200-600 milisaniye). (Şekil 1.2)

Sıçrama, iki sabitleme noktası arasında gerçekleşen çok ani kaymadır. Sıçramayı takip eden sabitleme ise gözün 200 ile 600 ms'lik bir zaman dilimi boyunca sabit kalmasıdır. Aslında göz, bu sabitleme sırasında bile hareketlidir; ancak bu hareketlilik, sıçrama olarak adlandırılmayacak kadar küçük bir hareketliliktir.



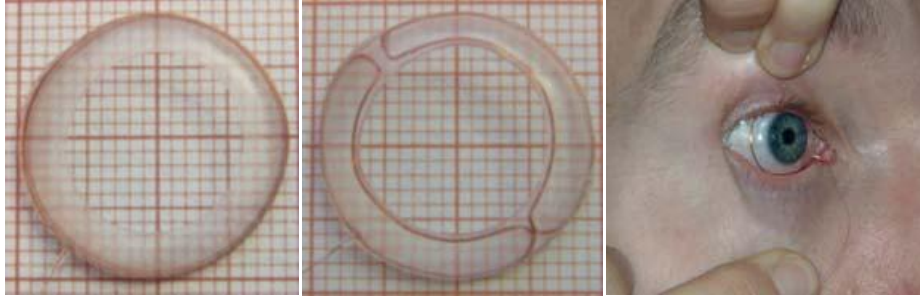
Şekil 1.2. Okuma sırasında gözün yaptığı sıçrama ve sabitleme hareketleri (Lund Üniversitesi 2005)

Gözün hareketlerini takip edebilmek için literatürde farklı teknikler kullanılmaktadır.

1.3. Göz İzleme Teknikleri

Literatürde göz izleme sistemi için 3 adet temel yöntem bulunmaktadır [3].

1.) Bu yöntemde göze takılan özel manyetik lensler (scleral search coil) yardımıyla (Şekil 1.3), göz hareketleri takip edilmektedir [4]. Bu manyetik lenslerin içerisinde küçük bir bobin bulunmaktadır. Yapay bir manyetik alan altında, gözün hareketlerine bağlı olarak bobin içerisinde akım meydana gelmektedir. Bu akım bilgisi işlenerek gözün hareketleri incelenmektedir.

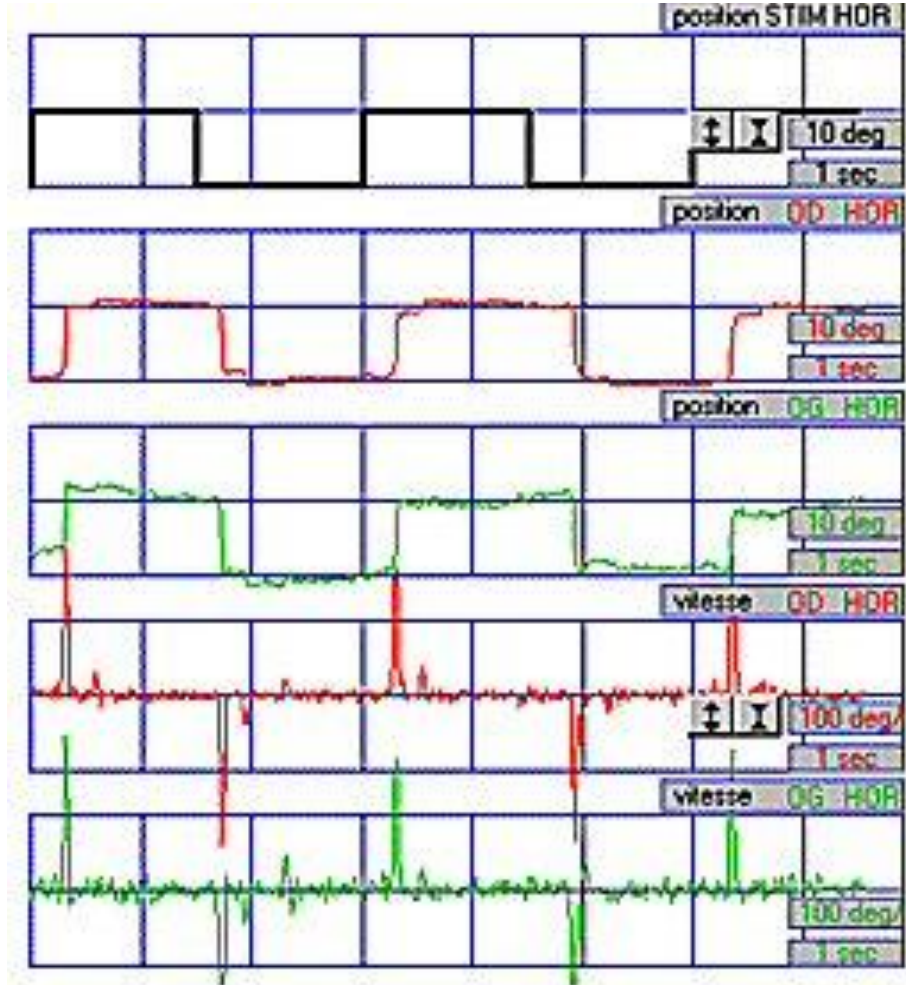


Şekil 1.3. Göze takılan özel manyetik lensler [5]

2.) Elektro-okulografi (electrooculography) (1989) yönteminde göz çevresindeki kaslar üzerine yerleştirilen elektrotlardan (Şekil 1.4) kasların kasılma durumunda gelen bilgiler (Şekil 1.5) işlenerek gözün hareketleri incelenmektedir [6].

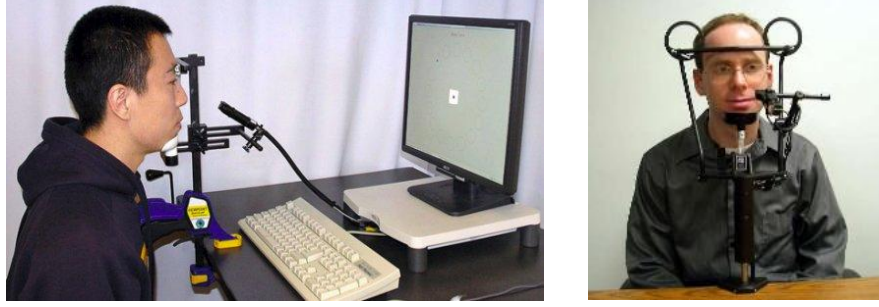


Şekil 1.4. Göz çevresine yerleştirilen elektrotlar [7]



Şekil 1.5. Kasların kasılma durumunda gelen bilgiler [8]

3.) Bu yöntemde video görüntülerine dayalı görüntü işleme teknikleri kullanılarak göz hareketlerinin tespit edilerek kaydedilmesi sağlanmaktadır. Video görüntülerine dayalı görüntü işleme tekniklerinin kullanıldığı göz takip yönteminde kafanın sabit tutulduğu sistemler (Şekil 1.6) veya kafaya monte edilen başlık veya gözlük sistemi (Şekil 1.7) kullanılmaktadır.



Şekil 1.6. Kafa sabitleyici kullanılarak göz hareketlerinin tespit edilmesi [9][10]



(a)

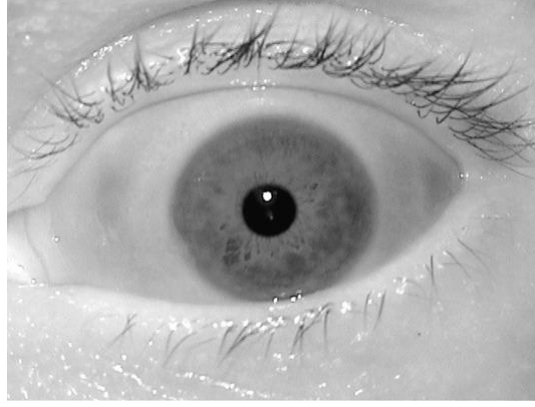


(b)

Şekil 1.7. (a) Kafaya monte edilen başlık veya (b) gözlük sistemi kullanılarak göz hareketlerinin tespit edilmesi [11][12]

Özel manyetik lens kullanımı ve elektro-okulografi yöntemlerinde kişiye fiziksel temasta bulunulması, kişinin rahatsız edilmesi ve maliyetli olması gibi nedenler bu yöntemlerin kullanımlarını kısıtlamaktadır. Günümüzde daha yaygın olarak kullanılan yöntem ise göze yöneltilen kızıl ötesi ışınlar altında elde edilen görüntülere görüntü işleme teknikleri uygulanarak göz hareketlerinin tespit edilip kaydedilmesidir.

Gönderilen kızıl ötesi (infra red-IR) ışınlarla aydınlatılmış göz, sayısal kaydediciler (kamera vb.) aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılarak ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak, göz hareketlerinin izlenmesi sağlanmaktadır. Kızıl ötesi ışınlar (700nm ~ 900nm), gözün algılayabileceği dalga boyu aralığının dışındadır. Bunun neticesinde göz, kızıl ötesi ışınlar karşısında duyarsızdır. Yani göz bu ışınlardan etkilenmediği için, bu ışınların kullanılarak gözün hareketlerinin takip edildiği sistemlerde kişiye herhangi bir rahatsızlık verilmemektedir. Ayrıca kızıl ötesi ışınlar gözün bölümlerinin daha belirgin olarak ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Gözün koyu kısmı olan pupil ışınların büyük bir kısmını emmekte ve çok az bir kısmını yansıtmaktadır (Şekil 1.8). Pupile göre daha açık renkli olan iris (bazı gözlerde iris renklidir) ışınların çok az bir kısmını emmekte ve büyük kısmını yansıtmaktadır (Şekil 1.8). Böylelikle kızıl ötesi aydınlatma altında pupil daha koyu, iris ise daha açık renkli olmaktadır. Bu durum, pupilin görüntü işleme teknikleri kullanılarak tespit edilmesine yardımcı olmaktadır.

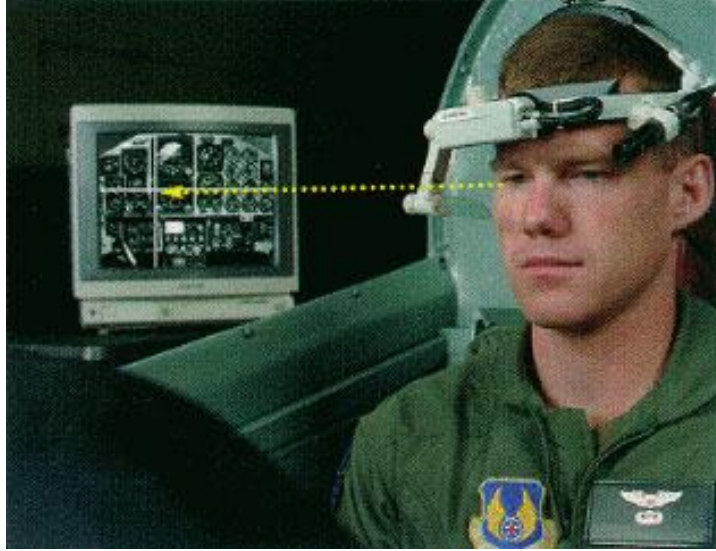


Şekil 1.8. Kızıl ötesi ışınlarla aydınlatılmış göz resmi [13]

Kişiyne rahatsızlık verilmemesi, herhangi bir fiziksel temasta bulunulmaması ve böylece kişinin daha doğal davranmasına olanak sağlanması gibi özellikleri sayesinde video görüntülerine dayalı görüntü işleme teknikleri kullanılarak göz hareketlerinin tespit edilerek kaydedilmesi yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 1.9) ve (Şekil 1.10).



Şekil 1.9. Kafa sabitleyici kullanılarak görüntüye dayalı göz takip sistemi [14]



Şekil 1.10. Kafaya sabitlenen başlık sistemi kullanılarak görüntüye dayalı göz takip sistemi [15]

Video görüntülerine dayalı görüntü işleme teknikleri kullanılarak göz hareketlerinin tespit edilmesi yönteminin yaygın olarak kullanılmaya başlanması farklı görüntü işleme tekniklerinin de geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Literatürde, Daugman'ın önerdiği Integro-Diferansiyel Operatör [16] ve Wildes'in kullandığı Hough Dönüşümü [17] yöntemleri pupilin tespit edilmesi için kullanılan görüntü işleme tekniklerinin başında gelmektedir. Pupili bulmak için kullanılan görüntü işleme tekniklerinin birçoğu temelini Daugman'ın ve Wildes'in çalışmalarından almaktadır.

Tez kapsamında gerçekleştirilecek göz izleme sisteminin bipolar bozukluğu olan kişilere uygulanması düşünülmektedir. Bunun için en uygun görüntü işleme tekniğinin belirlenmesi gerekmektedir.

1.4. Bipolar Bozukluk (İki Uçlu Bozukluk)

Kişilerin duygusal dünyasında inişler çıkışlar gerçekleşebilmektedir. Duygular; üzüntü, keder, öfke, sevinç, coşku, , huzursuzluk ve endişe arasında gidip gelebilmektedir. Fakat bipolar bozuklukta uzun süren değişimler ve yoğun duygu durum değişimleri gerçekleşmektedir. Bu değişimler kişilerin yaşamlarını etkileyebilmektedir. Yani bipolar bozukluk duygularda, düşüncelerde, enerjide ve davranışlarda aşırı değişikliklere neden olabilen ruhsal bir bozukluk olarak tanımlanmaktadır. [18]

Bipolar bozukluğun tek bir nedeninin olmadığı bilinmektedir. Bipolar bozukluğu olan kişilerin nörotransmitter denilen beyin kimyasallarının dengesinde ve iletiminde sorunlar olduğu yapılan bilimsel çalışmalarla gösterilmiştir. Hastalığın biyokimyasal, genetik ve çevresel nedenlerden kaynaklanabilecek bir hastalık olduğu ve her yaşta ve cinsiyette ortaya çıkabilecek bir bozukluk olduğu bilinmektedir [18].

Bipolar bozukluğun bulguları 4 farklı duygu durum sürecine işaret etmektedir.

1- Mani: Aşırı keyifli olma, yaratıcılık, enerji artışı, uykuya gereksinim duymama, yorgunluk hissetmeme gibi duygularla başlayan, çabuk sinirlenme, aşırı tepki gösterme gibi belirtilerle de devam eden süreçtir. Mani döneminde başlayan durumlar günlerce devam edebilmektedir. Bu durumlar: [19]

- Kişi kendisini aşırı mutlu, enerjisini artmış veya aşırı öfkeli hissedebilmesi,
- Az uyumasına rağmen kendisini enerjik hissedebilmesi,
- Çok hızlı konuşabilmesi,
- Hızlı düşünebilmesi,

- Dikkat dağınıklığı ve konsantrasyon kaybı yaşayabilmesi,
- Kendisini güçlü ve önemli hissedebilmesi,
- Fazla para harcama, aşırı miktarlarda iş yapma gibi davranış değişiklikleri gösterebilmesi durumlarıdır. [19]

Daha ciddi durumlarda ise gerçekte olmayan sesler duymak, nesnelere görmek gibi durumlarda görülebilmektedir. [19]

2- Hipomani: Mani dönemin daha hafif olarak seyreden durumudur. Hipomani döneminde kişinin duygu durumu yükselmektedir. Bu dönemlerde kişiler daha üretken ve yaratıcı olabilmektedirler. Bu dönemde kişiler içinde buldukları durumundan memnundurlar ve bazı durumlarda ilaç kullanmaya ihtiyaçları kalmamaktadır. [19]

3- Depresyon: Uzun süre (haftalar boyunca hemen her gün ve bütün gün boyu) devam edebilen belirtileri vardır. Kişiler, üzgün, bezgin, kederli hissetmeye veya çevresine ve olaylara karşı ilgisizleşmeye başlamaktadır. Bu süreçte yaşananlar:

- Kişinin kendine bakımının azalması,
- Uykusuzluktan şikayet etmesi,
- İştah kaybı yaşaması,
- Karar vermede güçlükler yaşaması.
- Kendini değersiz hissetmesi.
- Enerji kaybı yaşayarak, halsizleşmesi,
- İntihar veya ölüm gibi düşünceler düşünebilmesi,
- Gündelik hayatını sürdürürken zorluklar yaşamasıdır. [19]

4- Karma (Mikst) dönem: Mani ve depresyon dönemine ait belirtilerin değişen süreçlerle aynı anda yaşanmasıdır. [19]

Hastalığın seyrine göre bazı hastalar bu dönemlerin hepsi ile zaman zaman karşılaşmaktayken, bazı hastalar ise mani dönem veya depresyon ve hipomani dönemlerini geçiriyor olabilmektedirler. [19]

Görünüş kipi, bitmişlik (-dı, (yıkı-dı)), sürüyorluk (-yor, (yıkı-yor)) ya da ne bitmişlik, ne sürüyorluk (plan\niyet aşamasındalık (-acak, (yıkı-y-acak))) gibi eylemin ne durumda olduğunu tanımlamak için cümlenin eylemine ulanan ekleri tanımlamaktadır. Eylemin durumunun zihinsel temsilini oluşturan nöral mekanizmalar henüz bilinmiyor olsa da temsilin kendisinin bir zihinsel model (mental model) olduğuna ve bu modelin dilsel ifadenin biçimlenmesini sağlayabileceğine işaret edilmektedir. Eylemin yürütülmesi, tamamlanması ya da planlanmasına dönük zihinsel temsillerle, yürütülmesi, tamamlanması ya da planlanmasına dönük durumunun sözel ifadesinin zihinsel temsillerinin örtüşebileceğini destekler nitelikte fonksiyonel görüntüleme çalışmaları yapılmaktadır. Bu durumda, bipolar kişilerde, eylemin durumuna ait zihinsel modeli oluşturmakla ilgili bir sorunun olup olmadığı, eylemin durumunu belirten görünüş kipi eklerinin (-dı, -yor, -acak) ifadesini biçimlendiren süreçlerin yansıması olarak kabul edilebilecek bazı ölçüm parametrelerinin, hastalarla hasta olmayan kontrol grubu arasında karşılaştırılması üzerinden sınanabileceği düşünülmektedir.

Hastalarla, hasta olmayan kontrol grubunun sınıflandırılmasının Destek Vektör Makineleri (DVM) [20] ile yapılması düşünülmektedir.

1.5. Destek Vektör Makineleri (DVM)

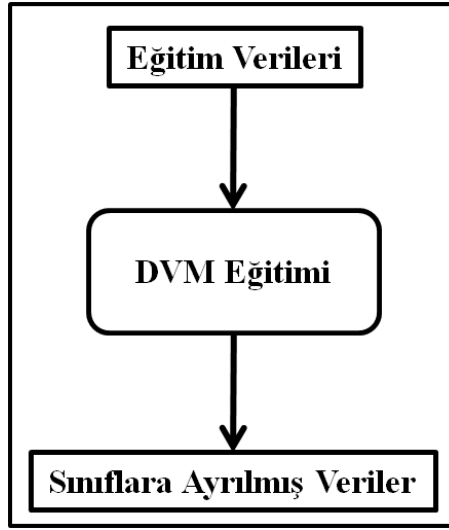
DVM [20] kontrollü bir sınıflandırma algoritmasıdır. DVM öznitelik uzayında iki sınıfı birbirinden ayırabilen en uygun hiper düzlemin belirlenmesini sağlamaktadır [21]. DVM'nin diğer doğrusal öğrenme makinelerinden farkı, test edilecek nesnelere için yanlış sınıflandırma olasılığını en aza indirebilmesidir [22].

En uygun hiper düzlemin denklemi:

$$f(x) = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^N a_i y_i k(x_i, x) + b \right) \quad \mathbf{1.1}$$

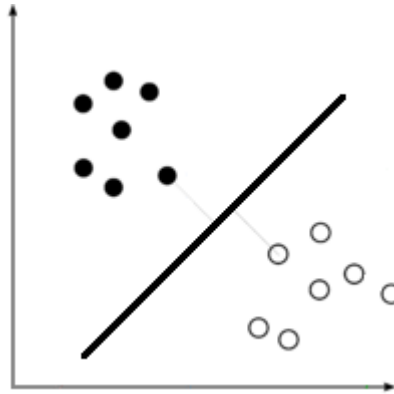
(1.1) denkleminde N veri sayısını, x_i girişleri, y_i çıkışları, k çekirdek fonksiyonunu ve b sapma değerini göstermektedir.

İki sınıfı en uygun biçimde ayırmak için DVM'ye öncelikle eğitim işlemi uygulanmaktadır. Eğitim işleminde DVM'yi eğitmek için eldeki eğitim verileri uygulanmaktadır. Verilerin aynı formatta olması önemlidir. Verilerin DVM'de eğitilerek sınıflandırılması sağlanmaktadır (Şekil 1.11).



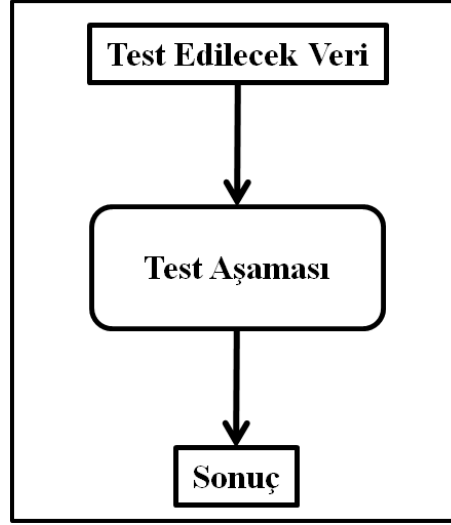
Şekil 1.11. DVM eğitimi

DVM verileri en uygun biçimde ayırarak sınıflandırmaktadır (Şekil 1.12).



Şekil 1.12. DVM’de sınıflandırılmış veriler

DVM eğitimi gerçekleştirildikten sonra DVM'ye farklı veriler uygulanarak DVM test edilmektedir (Şekil 1.13).



Şekil 1.13. DVM testi

Test sonucunda, DVM uygulanan verilerin hangi sınıfa ait olduğunun sonucunu vermektedir.

1.6. Çalışmanın Kapsamı

Bu tezin içine psikiyatri, dilbilim, bilgisayarlı görü uygulamaları kapsamındaki konular girmektedir. Psikiyatrik anlamda bipolar bozukluklu hastalar çalışma kapsamına alınacaktır. Metot, dilbilim ve bunun altında yer alan psikolinguistik alanla ilişkilidir ve temel olarak gramer/sözdizim konularını kapsamaktadır. Metodun geliştirilmesi, bilgisayarlı görü uygulamaları kapsamında, göz hareketleri takip sistemi ve bu sistemle uyumlu çalışacak nöropsikolojik, psikolinguistik deney paradigmasını oluşturmaya yönelik ortamın geliştirilmesi konularını içermektedir. Bu kapsamda sistemin tamamında:

- Göz hareketleri takip sisteminin geliştirilmesi,
- Deneysel paradigma geliştirme ortamının sağlanması,
- Nöropsikolojik paradigmlarla göz hareketlerinin birlikte çalıştırılması,
- Bütün bu süreç boyunca, gerçek zamanlı (real time) olarak, göz hareketlerinin kamera ile kaydedilmesi
- Kameradan elde edilen görüntülerde görüntü işleme tekniklerinin uygulanması,
- Görüntü işleme tekniklerinin uygulanmasıyla,
 - Görüntülerde pupilin yerinin (x,y) ve yarıçapının (r) belirlenmesi,
 - Pupilin hangi koordinatta ne kadar süre kaldığının bulunması,
 - İlerleyen görüntülerde pupilin hareketinin takip edilmesi ve bu hareketlere ait parametrelerin oluşturulması,
- Matematiksel analizin yapılması konuları yer almaktadır.

1.7. Çalışmanın Amacı

Bu tezin amacı, literatürde pupilin tespit edilmesinde yaygın olarak kullanılan Daugman'ın önerdiği Integro-Diferansiyel Operatör [16] ile Wildes'in kullandığı Hough Dönüşümü [17] yöntemlerinin ve ayrıca Aktif Kontur Yılan [31] modeli ile elips bulma algoritmasının pupilin tespit edilmesinde kullanılarak elde edilen sonuçların birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlarını kapsamlı olarak karşılaştırarak hangi durumlarda bu yöntemlerin nasıl sonuçlar verdiğinin belirlenmesidir. Ayrıca bu üç yöntemin pupilin tespit edilmesinde kapsamlı olarak karşılaştırılmasından çıkan sonuçların istatistiksel olarak ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bu sonuçlardan yola çıkılarak tez kapsamında nöropsikolojik

testlerde kullanılması planlanan, gerçekleştirilecek göz izleme sisteminde kullanılacak görüntü işleme yönteminin belirlenmesi hedeflenmektedir.

Bipolar kişilerde, eylemin durumuna ait zihinsel modeli oluşturmakla ilgili bir sorunun olup olmadığı, eylemin durumunu belirten görünüş kipinin (-dı, -yor, -acak) ifadesini biçimlendiren süreçlerin yansıması olarak kabul edilebilecek bazı ölçüm parametrelerinin, hastalarla hasta olmayan kontrol grubu arasında karşılaştırılması üzerinden sınınanarak; bu olası sorunun ya da farklılığın ortaya koyulması amaçlanmaktadır.

Bu amaçla tez kapsamında deneye katılan bireylerin:

- Kelimenin hangi bileşeni üzerindeyken karar verdiği,
- Kelimenin bileşenlerini okurken hangi sırayla karara vardığı,
- Karar verme süresinin ne kadar olduğu,

gibi durumların net bir şekilde detaylandırılması amaçlanmaktadır.

Ayrıca tez kapsamında, psikolinguistik, nöropsikolojik ya da psikiyatrik çalışmalar sırasında kayıt ve analize olanak sağlayan ve yukarıdaki amaçlar çerçevesinde yeni paradigmlar geliştirmeyi mümkün kılan bir göz hareketleri takip sistemi geliştirmek amaçlanmaktadır. Amaca yönelik test geliştirme ve geliştirilen test uygulaması sırasında göz hareketlerinin kaydı ve sonrasında analizine olanak sağlayacak bu sistemin, bilimsel araştırmalarda önemli bir esneklik sağlayacağı düşünülmektedir.

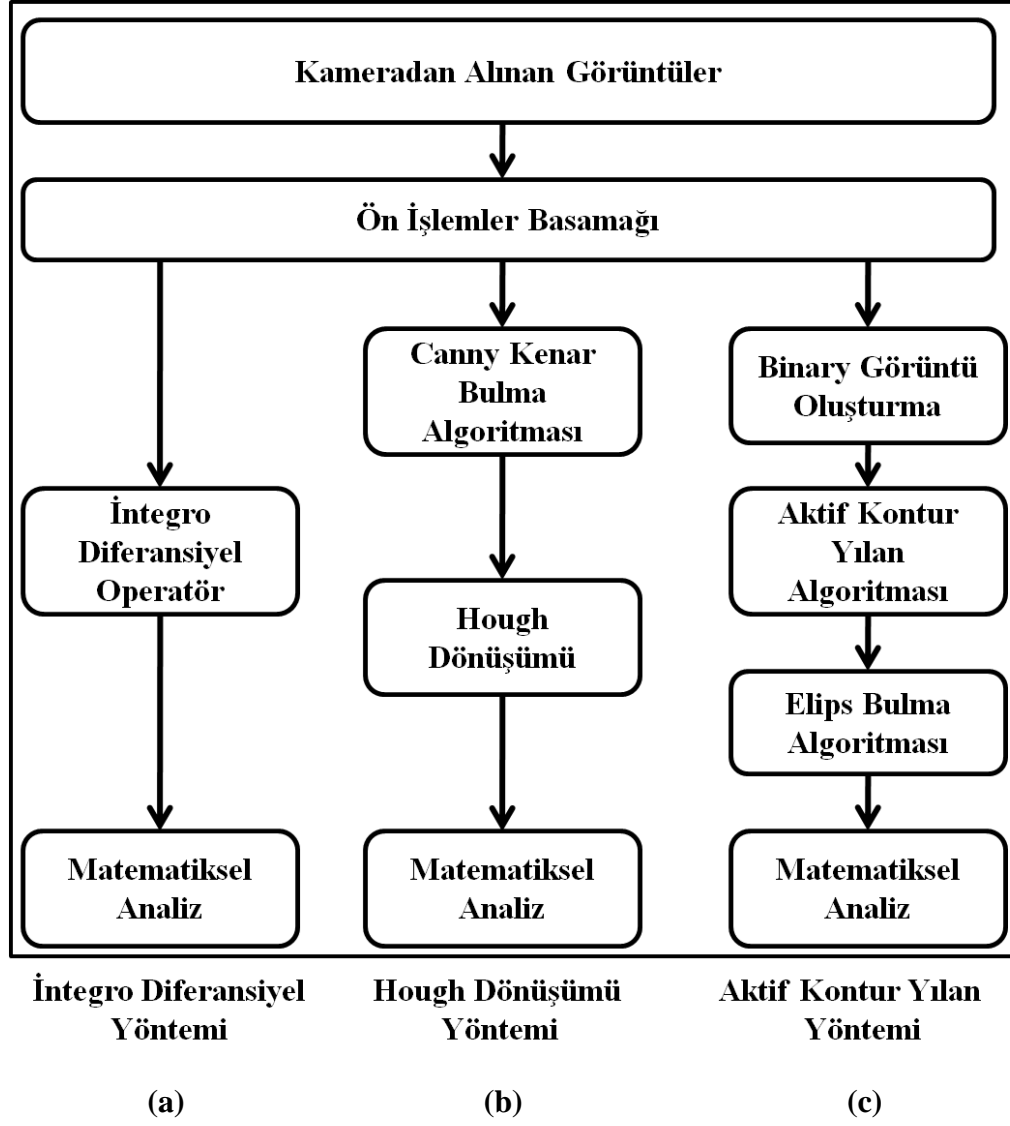
Bu tez ile;

- Paradigmaların uygulanması sırasında göz hareketleri takip sistemi ile güvenilir bulgular elde edilmesi,
- Geliştirilecek göz hareketleri takip sistemiyle, psikolinguistik, nöropsikolojik ya da psikiyatrik çalışmalar sırasında kayıt ve analize imkan sağlanması,
- Elde edilen verilerin işlenerek, DVM'ye uygulanıp ve bu verilerin DVM ile sınıflandırılması amaçlanmaktadır.

2. GELİŞTİRİLEN SİSTEM

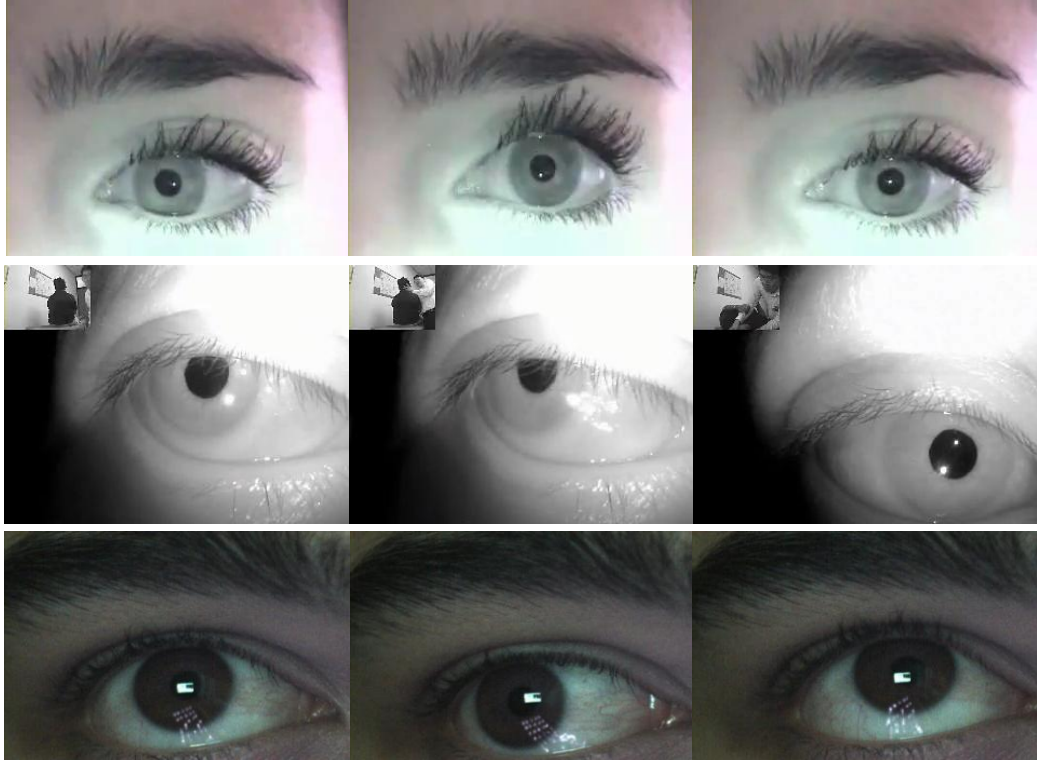
Nöropsikolojik testler için kullanılması planlanan bir göz izleme sistemi geliştirilerek, nöropsikolojik testlerden oluşan deneylerin uygulanması sırasında göz izleme sisteminden alınan verilerin kullanılıp, sınıflandırılması amaçlanmaktadır.

Bu bölümde, göz hareketlerinin tespit edilmesi için literatürde yaygın olarak kullanılan Daugman'ın önerdiği Integro-Diferansiyel Operatör [16] ve Wildes'in kullandığı Hough Dönüşümü [17] yöntemleri ve Aktif Kontur Yılan [31] modeli ile elips bulma yönteminin pupilin tespitinde kullanılması için gereken algoritma yapıları açıklanarak (Şekil 2.1) gerçekleştirilecek göz izleme sistemi için en uygun yöntemin belirlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 2.1. (a) İntegro-Diferansiyel Operatör, (b) Hough Dönüşümü ve (c) Aktif Kontur Yılan Yöntemlerinin akış diyagramları

Pupilin hassas ve kararlı olarak tespit edilebilmesi için uygun bir kamera ortamı hazırlanmalıdır. Bu amaçla hızlı bir kamera ve kızıl ötesi aydınlatma kullanılarak, görüntü işleme tekniklerinin uygulanabilmesi için elverişli görüntülerin (Şekil 2.2) elde edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 2.2. Kamera sisteminden alınan örnek göz resimleri

Kamera sisteminden elde edilen görüntüler, görüntü işleme tekniklerinin verimli bir şekilde uygulanabilmesi için kameradan resim resim (frame by frame) alınarak ön işlemler basamağına tabi tutulmuştur. Ön işlemler basamağında ilk olarak, kameradan renkli olarak alınan resimler gri resim formatına dönüştürülmüştür.

Renkli görüntüler bilgisayar ekranında kırmızı, yeşil, mavi olarak kodlanmış aynı resme ait 3 adet gri görüntünün üst üste ekrana getirilmesi ile oluşturulmaktadır. Gri görüntülerde ise görüntüler 0 ile 255 arasındaki farklı gri ton değerlerinden oluşmaktadır. Renkli görüntülerin gri görüntülere göre bilgisayarda daha fazla yer kaplamasından dolayı ön işlemler basamağında, renkli resimler gri resim formatına çevrilmiştir (Şekil 2.3). Bu sayede verilerin daha hızlı olarak ve daha az yer kaplayarak işlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 2.3. Gri resim formatına çevrilmiş resimler

Bundan sonraki aşamada görüntülerdeki gürültünün (parazit, noktalanma, karlanma, ışığın etkisi gibi bozucu faktörlerin) giderilmesi gerekmektedir. Bu amaçla gri resim formatına çevrilmiş resimlere Gauss filtresi uygulanarak (Şekil 2.4) resimlerdeki gürültüler azaltılmıştır.



Şekil 2.4. Gauss filtresi uygulanan resimler

Gauss filtresi; resimde bulunan her piksel üzerinde ayrı ayrı işlem yapılarak uygulanmaktadır. (σ : standart sapma)

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad [23][24][25] \quad \mathbf{2.1}$$

Integro-Diferansiyel Operatör, Hough Dönüşümü ve Aktif Kontur Yılan yöntemlerinin (Şekil 2.1) hepsine ön işlemler uygulanarak resimler uygun duruma getirilmiştir.

2.1. Integro-Diferansiyel Operatör

Daugman, çalışmalarında pupili ve irisi çember olarak kabul etmiştir. Bu çembersel bölgelerin sınırlarını tanımlamak için de 3 adet parametre kullanmıştır [26].

- Çemberin merkez koordinatları (x_0, y_0),
- Çemberin yarıçapı (r).

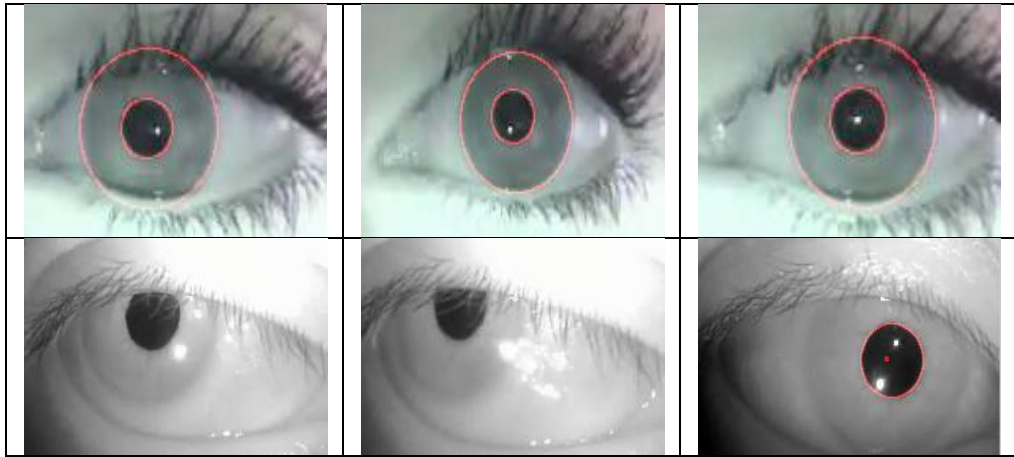
Daugman'ın Integro-Diferansiyel denklemine göre;

$$\max(r, x_0, y_0) \left| G_\sigma(r) \times \frac{\partial}{\partial r} \int_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad \mathbf{2.2}$$

$I(x, y)$, kamera sisteminden alınıp ön işlemler basamağındaki işlemler uygulanarak elde edilen gri resim formatına çevrilmiş ve gürültüsü giderilmiş resim, $G_\sigma(r)$ ise Gauss filtresidir.

Daugman'ın yöntemi gözün üzerindeki katmanların ışığı farklı şekillerde yansıtmasını temel almaktadır. Retina gözün beyaz olan bölümüdür ve ışığı çok yansıtmaktadır. İris, retinaya göre gözün renkli ve daha koyu olan bölümüdür. Gelen ışığın bir kısmını soğurmaktadır. Pupil ise en koyu tabakadır ve ışığın çok az bir kısmını yansıtmaktadır. Daugman kullandığı yöntemde gözün üzerindeki katmanların ışığı farklı yoğunluklarda yansıtmasını temel alarak ani ışık değişimlerinin olduğu yerleri pupilin ve irisin sınırları olarak kabul etmiştir.

Integro-Diferansiyel Operatör, kamera sisteminden alınıp ön işlemlere tutulan resimlere uygulanarak elde edilen sonuçlar verilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Integro-Diferansiyel Operatör uygulanarak pupilin tespit edilmesi

Integro-Diferansiyel Operatör pupilin ve irisin çember olarak kabul edildiği durumlarda sonuç vermektedir. Fakat göz sürekli hareket halinde olduğu için gözün çember olmadığı durumlarının da bulunması gerekmektedir. Integro-Diferansiyel Operatör çember olmayan durumlarda (Şekil 2.5) sonuç vermemektedir [27] ve gürültüden kolay etkilenmektedir. Ayrıca Integro-Diferansiyel Operatör gözün üzerindeki katmanların ışığı farklı şekillerde yansıtmasını temel aldığı için gözün katmanları arasındaki ani ışık değişimlerinin azalması bu yöntemin başarısını

azaltmaktadır. Bu sebepler, Integro-Diferansiyel Operatörün pupilin tespit edilmesindeki kullanımını kısıtlamaktadır.

2.2. Hough Dönüşümü

Kamera sisteminden alınıp ön işlemler basamağına tabi tutulan resimlere Hough Dönüşümünün uygulanabilmesi için bu resimlerin uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bunun için Canny Kenar Bulma algoritması uygulanmıştır. Sınırları Canny Kenar Bulma algoritması sayesinde tespit edilen resimlere Hough Dönüşümü uygulanarak pupilin yeri tespit edilmiştir.

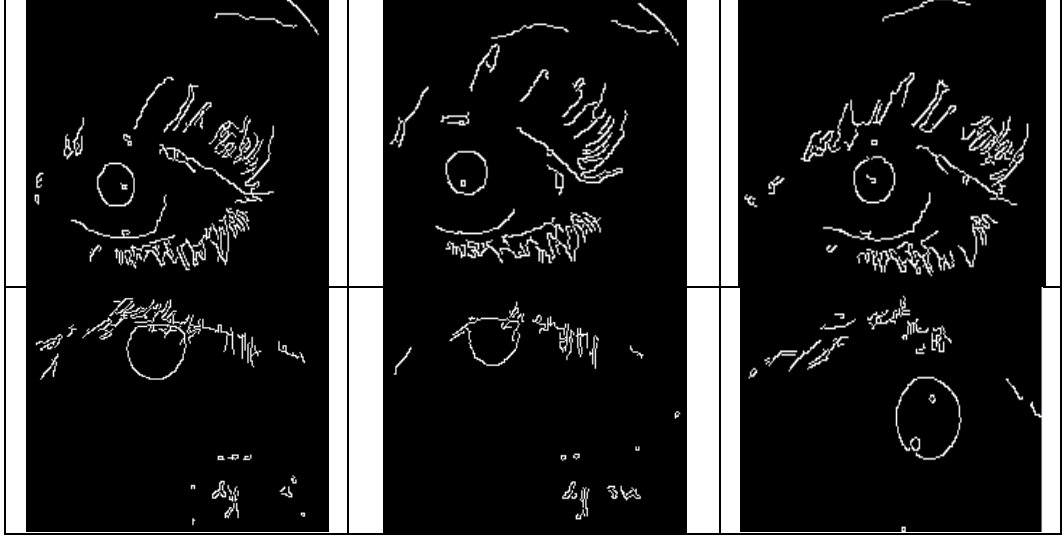
2.2.1. Canny Kenar Bulma Algoritması

Canny Kenar Bulma algoritması 1986 yılında John Canny tarafından geliştirilmiştir. Canny Kenar Bulma algoritması oldukça güçlü bir yapıya sahiptir ve günümüzde en iyi kenar bulma algoritmalarından biri olarak kabul edilmektedir.

Canny Kenar Bulma algoritması 3 önemli aşamadan [28] oluşmaktadır. Bu aşamalar;

- Hata Oranı; kenar bulma işleminde sadece kenarlar bulunmalıdır.
- Lokalizasyon; kenar pikselleri arasındaki uzaklık en aza indirgenmelidir.
- Sonuç; kenar bulma işleminde tek kenar varken, çoklu kenar tanımlanmamalıdır. [29]

Canny Kenar Bulma algoritması kullanılarak elde edilen kenar noktalarını (Şekil 2.6) birleştiren doğrunun denklemi bulunmalıdır. Bu doğrunun denklemlerini bulabilmek için Wildes, Hough Dönüşümünü [17] kullanmıştır.



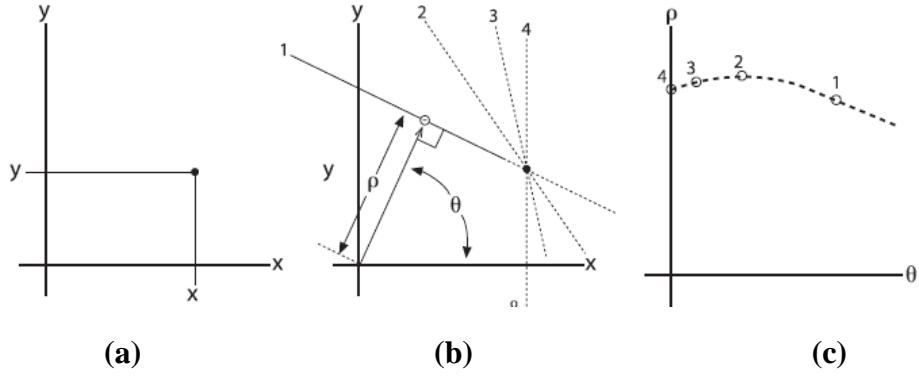
Şekil 2.6. Canny Kenar Bulma algoritması sonucunda elde edilen kenar noktaları

2.2.2. Dairesel Hough Dönüşümü

Hough Dönüşümü resimlerdeki çizgi, doğru, düzlem, daire, elips gibi geometrik şekilleri bulmak için kullanılan bir algoritma yapısıdır. Ayrıca belirli bir düzlem üzerinde yer alan noktalardan geçen doğruların denklemlerini belirlemek için de kullanılmaktadır. Özellikle daire gibi şekillerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Hough Dönüşümü resimlerdeki (x,y) koordinatından geçebilecek doğruları (p,θ) düzleminde işaretleyerek (Şekil 2.7) resmin analitik olarak ifade edilmesini sağlayan bir dönüşümdür.

θ doğrunun normalle yaptığı açığı, p ise doğrunun orta noktası ile merkez arasındaki en kısa uzaklığı göstermektedir.



Şekil 2.7. (a) (x,y) noktasından, (b) geçebilecek doğruların, (c) (p,θ) düzleminde gösterimi

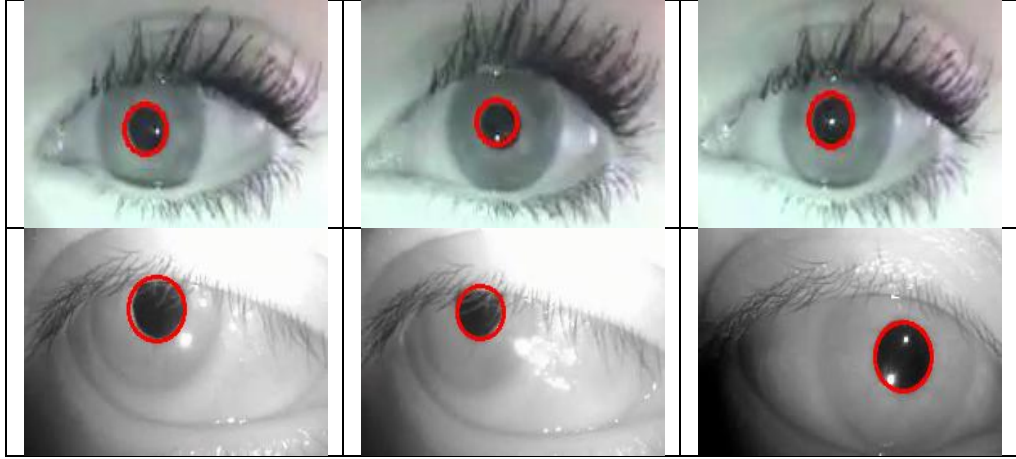
Wildes, pupili tespit edebilmek için Dairesel Hough Dönüşümünü [15] kullanmıştır. Dairesel Hough Dönüşümünde işleme dairenin merkez koordinatları (x,y) ve yarıçapı (r) da katılmaktadır.

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2 \quad 2.3$$

Bu denklem parametrik olarak ifade edilirse;

$$\begin{aligned} x &= x_0 + r \cos \theta \\ y &= y_0 + r \sin \theta \end{aligned} \quad 2.4$$

Canny Kenar Bulma algoritması kullanılarak elde edilen kenar noktalarını birleştiren doğruların denklemleri Hough Dönüşümünü kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Hough Dönüşümü uygulanarak pupilin tespit edilmesi

Hough Dönüşümü pupilin çember olarak kabul edildiği durumlarda sonuç vermektedir. Fakat göz sürekli hareket halinde olduğu için pupil her zaman çember olmamaktadır ve pupilin çember olmadığı bu durumlarının da bulunması gerekmektedir. Ayrıca Hough Dönüşümü gürültüden kolay etkilenmektedir. Bu sebeplerden dolayı Hough Dönüşümü pupilin tespit edilebilmesinde yeterli başarıyı sağlamamaktadır.

2.3. Aktif Kontur Yılan Yöntemi

Kamera sisteminden alınıp ön işlemler basamağına tabi tutulan resimlere Aktif Kontur Yılan algoritmasının uygulanabilmesi için bu resimlerin uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Öncelikle resimler binary (ikili) görüntü oluşturma basamağına tabi tutulmuştur. Resimler, binary formata çevrildiği zaman hafızada daha az yer kaplamaktadır ve bilgisayar üzerinde daha hızlı bir şekilde işlenebilmektedir.

Binary formata getirilen resimlere Aktif Kontur Yılan algoritması uygulanarak pupilin sınırları belirlenmiş ve elips bulma algoritması uygulanarak pupilin yeri tespit edilmiştir.

2.3.1. Binary Görüntü Oluşturma

Gri formata çevrilmiş resimler 0 ile 255 arasındaki değerlerden oluşmaktadır. Binary görüntü oluşturmada ise resimdeki tüm bilgiler 1 veya 0'a dönüştürülmektedir. Binary görüntü oluşturmak için, gri resim üzerinde bir eşik değeri (0 ile 255 arasında) belirlenerek, bu eşik değerinin üzerinde kalan piksel değerleri beyaz (255); altında kalan piksel değerleri ise siyah (0) olarak seçilmektedir.

If $I(x,y) \leq T$ then $I(x,y)=0$; Else $I(x,y)=255$ **2.5**

Burada $I(x,y)$ binary formata çevrilecek resimleri, T ise Eşik Değerini (Threshold Value) göstermektedir.

Binary görüntü oluşturmadaki zorluk eşik değerini belirlerken ortaya çıkmaktadır. Bu tezde gerçekleştirilecek göz izleme sistemi, nöropsikolojik testler kapsamında birçok bipolar bozukluğu olan kişiye uygulanacağından, her göz için farklı eşik değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için tez kapsamında gerçekleştirilecek göz izleme sisteminde, OpenCV (Intel Open Source Computer Vision) kütüphanesindeki Trackbar (Şekil 2.9) fonksiyonu kullanılarak, her göz için belirlenmesi gereken eşik değerinin kalibrasyon aşamasında kullanıcı tarafından hassas olarak belirlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 2.9. OpenCV yazılımından örnek bir Trackbar ekran alıntısı

Eşik değeri belirlendikten sonra resimler binary formata çevrilmiştir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Binary görüntü oluşturma

2.3.2. Aktif Kontur Yılan Yöntemi ile Elips Bulma Algoritması

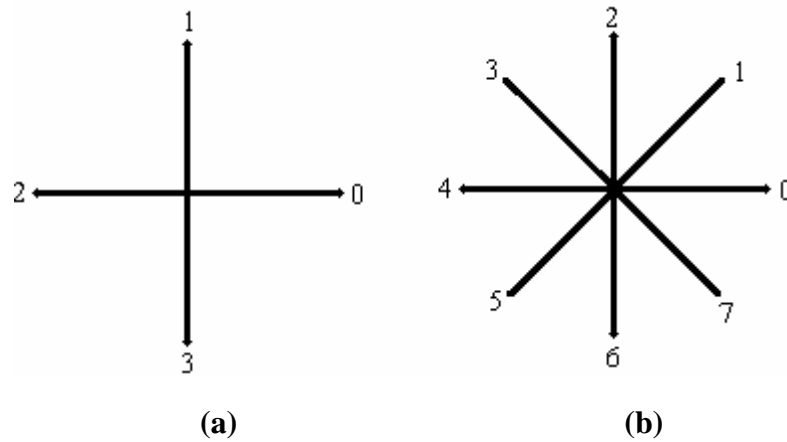
Sınır (kontur, kenar, contour) resimdeki bir şeklin, alanın veya nesnenin en dış kenarı olarak tanımlanmaktadır. Algoritmanın, resim üzerindeki sınırlara uygun bir şekilde genişleyip, daralarak şekil değiştirebilmesi ise şekli değişen sınır (deformable contour) olarak tanımlanmaktadır. [30]

Yılan adıyla bilinmekte olan Aktif Kontur Yılan (Active Contour Snake) modeli Kass ve arkadaşları tarafından önerilmiştir [31]. Aktif Kontur Yılan algoritması uygulanmaya başlamadan önce ilk olarak dış sınırın belirlenmesi gerekmektedir.

Dış sınırı belirleyebilmek için binary formata çevrilen resimler üzerine kontur özütleme işlemi uygulanmıştır. Kontur özütleme işlemi için Zincir (Chain) kodundan yararlanılmıştır.

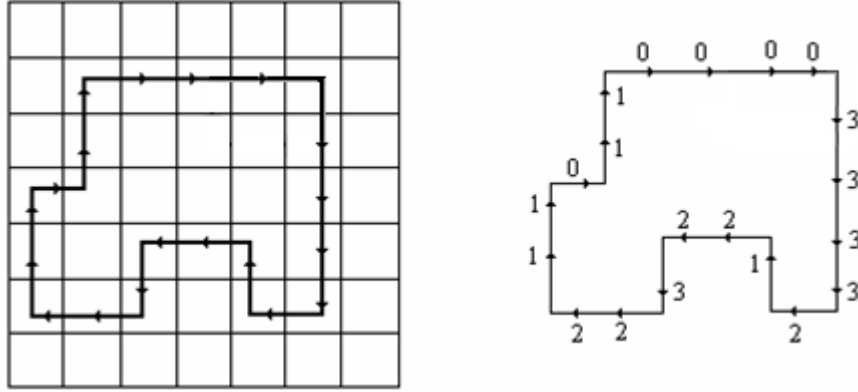
Zincir kodu özel bir veri yapısından oluşan, sınırları belirlenmek istenen nesneyi tanımlamaya ve bulmaya yönelik olarak sınırların dijital olarak ifade edilmesini sağlayan bir kod yapısıdır [32]. Zincir kodunda sınır piksellerinin hepsi kaydedilmemektedir. Bunun yerine başlangıç pikseli seçilerek, gerekli olan koordinatlar kaydedilmektedir. Böylelikle sınırlar daha az bilgi ile tanımlanabilmektedir.

Zincir kodu uygulanırken kapalı bir şekil oluşturulana kadar bütün yönleri takip eden bir algoritma yapısı kullanılmaktadır. Yön takibi 4 yönlü veya 8 yönlü zincir kod yönleri (Şekil 2.11) tanımlanarak oluşturulabilmektedir.



Şekil 2.11. (a) 4 yönlü ve (b) 8 yönlü zincir kodları

Zincir kodların dezavantajı çok uzun kod yapısına sahip olmalarıdır. Ayrıca gürültüden kolay etkilenebilmektedirler.



Şekil 2.12. Örnek bir 4 yönlü zincir kodu

Pupilin sınırları Zincir (Chain) kodu kullanılarak kodlandıktan sonra (Şekil 2.13), Aktif Kontur Yılan (Kass and Witkin and Terzopulos, [31]) yöntemi uygulanmıştır.



Şekil 2.13. Zincir kodu uygulanarak referans sınırların belirlenmesi

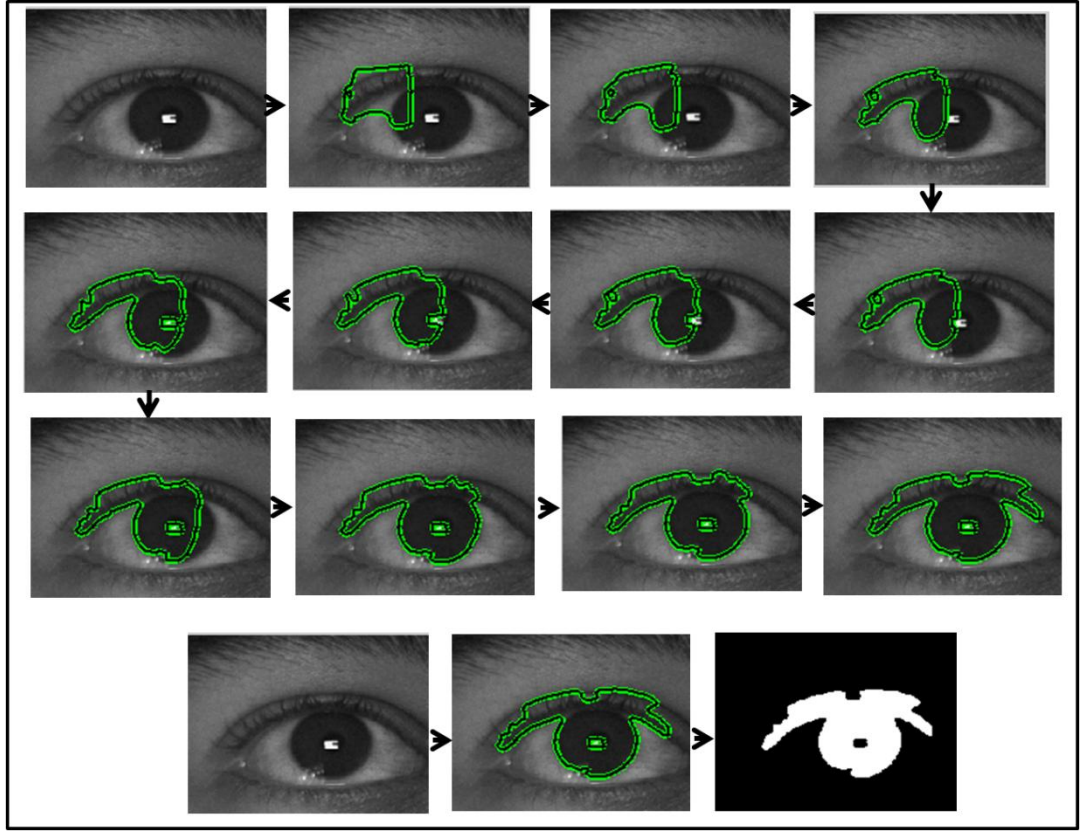
Aktif Kontur Yılan modelinde şekli değiştirilebilen sınırın iç ve dış kuvvetleri hesaplanmaktadır. İç kuvvet, sınır şeklini ifade etmektedir. İç kuvvet, yumuşak geçişlere sahip (düzgün) şekillerde düşük, zigzaglı geçişlere sahip (çok girintili çıkıntılı) şekillerde yüksek olmaktadır. Dış kuvvet ise komşu piksellerle sınır üzerindeki pikseller arasındaki gradyan değerlerine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Gradyanın yüksek olduğu yerlerde dış kuvvet düşük, gradyanın düşük olduğu yerlerde dış kuvvet yüksek çıkmaktadır. Aralarında ters orantı vardır. Dış kuvvetin düşük çıkması sınırın belirlendiğini göstermektedir. İç ve dış kuvvetlerin toplamının minimizasyonu (istenen bir değerden küçük olduğu durum) sağlandığında iterasyon sonlandırılmaktadır (Şekil 2.14). [30]

Aktif Kontur Yılan modeli, enerjilerin toplamının bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir.

Aktif Kontur Yılan modeli denklemine göre;

$$E(\vec{v}) = E_{img}(\vec{v}) + E_{int}(\vec{v}) + E_{ext}(\vec{v}) \quad 2.6$$

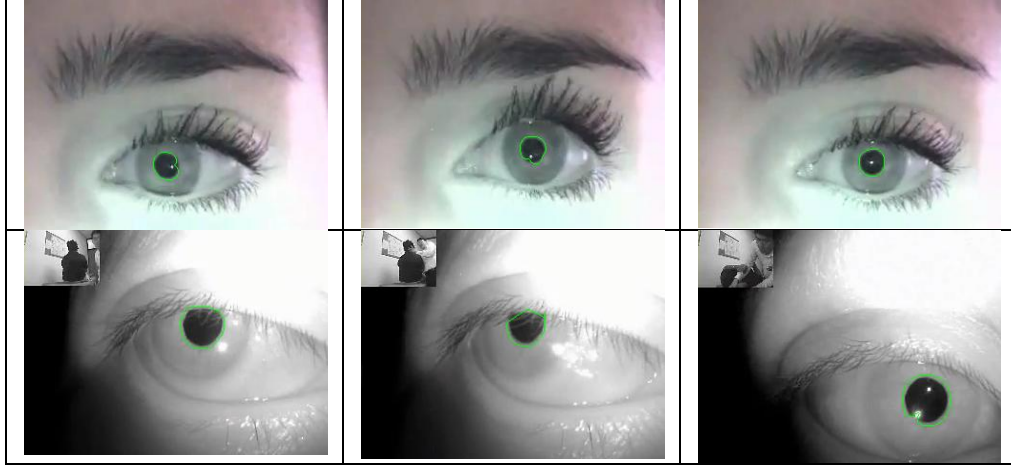
E_{int} (internal-iç); Aktif Kontur Yılan modelinin iç sınırlardaki geçişlerden dolayı oluşan enerjisini göstermektedir. E_{img} (image-görüntü); görüntüdeki kuvvetlerin enerjisi olarak tanımlanırken, E_{ext} (external-dış); ise dış kuvvetlerin enerjilerini gösteren parametre olarak tanımlanmaktadır. Bütün kuvvetlerin minimizasyonunun sağlanarak dengelendiği yerde Aktif Kontur Yılan modelinin yeri belirlenmektedir. [33]



Şekil 2.14. Aktif Kontur Yılan algoritması uygulanarak iteratif olarak dış sınırların belirlenmesi

Her iterasyonda belirlenen dış sınır ile pupilin gerçek dış sınırının, yani bulunması istenen sınırın (hedeflenen dış sınırın) bulunup bulunmadığı algoritma tarafından otomatik olarak kontrol edilmiştir. Algoritma bu kontrol işlemini belirlenen dış sınırın üzerindeki noktaların değerleri ile bu noktaların komşu piksellerinin değerleri arasındaki farka bakarak gerçekleştirmiştir. Farkın büyük olduğu durumlar gerçek sınıra yaklaşılması olarak tanımlanmıştır. Farkın küçük çıkması durumunda ise iterasyona değişebilen bir sınır modeline uygun olarak dış sınırdaki gerekli değişiklikler yapılarak devam edilmiştir. Dış sınırın bütün noktaları için hedeflenen sınıra yaklaşıldığında iterasyon otomatik olarak sonlandırılmıştır. Bu

işlemler sonucunda algoritma sayesinde pupilin sınırlarını tam olarak belirlenmiştir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Aktif Kontur Yılan algoritması ile pupilin sınırlarının tespit edilmesi

Aktif Kontur Yılan algoritması sonucunda sınırları tam olarak belirlenen pupilin matematiksel olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Göz sürekli hareket halindedir. Gözün hareketlerinde pupil her zaman çember olmamaktadır. Bazı durumlarda pupil elipse de benzemektedir. Bunun için pupili kararlı olarak tespit edebilmek ve matematiksel olarak ifade edebilmek amacıyla resimlere elips bulma algoritması uygulanmıştır.

Çember geometrik şekli, elips geometrik şeklinin bir varyasyonu olduğu için pupilin çember şeklinde olması durumunda bile elips bulma algoritması istenilen sonucu sağlamıştır.

Elips bulma algoritması için En Küçük Kareler (The Least-Squares) yöntemi uygulanmıştır. En Küçük Kareler yöntemi, birbirine bağlı olarak değişen büyüklükler arasındaki matematiksel bağlantıyı, gerçeğe uygun bir denklem olarak yazmak için

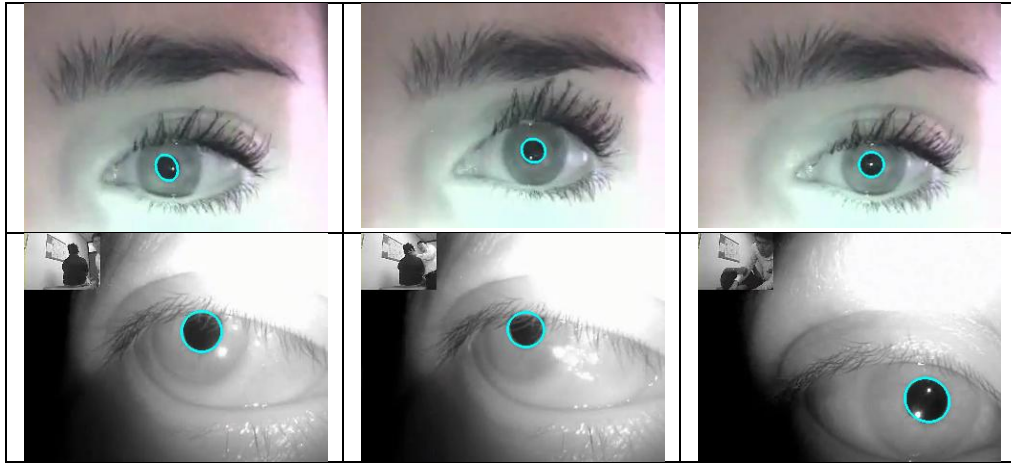
kullanılan bir yöntemdir. Elde edilen noktalar arasından, her noktaya mümkün oldukça yakın geçecek bir fonksiyon eğrisi belirlemeye yaramaktadır.

En Küçük Kareler yöntemi gözlem verileri ile verileri temsil eden doğru arasındaki dikey farkları en aza indirmeyi amaçlamaktadır [34].

$$\sum_{i=1}^n (\hat{a} + \hat{b}x_i - y_i)^2 = \min(a,b) \sum_{i=1}^n (a + bx_i - y_i)^2 \quad 2.7$$

$y = \hat{a} + \hat{b}x$ doğrusu verileri temsil eden doğrudur. \hat{a} ve \hat{b} terimleri, a ve b katsayılarının En Küçük Kareler yöntemi tahminleri ve n ise veri sayısıdır.

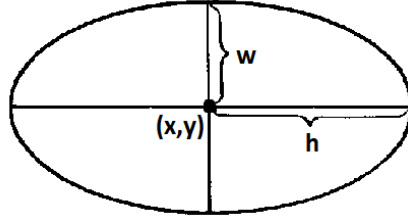
Aktif Kontur Yılan algoritması sonucunda sınırları tam olarak belirlenen pupile, elips bulma algoritması uygulanarak (Şekil 2.16) pupilin matematiksel olarak ifade edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 2.16. En Küçük Kareler yöntemini uygulanarak pupilin elips matematiksel formunda ifade edilmesi

En Küçük Kareler yöntemi elips bulma algoritmasına uyarlanarak, bu algoritma sonucunda pupil matematiksel olarak ifade edilmiştir. Elipsin 5 parametresi vardır (Şekil 2.17);

- Merkez koordinatları (x,y) ,
- Yarı eksen uzunlukları $(w)(h)$,
- Yönelim açısı (θ) .



Şekil 2.17. Elips parametreleri

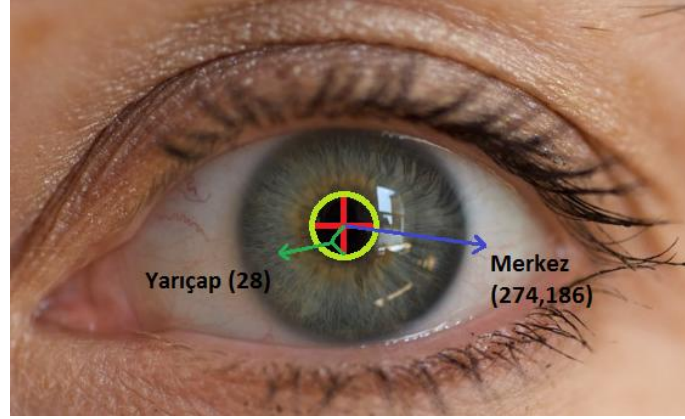
Eğer iki yarı eksen uzunlukları birbirine eşit olursa ($w=h$), bu durumda elips, çember formunda olmaktadır. Bu sayede elips bulma algoritmasıyla pupilin çember olduğu durumlar da tespit edilmiştir.

2.4. Yöntemlerin Karşılaştırılarak Uygun Yöntemin Belirlenmesi

Uygulanan Aktif Kontur Yılan modeli [31] ile elips bulma algoritma yapısının ne kadar doğru sonuçlar verdiğini görebilmek ve literatürde yaygın olarak kullanılan Integro-Diferansiyel Operatör [16] ve Hough Dönüşümü [17] yöntemlerine göre nasıl bir sonuç verdiğini gözlemleyebilmek için performans analizi yapılmıştır.

Video görüntülerinden alınan resimlerde öncelikle pupilin yerinin gerçek piksel hesabı (ground truth) yapılmıştır. Ardından Integro-Diferansiyel Operatör, Hough Dönüşümü ve Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemleri uygulanarak pupilin merkez koordinatları (x,y) ve yarıçap (r) değerleri ayrı ayrı her bir resim için hesaplanmıştır. Kullanılan Video-1'den 25 adet örnek resim (Şekil 2.19) ve Video-

2'den 10 adet örnek resim (Şekil 2.20) alınıp, işlenerek parametreler kaydedilmiştir. Bu parametreler resim üzerindeki piksel değerleri referans alınarak bulunmuştur (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Pupilin merkez koordinat piksel değerleri (x,y) ve yarıçap piksel değerleri (r) gösterimi “Merkez Koordinatları (274,186), Yarıçapı (28)”

Hesaplanan gerçek piksel değerleri ile Integro-Diferansiyel Operatör, Hough Dönüşümü ve Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemlerinden elde edilen sonuçlar, Ortalama Kare Hatası (Mean Square Error-MSE) yöntemi uygulanarak hesaplanmıştır (Çizelge 2.1) ve (Çizelge 2.2). Ayrıca bu değerler için hata oranları grafiksel olarak da gösterilmiştir (Şekil 2.21) ve (Şekil 2.22).

$$d_i = \sqrt{(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2} \quad 2.8$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i^2 \quad 2.9$$

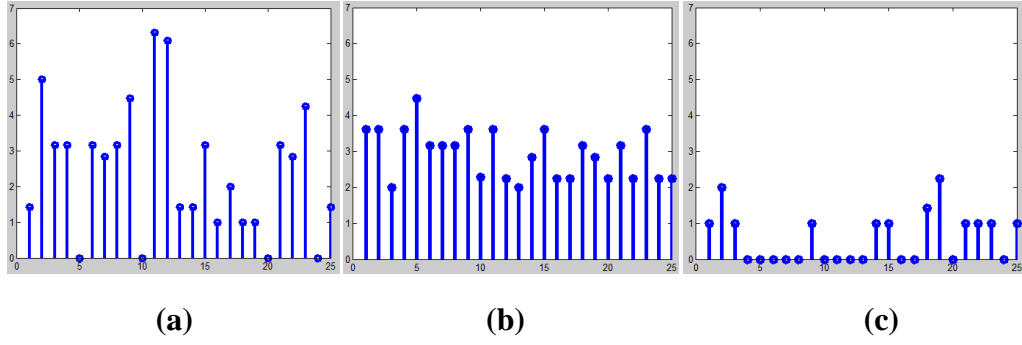
N, hata oranı hesaplanacak nokta sayısı, x_i ve y_i Integro-Diferansiyel Operatör, Hough Dönüşümü ve Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemlerinden elde edilen pupilin merkez koordinatları, x'_i ve y'_i ise pupilin gerçek piksel değerleri (ground truth) 'dir.

Çizelge 2.1. Video 1'den alınan 25 adet resim için Integro-Diferansiyel Operatör, Hough Dönüşümü ve Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemlerinden elde edilen (pupil merkez koordinatları ve yarıçapları için) Ortalama Kare Hataları (MSE)

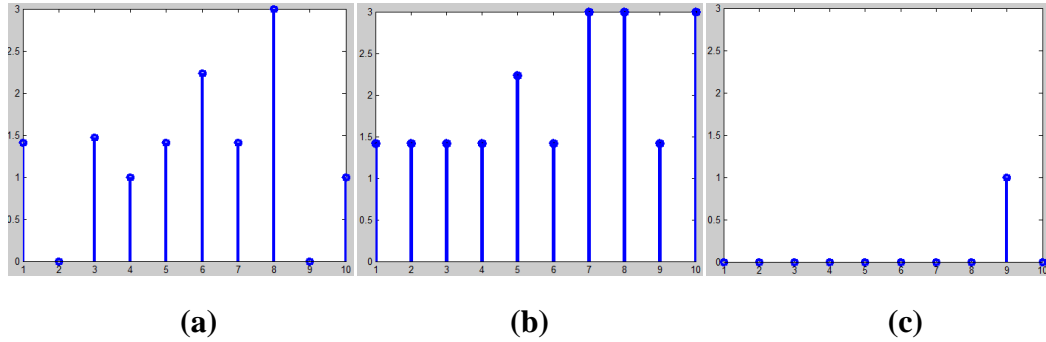
MSE Video1 25 adet resim	Integro Diferansiyel	Hough Dönüşümü	Aktif Kontur Yılan
Pupilin Merkezi (x,y)	3.0348	3.0015	0.8944
Pupilin Yarıçapı (r)	0.4000	0.6633	0.3464

Çizelge 2.2. Video 2 'den alınan 10 adet resim için Integro-Diferansiyel Operatör, Hough Dönüşümü ve Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemlerinden elde edilen (pupil merkez koordinatları ve yarıçapları için) Ortalama Kare Hataları (MSE)


























MSE Video2 10 adet resim	Integro Diferansiyel	Hough Dönüşümü	Aktif Kontur Yılan
Pupilin Merkezi (x,y)	2.0494	2.3874	0.3162
Pupilin Yarıçapı (r)	0.4472	0.7071	0.3162





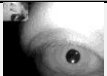
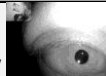






Şekil 2.21. Video 1 için (a) Integro-Diferansiyel Operatör, (b) Hough Dönüşümü ve (c) Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemlerinden elde edilen pupil merkez koordinatları (x,y) için Ortalama Kare Hatalarının (MSE) grafiksel olarak gösterimi



Şekil 2.22. Video 2 için (a) Integro-Diferansiyel Operatör, (b) Hough Dönüşümü ve (c) Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemlerinden elde edilen pupil merkez koordinatları (x,y) için Ortalama Kare Hatalarının (MSE) grafiksel olarak gösterimi

Video1 25 adet örnek resim (1...13)	Gerçek Piksel Değerleri	Integro Diferansiyel	Hough Dönüşümü	Aktif Kontur Yılan	Video1 25 adet örnek resim (14...25)	Gerçek Piksel Değerleri	Integro Diferansiyel	Hough Dönüşümü	Aktif Kontur Yılan	
	Merkez Koordinatları (x,y)	Merkez Koordinatları (x,y)	Merkez Koordinatları (x,y)	Merkez Koordinatları (x,y)		Merkez Koordinatları (x,y)	Merkez Koordinatları (x,y)	Merkez Koordinatları (x,y)	Merkez Koordinatları (x,y)	Merkez Koordinatları (x,y)
	Yarıçap (r)	Yarıçap (r)	Yarıçap (r)	Yarıçap (r)		Yarıçap (r)	Yarıçap (r)	Yarıçap (r)	Yarıçap (r)	Yarıçap (r)
1 	(160,157) (13)	(161,158) (13)	(158,154) (13)	(160,156) (13)	14 	(151,165) (13)	(152,174) (13)	(148,162) (13)	(150,165) (14)	
2 	(161,157) (13)	(164,153) (13)	(158,154) (13)	(161,155) (13)	15 	(151,166) (14)	(154,175) (12)	(148,164) (14)	(150,166) (14)	
3 	(162,156) (13)	(165,155) (13)	(162,152) (13)	(162,155) (13)	16 	(150,167) (14)	(153,174) (12)	(148,166) (13)	(150,167) (14)	
4 	(163,156) (13)	(153,162) (14)	(160,154) (13)	(163,156) (13)	17 	(149,168) (14)	(153,174) (12)	(148,166) (13)	(149,168) (14)	
5 	(164,156) (14)	(134,174) (9)	(162,152) (13)	(164,156) (14)	18 	(149,169) (14)	(154,173) (12)	(146,168) (13)	(148,170) (14)	
6 	(165,155) (14)	(152,166) (14)	(164,152) (14)	(165,155) (14)	19 	(150,170) (14)	(163,157) (13)	(148,168) (13)	(148,171) (14)	
7 	(165,154) (14)	(152,167) (14)	(162,150) (13)	(165,154) (14)	20 	(149,172) (14)	(164,157) (13)	(146,170) (13)	(149,172) (13)	
8 	(165,153) (14)	(152,168) (14)	(162,150) (12)	(165,153) (14)	21 	(150,173) (13)	(165,157) (13)	(148,170) (13)	(149,173) (13)	
9 	(165,153) (13)	(151,169) (14)	(162,150) (14)	(165,152) (14)	22 	(153,174) (13)	(166,157) (13)	(150,172) (13)	(152,174) (12)	
10 	(163,152) (14)	(150,170) (14)	(160,148) (13)	(163,152) (14)	23 	(152,173) (12)	(166,155) (13)	(150,170) (12)	(151,173) (12)	
11 	(164,153) (14)	(151,172) (13)	(162,150) (13)	(164,153) (14)	24 	(151,172) (12)	(166,155) (13)	(150,170) (12)	(151,172) (12)	
12 	(152,161) (13)	(162,158) (13)	(150,160) (14)	(152,161) (13)	25 	(153,172) (12)	(166,154) (13)	(150,170) (11)	(152,172) (12)	
13 	(150,164) (14)	(151,173) (13)	(148,162) (13)	(150,164) (14)						

Şekil 2.19. Video 1'den alınan 25 adet resim için gerçek piksel değerleri, Integro-Diferansiyel Operatör, Hough Dönüşümü ve Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemleri uygulanarak elde edilen pupil merkez koordinatları (x,y) ve yarıçap (r) değerleri

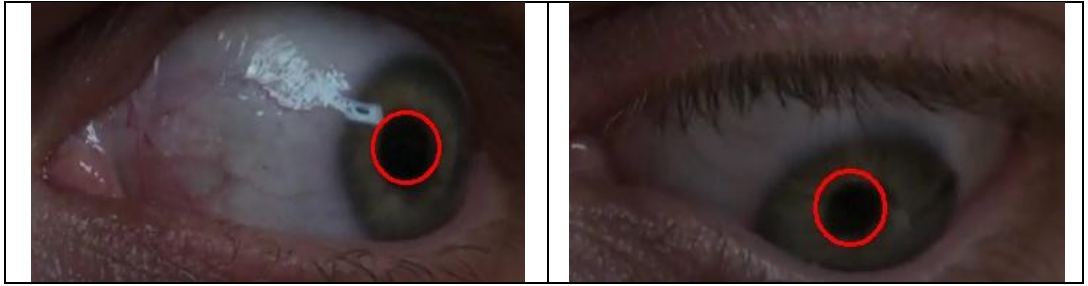
Video2 10 adet örnek resim (1...5)	Gerçek Piksel Değerleri	Integro Diferansiyel	Hough Dönüşümü	Aktif Kontur Yılan	Video2 10 adet örnek resim (6...10)	Gerçek Piksel Değerleri	Integro Diferansiyel	Hough Dönüşümü	Aktif Kontur Yılan	
	Merkez Koordinatları (x,y)	Merkez Koordinatları (x,y)	Merkez Koordinatları (x,y)	Merkez Koordinatları (x,y)		Merkez Koordinatları (x,y)	Merkez Koordinatları (x,y)	Merkez Koordinatları (x,y)	Merkez Koordinatları (x,y)	Merkez Koordinatları (x,y)
	Yarıçap (r)	Yarıçap (r)	Yarıçap (r)	Yarıçap (r)		Yarıçap (r)	Yarıçap (r)	Yarıçap (r)	Yarıçap (r)	Yarıçap (r)
1 	(221,172) (24)	(222,173) (23)	(222,173) (23)	(221,172) (24)	6 	(238,173) (24)	(243,177) (23)	(234,168) (23)	(238,173) (24)	
2 	(221,172) (24)	(243,174) (23)	(218,170) (23)	(221,172) (24)	7 	(240,173) (23)	(239,174) (23)	(236,170) (23)	(240,173) (23)	
3 	(226,175) (24)	(222,173) (23)	(224,172) (23)	(226,175) (24)	8 	(237,174) (24)	(240,174) (23)	(234,170) (23)	(237,174) (24)	
4 	(239,175) (24)	(227,176) (23)	(236,174) (24)	(239,175) (24)	9 	(243,177) (23)	(238,17) (23)	(238,174) (23)	(243,176) (24)	
5 	(243,175) (24)	(240,176) (23)	(240,172) (23)	(243,175) (24)	10 	(242,173) (24)	(243,177) (23)	(238,170) (24)	(242,173) (24)	

Şekil 2.20. Video 2 'den alınan 10 adet resim için gerçek piksel değerleri, Integro-Diferansiyel Operatör, Hough Dönüşümü ve Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemleri uygulanarak elde edilen pupil merkez koordinatları (x,y) ve yarıçap (r) değerleri

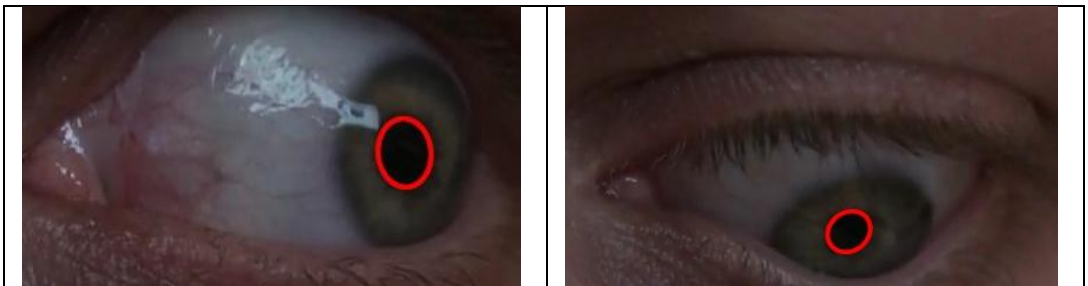
Ayrıca bu üç yöntemin karşılaştırılması için kızıl ötesi aydınlatma kullanılmadan çekilen video görüntüleri de kullanılmıştır (Şekil 2.23), (Şekil 2.24) ve (Şekil 2.25).



Şekil 2.23. Integro-Diferansiyel Operatörün kızıl ötesi aydınlatma kullanılmadan çekilen resimlere uygulanması



Şekil 2.24. Hough Dönüşümü yönteminin kızıl ötesi aydınlatma kullanılmadan çekilen resimlere uygulanması



Şekil 2.25. Aktif Kontur Yılan algoritmasının kızıl ötesi aydınlatma kullanılmadan çekilen resimlere uygulanması

Hesaplamalardan da görüldüğü üzere Integro Diferansiyel Operatörünün ve Hough Dönüşümünün pupilin sadece çember olduğu durumlarda uygulanabilir olması, gürültüden kolay etkilenmesi ve uygulanan Aktif Kontur Yılan algoritmasına göre daha fazla hataya sahip olmaları nedeniyle pupil tespitinde Integro Diferansiyel Operatör ve Hough Dönüşümü yeterli başarıyı sağlamamaktadır.

Ayrıca pupilin sürekli hareketli olması da hesaba katılarak Aktif Kontur Yılan modeli ile elips bulma algoritması uygulanarak hem gözün sadece çember olmadığı durumlar hesaplanmış, hem de Integro Diferansiyel Operatörü ve Hough Dönüşümüne göre daha az hata oranına sahip hesaplamalar yapılmıştır.

Bu nedenlerden dolayı pupilin tespit edilmesinde Integro Diferansiyel Operatör, Hough Dönüşümü ve Aktif Kontur Yılan yöntemleri içinde Aktif Kontur Yılan yönteminin daha etkili olduğu ve daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Göz izleme sisteminde, Aktif Kontur Yılan yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

Aktif Kontur Yılan yönteminin pupilin tespit edilmesindeki başarısını gözlemleyebilmek için testlere devam edilmiştir. Kızıl ötesi (IR) aydınlatmanın etkisinin az olduğu ve gürültülü bir ortamda çekilen video-3'den alınan resimlere Aktif Kontur Yılan yöntemi uygulanmıştır. Öncelikle pupil elips olarak kabul edilerek gerçek piksel hesabı yapılmıştır. Ardından Aktif Kontur Yılan algoritması yöntemi uygulanarak pupilin yarı eksen uzunlukları $(w)(h)$ ve merkez koordinatları (x,y) değerleri ayrı ayrı her bir resim için hesaplanmıştır (Şekil 2.26).

Hesaplanan gerçek piksel değerleri ile Aktif Kontur Yılan algoritmasından elde edilen sonuçlar, Ortalama Kare Hatası (Mean Square Error-MSE) yöntemi uygulanarak hesaplanmıştır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Video 3'den alınan 50 adet resim için Aktif Kontur Yılan algoritmasından elde edilen (pupil yarı eksenleri (w)(h) ve merkez koordinatları (x,y) için) Ortalama Kare Hatası (MSE)

MSE Video-3 50 adet resim	Aktif Kontur Yılan Algoritması
Pupil Yarı Eksenleri (w)(h)	7,126009
Pupil Merkez Koordinatları (x,y)	4,833218

Video-3 için ortalama Kare Hatalarının büyük çıkmasının (Çizelge 2.3) nedeni Video 3'deki görüntülerden kaynaklanmaktadır. Video-3'teki görüntüler kızıl ötesi (IR) aydınlatmanın etkisinin az olduğu ve gürültülü bir ortamda çekilmiştir. Ayrıca gözün kırıldığı anda veya aşırı gürültü olması (ekran yansımaları (Şekil 2.27 Resim 24), ortamdaki ışık miktarı gibi bozucu faktörler (Şekil 2.27 Resim 11 ve Resim 32)) gibi durumlarda pupil yok olduğu için (Şekil 2.27) Aktif Kontur Yılan algoritması pupili tespit edememektedir.

Bu hatalı durumlar işleme katılmadan ve daha iyi bir ortamda (ekran yansımaları olmadan ve ışık miktarının daha dengeli olduğu) görüntüler alınarak 100 adet resim için Aktif Kontur Yılan algoritmasından elde edilen sonuçların Ortalama Kare Hatası (Çizelge 2.4) istenilen seviyede olmaktadır.

Çizelge 2.4. Video 3'den alınan 100 adet resim için Aktif Kontur Yılan algoritmasından elde edilen (pupil yarı eksenleri (w)(h) ve merkez koordinatları (x,y) için) Ortalama Kare Hatası (MSE)

MSE Video-3 100 adet resim	Aktif Kontur Yılan Algoritması
Pupil Yarı Eksenleri (w)(h)	0,374166
Pupil Merkez Koordinatları (x,y)	0,025105

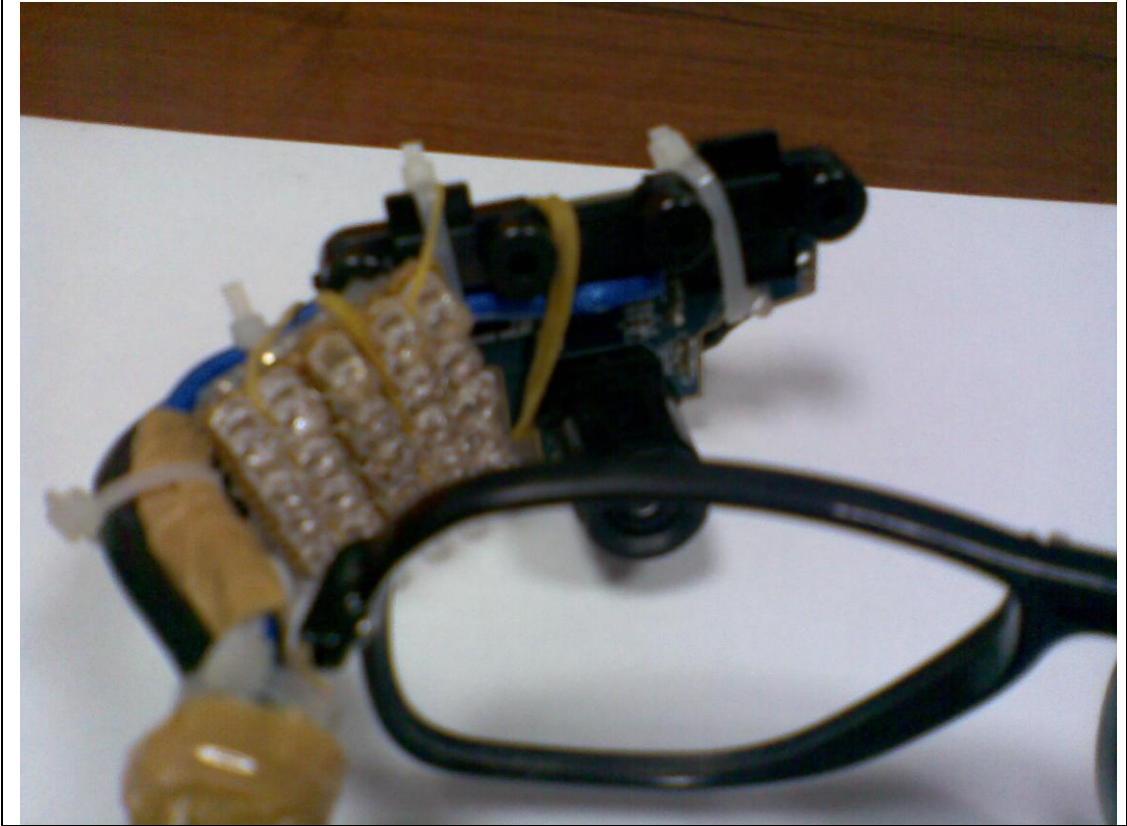
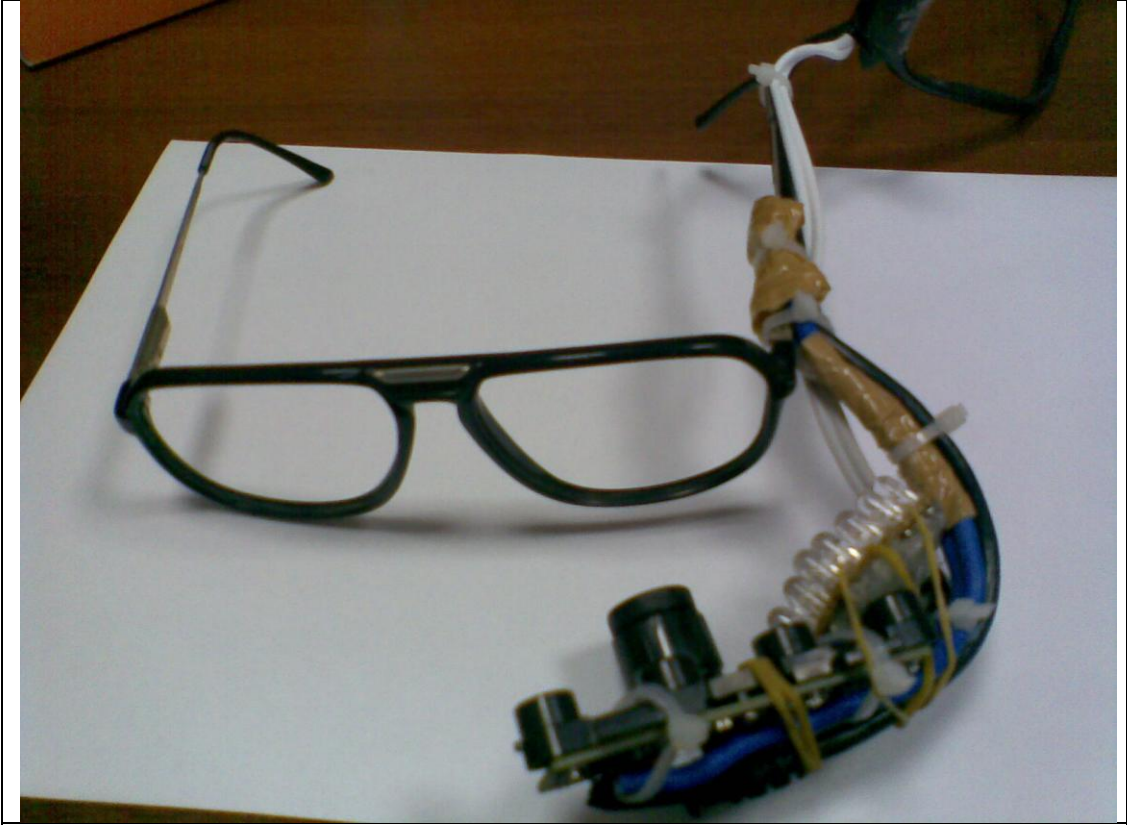
Elde edilen hata oranlarından da görüldüğü üzere Aktif Kontur Yılan algoritması pupilin kararlı olarak tespit edilmesinde yeterli başarı oranını sağlamaktadır. Ayrıca pupilin elips (çember de elipsin bir formudur) olarak tanımlanması algoritmanın başarı oranını daha da artırmaktadır.

Bipolar kişilere uygulanacak testlerde, kişilerin göz hareketlerinden elde edilecek,

- Kelimenin hangi bileşeni üzerindeyken karar verdiği,
- Kelimenin bileşenlerini okurken hangi sırayla karara vardığı,
- Karar verme süresinin ne kadar olduğu,

gibi verilerin kaydedilmesi gerekmektedir. Aktif Kontur Yılan algoritmasının yeterli başarı oranını sağlaması neticesinde gerçekleştireceğimiz göz hareketlerini izleme sisteminde Aktif Kontur Yılan algoritmasının kullanılmasına karar verilmiştir.

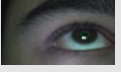

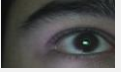

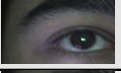
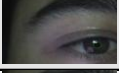
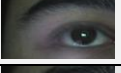
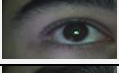
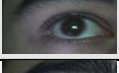
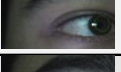

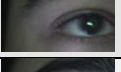
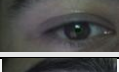
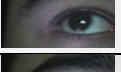
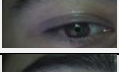
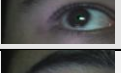
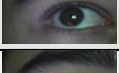
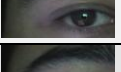
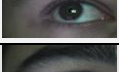
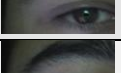
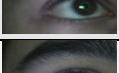
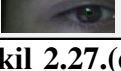
Tez kapsamında Aktif Kontur Yılan algoritması kullanılarak, uygun bir kamera ve kızıl ötesi ledler kullanılarak göz izleme sistemi (Şekil 2.26) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.26. Tez kapsamında gerçekleştirilen göz izleme sistemi

Video 3 50 adet örnek resim (1...13)	<u>Gerçek Piksel Değerleri</u>		<u>Aktif Kontur Yılan</u>		Video 3 50 adet örnek resim (14...26)	<u>Gerçek Piksel Değerleri</u>		<u>Aktif Kontur Yılan</u>	
	Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)	Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)	Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)	Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)		Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)	Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)	Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)	Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)
1 	(22)(23) (439,311)	(21)(23) (439,311)	(20)(25) (508,300)	(19)(25) (508,300)	14 	(21)(24) (442,306)	(20)(25) (442,306)	(21)(24) (507,303)	(21)(24) (507,303)
2 	(24)(27) (499,308)	(24)(27) (499,308)	(23,26) (496,311)	(23,26) (496,311)	15 	(23)(26) (491,309)	(23)(26) (491,309)	(20)(22) (482,310)	(19)(22) (482,310)
3 	(19)(23) (455,306)	(18)(23) (455,306)	(20)(22) (455,312)	(20)(22) (455,312)	16 	(20)(21) (502,305)	(7)(10) (505,324)	(20)(23) (444,312)	(20)(23) (444,312)
4 	(24)(25) (497,322)	(24)(25) (497,322)	(23)(25) (507,310)	(23)(25) (507,310)	17 	(18)(25) (491,341)	(18)(25) (491,341)	(18)(21) (453,314)	(18)(21) (453,314)
5 	(19)(25) (493,356)	(19)(25) (493,356)	(19)(22) (439,315)	(19)(22) (439,315)	18 	(21)(26) (496,365)	(21)(26) (496,365)	(21)(25) (544,357)	(21)(25) (544,357)
6 	(22)(24) (501,323)	(6)(10) (483,315)	(21)(24) (524,303)	(21)(42) (539,297)	19 	(25)(26) (506,310)	(25)(26) (506,310)	(24)(25) (523,302)	(24)(25) (523,302)
7 	(21)(23) (507,313)	(21)(23) (507,313)	(17)(23) (524,289)	(17)(23) (524,289)	20 				
8 					21 				
9 					22 				
10 					23 				
11 					24 				
12 					25 				
13 					26 				

Şekil 2.27. Video 3 'den alınan 50 adet resim için gerçek piksel değerleri ile Aktif Kontur Yılan algoritması uygulanarak elde edilen değerler

Video 3 50 adet örnek resim (27...38)	<u>Gerçek Piksel Değerleri</u>		<u>Aktif Kontur Yılan</u>		Video 3 50 adet örnek resim (39...50)	<u>Gerçek Piksel Değerleri</u>		<u>Aktif Kontur Yılan</u>	
	Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)	Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)	Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)	Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)		Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)	Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)	Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)	Yarı Eksen Uzunlukları(w)(h) Merkez Koordinatları(x,y)
27 	(18)(26) (533,269)	(18)(26) (533,269)	(18)(26) (533,269)	39 	(20)(27) (587,274)	(19)(27) (587,274)			
28 	(20)(24) (543,299)	(20)(24) (543,299)	(20)(24) (543,299)	40 	(22)(27) (605,295)	(22)(27) (605,295)			
29 	(18)(21) (525,304)	(18)(21) (525,304)	(18)(21) (525,304)	41 	(22)(25) (597,348)	(22)(25) (597,348)			
30 	(19)(20) (529,304)	(19)(20) (529,304)	(19)(20) (529,304)	42 	(21)(25) (463,286)	(21)(25) (463,286)			
31 	(23)(26) (530,296)	(23)(26) (530,296)	(23)(26) (530,296)	43 	(16)(21) (446,284)	(16)(21) (446,284)			
32 	(22)(24) (630,315)	(47)(53) (637,305)	(47)(53) (637,305)	44 	(19)(23) (396,288)	(19)(23) (396,288)			
33 	(19)(25) (580,300)	(19)(25) (580,300)	(19)(25) (580,300)	45 	(19)(24) (471,343)	(19)(24) (471,343)			
34 	(16)(22) (497,290)	(16)(22) (497,290)	(16)(22) (497,290)	46 	(21)(24) (474,353)	(21)(24) (474,353)			
35 	(17)(22) (489,295)	(17)(22) (489,295)	(17)(22) (489,295)	47 	(19)(22) (436,288)	(19)(22) (436,288)			
36 	(16)(22) (523,335)	(16)(22) (523,335)	(16)(22) (523,335)	48 	(19)(23) (430,286)	(19)(23) (430,286)			
37 	(16)(24) (538,344)	(16)(24) (538,344)	(16)(24) (538,344)	49 	(24)(26) (521,283)	(24)(26) (521,283)			
38 	(19)(24) (560,351)	(19)(24) (560,351)	(19)(24) (560,351)	50 	(21)(23) (445,288)	(21)(23) (445,288)			

Şekil 2.27.(devam) Video 3 'den alınan 50 adet resim için gerçek piksel değerleri ile Aktif Kontur Yılan algoritması uygulanarak elde edilen değerler



Şekil 2.28. Video-3’de Gözün kırıldığı anda veya aşırı gürültü olması gibi durumlarda pupilin yok olduğu durumlar

3. DENEY VERİLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

3.1. Bipolar Duygu Durum Bozukluğu

Ateşe Dokunarak: Manik Depresif Bozukluk ve sanatsal Mizaç (Touch With Fire: Manic-depressive Illness and The Artistic Temperament) isimli kitabında Kay Jamison, bipolar duygu durum bozuklukları ve özellikle sanatsal yaratıcılık ile bipolar bozukluk arasında bir bağlantı kurmaya çalışmıştır. Duygu durum bozukluğu olan sanatçıların, bestecilerin ve yazarların listesi (Michelangelo, Van Gogh, Tchaikovsky, Gauguin, Tennyson, Shelley ve Withman gibi) oldukça çarpıcıdır. Bu sonuç manik durumda, yükselen duygu durumunun, artan enerjinin, hızlı düşünmenin ve normalde ilişkisiz olan düşünceler arasında bağlantı kurma yeteneğinin yaratıcılığı tetikleyebileceğini göstermiştir. Fakat duygu durum bozukluğu olduğu halde yaratıcı olmayan veya duygu durum bozukluğu olmayan ancak yaratıcı olan insanlardan da oluşan listeler yapmak mümkündür.[35]

Bipolar kişilerin düşük benlik saygısı olabileceğini incelemek için Winters ve Neale (1985) bir test geliştirmişlerdir. Bipolar kişilere ve kontrol grubuna bir benlik saygısı testi ve bir yapılandırılmış bellek testi uygulamışlardır. Yapılandırılmış bellek testinde bipolar kişilerin benlik saygılarını ölçmeye çalışmışlardır. Yapılandırılmış bellek testlerinde kişilere olumlu ve olumsuz sonuçlardan oluşan yazılar okutulmuştur. Ardından yazılarla ilgili hatırladıklarını sorgulayan testler uygulanmıştır. Bu testlerin bir kısmında kişilerin hatırladıkları sorgulanırken, bir kısmında ise kişilerin çıkarsamalar yapmasına çalışılmıştır. Örneğin, bir yazıda işsiz bir adamdan bahsedilmektedir. Adamın işsiz olma nedeni açıkça belirtilmeyip, ya adamın kötü ekonomiden dolayı işsiz olması ya da adamın başarısızlığından dolayı

işsiz olması sonucu çıkartılacaktır. Benlik saygısı düşük olanların adamın başarısızlığından dolayı işsiz olması sonucunu çıkarmaları beklenmiştir. [36]

Sonuçlar beklenildiği gibi çıkmıştır. Yapılandırılmış bellek testinde bipolar kişilerin benlik saygılarının düşük çıktığı gözlenmiştir. Sonuç olarak bipolar kişilerin benlik saygılarının düşük olduğu söylenebilir.[36]

Bu çalışmalar da göz önünde bulundurularak, bipolar hastalarla kontrol grubu arasında karşılaştırma yapmaya imkan sağlayacağı düşünülen bir deney paradigması hazırlanmıştır.

3.2. Kullanılan Deney Paradigması

Görünüş kipi (-dı, -yor, -ecek) çekimi açısından bipolar kişilerin farklılık gösterip göstermediğini anlamak için öncelikle ölçümün yapılabileceği geçerli bir araç oluşturmak gerekmektedir. Bu amaçla Microsoft Visual Studio C++ programlama dili ve OpenCV kütüphanesi kullanılarak bir deney paradigması hazırlanmıştır. Deney paradigması iki aşamadan oluşmaktadır.

İlk aşama kalibrasyon aşamasıdır. Kişinin ekranda hangi noktaya baktığının bulunması gerekmektedir. Bunun için kişinin ekranda belirlenen bazı noktalara bakması istenmiştir. Kişi bu noktalara bakarken pupilin ne kadar hareket ettiği bilgisi hesaplanarak kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon işlemi sonucunda kişinin ekranda hangi noktaya baktığının bilgisi bulunmuştur.

İkinci aşama ise deney aşamasıdır. Deney aşamasında yaşları 20-50 arasında değişen 20 bipolar hastasının oluşturduğu bir gruba ve yine yaşları 20-50 arasında değişen 20 sağlıklı kişinin oluşturduğu kontrol grubuna, ön deney amacıyla, bilgisayar programıyla hazırlanmış bir deney uygulanmıştır. Deneyde, kişilerden

ekrana gelen kelimeleri okuyup fareye basmaları istenmiştir. Ekranaya gelen kelimelerin bir kısmı anlamlı (çizdim, kaldırdım vs) (Çizelge 3.1), bir kısmı da anlamsız (kalpardım, osudum vs) (Çizelge 3.2) kelimelerden oluşturulmuştur. Kişilerden gelen kelimeleri okuyup; anlamlı ise farenin sol tuşuna basmaları, anlamsız ise farenin sağ tuşuna basmaları istenmiştir.

Anlamlı ve anlamsız kelimeler üç farklı görünüş kipleri (bitmişlik (-dı), sürüyorluk (-yor), ve plan\niyet aşamasındalık (-acak)) kullanılarak oluşturulmuştur. Örnek kelimeler (Çizelge 3.1) ve (Çizelge 3.2)'deki gibidir.

Çizelge 3.1. Üç farklı görünüş kipleri (bitmişlik (-dı), sürüyorluk (-yor), ve plan\niyet aşamasındalık (-acak)) kullanılarak oluşturulmuş anlamlı örnek kelimeler

1. Kelime Grubu	2. Kelime Grubu	N. Kelime Grubu
“çizdim”	“kaldırdım”	...
“çiziyorum”	“kaldırıyorum”	...
“çizeceğim”	“kaldıracağım”	...

Çizelge 3.2. Üç farklı görünüş kipleri (bitmişlik (-dı), sürüyorluk (-yor), ve plan\niyet aşamasındalık (-acak)) kullanılarak oluşturulmuş anlamsız örnek kelimeler

1. Kelime Grubu	2. Kelime Grubu	N. Kelime Grubu
“kalpardım”	“osudum”	...
“kalparıyorum”	“osuyorum”	...
“kalparacağım”	“osacağım”	...

Kişiler, farenin tuşuna her bastığında ekrana karışık olarak gelmekte olan (örneğin “çizdim”, fareye bastıktan sonra “osuyorum”, fareye bastıktan sonra “kalpardım” vb kelimelerin gelmesi gibi) kelimeleri okurken, bu kişilerin göz hareketleri gerçekleştirilen göz izleme sistemi ile takip edilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Gerçekleştirilen göz izleme sistemi ile kişilerin göz hareketlerinin takip edilmesi

3.3. Deney Paradigmasıyla Paralel Çalışan Göz Hareketleri Takip Sisteminden

Elde Edilen Veriler

Deneyin uygulanması süresi boyunca kişiler kelimenin;

- Köküne mi,
- Ekine (üç farklı görünüş kiplerinden (bitmişlik (-dı), sürüyorluk (-yor), ya da plan\niyet aşamasındalık (-acak)) birine) mi,
- Ekranda kelime dışındaki başka bir yere mi bakmaktadır.

Kişilerin nereye baktığının bilgisini bulabilmek için gerçekleştirdiğimiz göz hareketleri izleme sistemine her kelime için kök ve ek bilgisinin yerlerinin koordinatları verilmiştir. Gerçekleştirdiğimiz göz hareketleri izleme sistemine örneğin “çizdi” (“çiz-di”) kelimesi için kökün (çiz) başlangıç ve bitiş koordinatları ile ekin (-di) başlangıç ve bitiş koordinatları verilmiştir. Bu sayede gözün kelimenin neresine baktığı hesaplanmıştır.

Deneyde, gerçekleştirdiğimiz göz hareketlerini izleme sistemi ile;

- Oluşturulan deney paradigması uygulanırken toplam geçen süre bilgisi (milisaniye cinsinden),
- Gözün ekranda baktığı noktanın koordinatları (x,y),
- Pupilin yarı eksen uzunlukları (w,h) (eğer w=h olursa pupil, çember olmaktadır),
- Pupilin ne kadar süre boyunca sabit kaldığı bilgisi (milisaniye cinsinden),
- Kelimeyi okuyup, fareye basma anı bilgisi,

- Gözün ekranda nereye baktığının bilgisi (kelimenin kökü ne mi, eki ne mi, yoksa kök ve ek dışında başka bir yere mi?),
- Ekranaya gelen kelimenin hangi görünüş kipi ekiyle (“-d”, “-yor”, “-ecek”) ekimlendiği bilgisi,
- Kişilerin, kelimeleri anlamlı mı, yoksa anlamsız mı olarak değerlendirdikleri bilgileri deney verileri olarak her bir kişi için ayrı ayrı kaydedilmiştir.

Kontrol grubundaki sağlıklı bir kişinin 3 tane anlamlı kelimeyi okurken elde edilen verileri örnek olarak (izelge 3.3) verilmiştir.

Bundan sonraki aşamada, kaydedilen bu deney verilerinden istenilen parametreler hesaplanmıştır.

Çizelge 3.3. Kontrol grubundaki sağlıklı bir kişinin 3 tane anlamlı kelimeyi okurken elde edilen verilerin örnek olarak gösterilmesi

1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*	10*	11*
çizeceğim	33	624	362	16	18	33	1	2	3	
	66	624	346	16	18	33	1	2	3	
	99	624	362	16	18	33	1	2	3	
	132	624	346	17	18	33	1	2	3	
	165	576	346	17	18	33	1	1	3	
	198	732	362	16	17	33	1	2	3	
	231	780	346	17	18	33	1	2	3	1
vurdum	33	780	346	17	18	33	2	2	1	
	66	564	362	17	18	33	2	1	1	
	99	540	346	17	18	33	2	1	1	
	132	552	346	17	18	33	2	1	1	
	165	672	346	17	18	33	2	2	1	
	198	684	346	17	18	33	2	2	1	
	231	756	346	16	17	33	2	2	1	1
fırlatacağım	33	792	346	17	17	33	3	2	3	
	66	564	362	17	18	33	3	1	3	
	99	564	346	17	18	33	3	1	3	
	132	492	346	17	18	33	3	1	3	
	165	492	346	17	18	66	3	1	3	
	198	504	346	17	18	33	3	1	3	
	231	708	346	17	18	33	3	2	3	
	264	732	346	17	18	33	3	2	3	
	297	840	346	17	18	33	3	2	3	1

Çizelge 3.3 için Açıklamalar

- 1*** Örnek olarak verilen 3 adet anlamlı kelime
- 2*** Her kelime için toplam geçen süre (ms)
- 3*** Pupilin merkez koordinatlarından x koordinatının bilgisi
- 4*** Pupilin merkez koordinatlarından y koordinatının bilgisi
- 5*** Pupilin w yarı eksen uzunluğu bilgisi
- 6*** Pupilin h yarı eksen uzunluğu bilgisi
- 7*** Pupilin merkez koordinatlarının (x,y) bir önceki duruma göre sabit kaldığı süre (ms)
- 8*** Deney boyunca fareye toplamda kaç kez basıldığının bilgisi
- 9*** Gözün ekranda nereye baktığının bilgisi (1-kök, 2-ek, 3-diğer yerler)
- 10*** Ekranı gelen kelimenin hangi görünüş kipi ekiyle çekimlendiği bilgisi (1“-di” 2“-yor”, 3“-ecek”)
- 11*** Kişilerin, kelimeleri anlamlı mı, yoksa anlamsız mı olarak değerlendirdikleri bilgisi (1-anlamlı, 2-anlamsız)

3.4. Elde Edilen Verilerden İstenilen Parametrelerin Hesaplanması

Kişinin gözünün kelimenin eki (“-dı”, “-yor” veya “-ecek”) üzerinde kaldığı toplam sürenin (bir kez kalmışsa kaldığı o süre, birkaç kez kalmışsa her kalışına ait sürelerin toplamı), kişinin kelimeyi okuyup fareye basana kadar geçen süreye oranı, o kelimenin zihinsel sözlükten (mental lexicon) çağrılmasını yansıtan veridir.

$$\bullet \left(\frac{\text{Fareye basma süresi boyunca eki okuma süresi}}{\text{Fareye basma süresi}} \right) = \left(\frac{t_e}{t_f} \right) \quad 3.1$$

Deneyde her eylemin 3 farklı görünüş kipi ekiyle (“-dı”, “-yor”, “-ecek”) çekilmiş hali (çizdim, çiziyorum, çizeceğim) mevcut olduğundan görünüş ekinin kelimenin zihinsel sözlükten çağrılmasında bir etkisinin olup olmadığı $\left(\frac{t_e}{t_f} \right)$ oranı sayesinde irdelenmiş olacaktır.

Görünüş ekinin, kelimenin zihinsel sözlükten çağrılmasında bir etkisinin olup olmadığını yansıtabilecek diğer iki parametre ise kişinin karar vermeden (fareye basmadan) önce baktığı en son yerin kelimenin eki olması durumunda gözün buradaki bekleme süresinin toplam okuma süresine oranıdır.

$$\bullet (\text{Karar verme yeri}) = (L) \quad 3.2$$

$$\bullet \left(\frac{\text{Karar verme süresi}}{\text{Fareye basma süresi}} \right) = \left(\frac{t_k}{t_f} \right) \quad 3.3$$

Kişinin, ekrana gelen kelimeye (kişiden kelime anlamlı ise farenin sol tuşuna basması, anlamsız ise farenin sağ tuşuna basması istenmiştir) göre farenin tuşuna basması ise bir diğer parametre olarak kaydedilmiştir.

- $(\text{Fareye sağ veya sol basma}) = (C)$ **3.4**

Bir diğer parametre, kişinin kelimeyi okuyup fareye basma süresince kelime üzerinden kaç kez geçtiğidir. Örneğin kişi kelimeyi okurken önce köke ardından eke bakıp fareye basarsa bu bir tur, önce köke ardından eke bakıp sonra tekrar köke bakıp fareye basarsa bu da iki tur olarak tanımlanmıştır. Bu şekilde, kişinin kelimeyi okuyup fareye basma süresince kaç tur attığı tanımlanmıştır.

- $(\text{Kelime üzerindeki tur say ısı}) = (T)$ **3.5**

Kullanılan son parametre ise, kelime geldiği andan itibaren başlayan ve kişinin fareye basma anına kadar geçen süredir.

- $(\text{Fareye basma süresi}) = (t_f)$ **3.6**

Göz hareketleri takip sisteminden elde edilen veriler (gözün ekranda baktığı noktanın koordinatları (x,y) , pupilin yarı eksen uzunlukları (w,h) , pupilin ne kadar süre boyunca sabit kaldığı bilgisi, fareye her basmada geçen süre bilgisi, gözün ekranda nereye baktığı bilgisi, deneyin başlayıp bitişine kadar geçen süre bilgisi,

kişilerin kelimeleri anlamlı mı yoksa anlamsız mı olarak değerlendirdikleri bilgileri) kullanılarak bu 6 adet parametre (3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6) hesaplanmıştır.

Bundan sonraki aşamada bu parametrelerin istatistiksel analizi yapılmıştır.

3.5. Parametrelerin İstatistiksel Analizi

İlk olarak bipolar ve kontrol gruplarının, anlamlı ve anlamsız kelimelere karşı verdikleri doğru ve yanlış sayıları bakımından bir karşılaştırma yapılmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Bipolar ve kontrol gruplarının anlamlı ve anlamsız kelimeler kelimelere karşı verdikleri toplam doğru ve yanlış sayıları

(C)	Toplam Doğru Sayısı	Toplam Yanlış Sayısı
Bipolar Grup	8910	90
Kontrol Grubu	8990	10

Bipolar bozukluğu olan kişilerin anlamlı olarak daha fazla hata yaptıkları gözlemlenmiştir ($p < 0,001$). Bipolar bozukluğu olan kişilerin yaptıkları hataların görünüş eki açısından dağılımının farklılık gösterip göstermediğinin belirlenmesi için bipolar grubun yanlış olarak cevapladığı kelimeler incelenmiş ve görünüş ekleri açısından bir farkın çıkmadığı saptanmıştır ($p = 0,513$).

Görünüş ekinin kelimenin zihinsel sözlükten çağırılmasında bir etkisinin olup olmadığının gözlenebilmesi için gözün kelimenin eki üzerinde kaldığı toplam

sürenin, kişinin kelimeyi okuyup fareye basana kadar geçen süreye oranının $\left(\frac{t_e}{t_f} \right)$

ortalamları, her üç görünüş kipi için bipolar ve kontrol gruplarından alınan verilerle ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Gözün kelimenin eki üzerinde kaldığı toplam sürenin, kişinin kelimeyi okuyup fareye basana kadar geçen süreye oranının her üç görünüş kipi için ortalama değerleri

$\left(\frac{t_e}{t_f}\right)$	“-di” Görünüş Kipi Eki	“-yor” Görünüş Kipi Eki	“-ecek” Görünüş Kipi Eki
Bipolar Grup	0,529941	0,658065	0,638980
Kontrol Grubu	0,575861	0,641582	0,684621

“-dı” görünüş ekine ait $\left(\frac{t_e}{t_f}\right)$ değeri, diğer iki görünüş ekine (“-yor”, “-ecek”) ait $\left(\frac{t_e}{t_f}\right)$ değerleri ile karşılaştırıldığında, bipolar ve kontrol gruplarının ikisinde de “-dı” görünüş ekine ait $\left(\frac{t_e}{t_f}\right)$ değerinin anlamlı olarak daha küçük olduğu gözlemlenmiştir ($p<0,001$).

Görünüş ekinin kelimenin zihinsel sözlükten çağırılmasında bir etkisinin olup olmadığının gözlenebilmesi için, kişinin karar vermeden önce (fareye basmadan önce) baktığı en son yerin kelimenin eki olması durumunda gözün buradaki bekleme süresinin toplam okuma süresine oranının $\left(\frac{t_k}{t_f}\right)$ ortalamları her üç görünüş kipi

için bipolar ve kontrol gruplarından alınan verilerle ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Kişinin karar vermeden önce baktığı en son yerin kelimenin eki olması durumunda gözün buradaki bekleme süresinin toplam okuma süresine oranının her üç görünüş kipi için ortalama değerleri

$\left(\frac{t_k}{t_f}\right)$	“-di” Görünüş Kipi Eki	“-yor” Görünüş Kipi Eki	“-ecek” Görünüş Kipi Eki
Bipolar Grup	0,185501	0,161086	0,157723
Kontrol Grubu	0,192377	0,169792	0,188087

Görünüş kiplerine ait $\left(\frac{t_k}{t_f}\right)$ değerleri arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı gözlemlenmiştir.

Kişinin kelimeyi okuyup fareye basma süresince kelime üzerinde kaç kez (kişi kelimeyi okurken önce köke ardından eke bakıp fareye basarsa bu bir tura karşılık gelmekteyken, önce köke ardından eke bakıp sonra tekrar köke bakıp fareye basarsa bu da iki tura karşılık gelmektedir) tur attığı sayıları değerlerinin ortalamaları her üç görünüş kipi için bipolar ve kontrol gruplarından alınan verilerle ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Tur sayılarının her üç görünüş kipi için ortalama değerleri

(T)	“-di” Görünüş Kipi Eki	“-yor” Görünüş Kipi Eki	“-ecek” Görünüş Kipi Eki
Bipolar Grup	2,493333	2,326667	2,506667
Kontrol Grubu	1,953333	2,046667	1,886667

Bipolar bozukluğu olan kişilerin kelimeler üzerindeki tur sayılarının daha fazla olduğu ve daha çok tekrar okuma eylemi gösterdikleri gözlemlenmiştir. Bipolar bozukluğu olan kişilerin özellikle “-di” ve “-ecek” görünüş kiplerinde yaptıkları tekrar sayılarının, kontrol grubundaki kişilerin bu görünüş kiplerinde yaptıkları tekrar sayılarından daha çok olduğu saptanmıştır.

Kelime geldiği andan itibaren başlayan ve kişinin fareye basma anına kadar geçen sürenin ortalama değerleri her üç görünüş kipi için bipolar ve kontrol gruplarından alınan verilerle ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. Kişinin fareye basma anına kadar geçen sürenin her üç görünüş kipi için ortalama değerleri

(t_f) (milisaniye)	“-di” Görünüş Kipi Eki	“-yor” Görünüş Kipi Eki	“-ecek” Görünüş Kipi Eki
Bipolar Grup	403,04	418,88	454,52
Kontrol Grubu	295,46	315,26	335,5

Bipolar bozukluğu olan kişilerde kelime geldiği andan itibaren başlayan ve kişinin fareye basma anına kadar geçen sürenin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bipolar bozukluğu olan kişilerin kelimeler üzerindeki tur sayılarının da daha fazla olması hesaba katıldığında ve fareye basma anına kadar geçen sürenin de daha uzun olması bipolar bozukluğu olan kişilerin daha çok tekrar okuma eylemi gösterdiklerini desteklemiştir.

Bütün bu verilerin ışığı altında ortaya çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.6. Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu tezin kapsamında ortaya çıkan sonuçlar; bipolar bozukluğu olan kişilerin daha çok hata yaptıklarına, kelimeleri okurken daha çok tur atarak okuduklarına ve buna bağlı olarak toplam okuma sürelerinin daha fazla olduğuna işaret etmiştir. Bunun dışında bipolar ve kontrol grupları bir arada ele alındığında sonuçlar zihinsel sözlükten, “-dı” görünüş kipi eki ile kurulmuş kelimelerin, “-yor” ve “-ecek” görünüş kipi ekleri ile kurulmuş kelimelerden daha hızlı çağırıldığını göstermiştir. Bipolar bozuklukta görünüş eklerinden herhangi birisinin zihinsel sözlüğe girişte farklı bir etki gösterdiğini gösteren bir bulguya rastlanmamıştır.

Bipolar bozukluğu olan kişilerin daha çok hata yapmaları bipolar bozukluğun çekirdek özelliği olan dikkat dağınıklığı (distractivite) ile ilişki göstermektedir. Bipolar bozukluğu olan kişilerin kelimeler üzerindeki tur sayılarının fazla ve fareye basma anına kadar geçen sürelerinin de uzun olması dikkat dağınıklığı ile ilişki göstermektedir.

“-dı” görünüş ekine ait $\left(\frac{t_e}{t_f}\right)$ değeri, diğer iki görünüş ekine (“-yor”, “-ecek”)

ait $\left(\frac{t_e}{t_f}\right)$ değerleri ile karşılaştırıldığında, bipolar ve kontrol gruplarının ikisinde de

“-dı” görünüş ekine ait $\left(\frac{t_e}{t_f}\right)$ değerinin anlamlı olarak daha küçük çıkmasını

($p < 0,001$) açıklayabilecek en olası ve yüksek yorum frekans etkisi gibi durmaktadır.

Türkçede farklı görünüş kipi ekleri ile kurulmuş eylemlerin sıklığını ve bu eylemlerin hangi eylemler olduğunu ortaya koyabilecek nitelikte bir çalışma olmadığından bu kapsamda sezgisel bir söylemle “-dı” görünüş kipi ekli eylemlerin

diğer görünüş kipi ekli eylemlere göre daha sık kullanıldığı öne sürülebilir. Frekansı yüksek olan kelimelerin zihinsel sözlükten daha kolay ve hızlı çağırıldığı bilgisinden hareketle zihinsel sözlükten “-dı” görünüş kipi ekli eylemlerin daha hızlı çağırılmasının bunun doğal bir sonucu olduğu öne sürülebilir. Ayrıca “-dı” görünüş kipi ekli eylemlerin, diğer görünüş kipi ekli eylemlere göre daha hızlı okunabilmesi de olası sonuçlar içerisindedir.

Kullanılan parametrelerden istatistiksel olarak anlamlı ifadeler elde edilmesi sonucunda, bu parametreler istatistiksel öğrenme teorisine dayalı kontrollü bir sınıflandırma algoritması olan DVM'ye uygulanmıştır.

3.7. Verilerin DVM için Uygun Hale Getirilerek DVM'ye Uygulanması

- $$\left(\frac{\text{Fareye basma süresi boyunca eki okuma süresi}}{\text{Fareye basma süresi}} \right) = \left(\frac{t_e}{t_f} \right) \quad (3.1)$$

- $$(\text{Karar ver me yeri}) = (L) \quad (3.2)$$

- $$\left(\frac{\text{Karar ver me süresi}}{\text{Fareye basma süresi}} \right) = \left(\frac{t_k}{t_f} \right) \quad (3.3)$$

- $$(\text{Fareye sağ veya sol basma}) = (C) \quad (3.4)$$

- $$(\text{Kelime üzerindeki tur sayısı}) = (T) \quad (3.5)$$

- $$(\text{Fareye basma süresi}) = (t_f) \quad (3.6)$$

Elde edilen parametrelerin (3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6) DVM'ye uygulanabilmesi için [0,1] veya [-1,1] aralığında normalize edilmesi gerekmektedir.

3.1 ve 3.3 parametrelerinde fareye basma süresi (t_f), eki toplamda okuma süresinden (t_e) ve karar verme süresinden (t_k) büyük olacağı için her durumda

$0 \leq \left(\frac{t_e}{t_f}\right) \leq 1$ ve $0 < \left(\frac{t_k}{t_f}\right) \leq 1$ olmaktadır ve DVM'ye uygulanabilir durumdadır.

3.2 parametresinde gözün konumu kelimenin:

- Kökünde ise $L=0$,
- Ekinde ise $L=0,5$,
- Ekranın başka bir yerinde ise $L=1$ olarak normalize edilmiştir.

3.4 parametresi, kişi farenin:

- Sağ tuşuna basarsa $C=0$,
- Sol tuşuna basarsa $C=1$ olarak normalize edilmiştir.

3.5 ve 3.6 parametreleri belirlenen değerlere (N_1 ve N_2) bölünerek normalize edilmiştir

$$\bullet \text{ (Tur sayısının normalize edilmesi) } = \left(\frac{T}{N_1}\right) \quad 3.7$$

$$\bullet \text{ (Fareye basma süresinin normalize edilmesi) } = \left(\frac{t_f}{N_2}\right) \quad 3.8$$

DVM'ye uygulanabilir duruma getirilen parametreler (3.9) vektör konumuna getirilerek DVM uygulanmak için düzenlenmiştir.

$$\bullet \left[\left(\frac{t_e}{t_f}\right), (L), \left(\frac{t_k}{t_f}\right), (C), \left(\frac{T}{N_1}\right), \left(\frac{t_f}{N_2}\right) \right] \quad 3.9$$

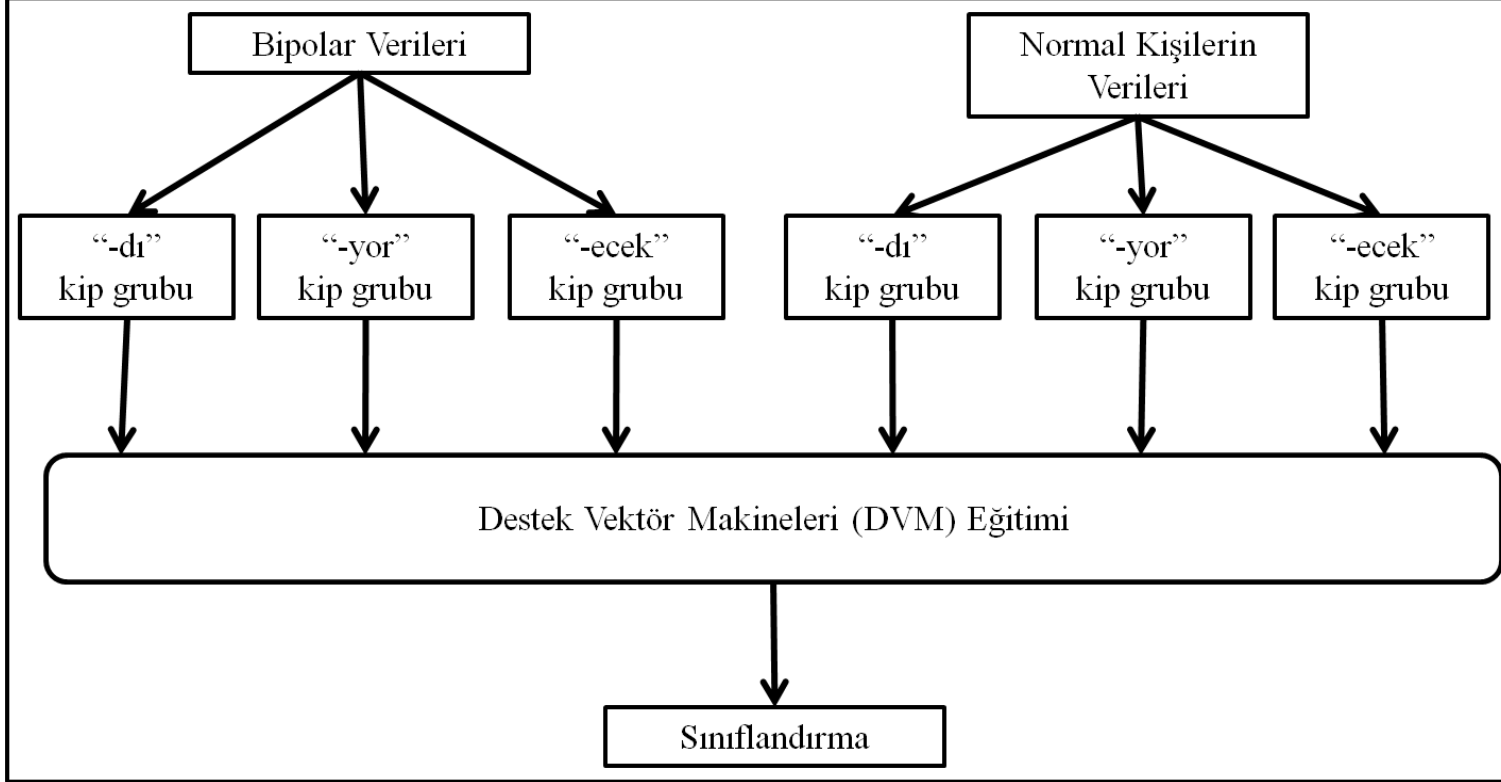
N adet 3 görünüş kipini de barındıran kelimeler için (“çizdim”, “çiziyorum”, “çizeceğim” vs), bütün kelimeler görünüş kiplerine (-dı, -yor, -acak) göre gruplara ayrılmıştır. Her gruptaki kelimeler için elde edilen veriler 3.9’deki vektör formatına getirilmiştir. Örneğin N adet 3 görünüş kipini de barındıran kelimeler göz önüne alındığında “-dı” görünüş kipi için $\left[\left(\frac{6xN}{3}\right)\right][1]$ boyutunda bir vektör elde edilmiştir. “-dı”, “-yor”, “-acak” görünüş kipleri göz önüne alındığında toplam 3 tane $\left[\left(\frac{6xN}{3}\right)\right][1]$ boyutunda vektörler elde edilmiştir. Örneğin 30 tane anlamlı kelime için kontrol grubundaki sağlıklı bir kişinin verileri DVM uygulanmak için toplam 3 tane $[60][1]$ boyutunda vektörler şeklinde düzenlenmiştir (Çizelge 3.9).

Bipolar ve kontrol grubundan alınan veriler 3 ayrı görünüş kipi için DVM’ye uygulanarak DVM’nin eğitilmesi (Şekil 3.2) sağlanmıştır.

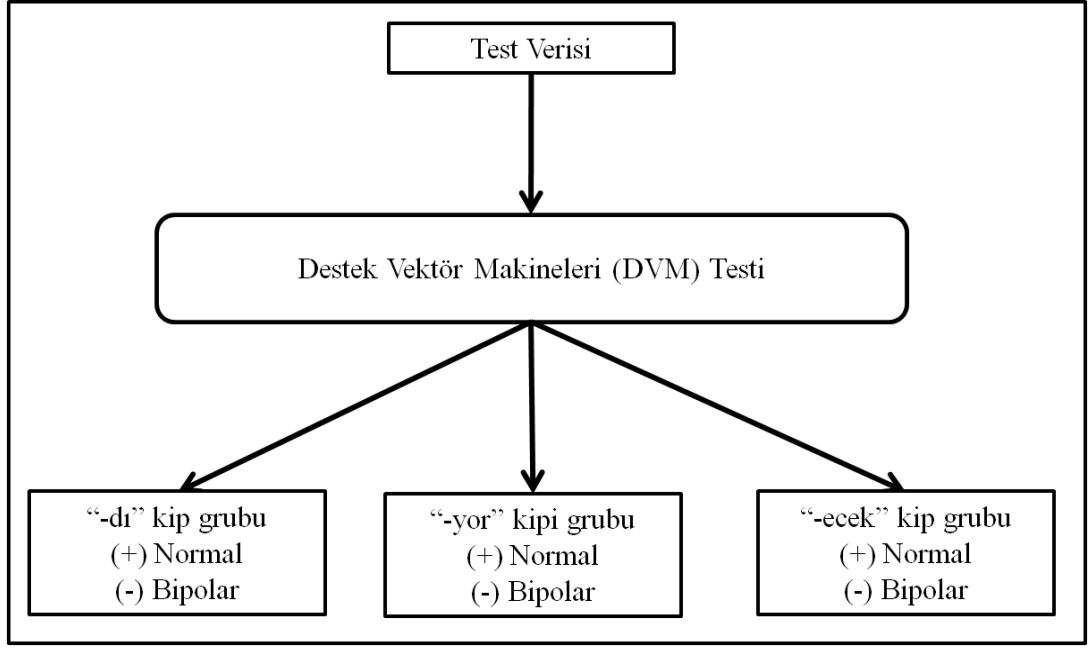
DVM eğitilirken, sınıflandırma aşamasında her görünüş kipi (-dı, -yor, -acak) grubu için “Bipolar” ve “Normal” olmak üzere iki sınıf tanımlanmıştır (Şekil 3.3).

Çizelge 3.9. Kontrol grubundaki sağlıklı bir kişinin verilerinin DVM'ye uygulanmak için “-dı”, “-yor”, “-acak” görünüş kipleri göz önüne alınarak düzenlenmiş hali

Satır No	“-dı” eki	“-yor” eki	“-acak” eki	Satır No	“-dı” eki	“-yor” eki	“-acak” eki
1	0,44	0,63	0,80	31	0,71	0,58	0,73
2	0,00	0,00	0,50	32	0,00	0,50	0,50
3	0,11	0,08	0,20	33	0,18	0,08	0,18
4	1,00	1,00	1,00	34	1,00	1,00	1,00
5	0,06	0,10	0,04	35	0,06	0,06	0,04
6	0,18	0,24	0,10	36	0,17	0,12	0,11
7	0,56	0,92	0,46	37	0,18	0,78	0,75
8	0,50	0,50	0,50	38	0,00	0,50	0,50
9	0,22	0,08	0,08	39	0,18	0,11	0,25
10	1,00	1,00	1,00	40	1,00	1,00	1,00
11	0,04	0,04	0,06	41	0,04	0,04	0,04
12	0,09	0,12	0,13	42	0,11	0,09	0,08
13	0,62	0,67	0,91	43	0,44	0,70	0,78
14	0,00	0,50	0,50	44	0,50	0,50	0,50
15	0,08	0,11	0,18	45	0,11	0,10	0,06
16	1,00	1,00	1,00	46	1,00	1,00	1,00
17	0,04	0,04	0,04	47	0,02	0,04	0,04
18	0,13	0,09	0,11	48	0,09	0,10	0,18
19	0,33	0,73	0,80	49	0,70	0,77	0,44
20	0,00	0,00	0,50	50	0,00	0,50	0,00
21	0,33	0,09	0,10	51	0,10	0,10	0,04
22	1,00	1,00	1,00	52	1,00	1,00	1,00
23	0,04	0,06	0,04	53	0,06	0,08	0,10
24	0,12	0,11	0,10	54	0,10	0,31	0,25
25	0,64	0,71	0,85	55	0,67	0,60	0,63
26	0,50	0,50	0,50	56	0,50	0,00	0,00
27	0,09	0,29	0,08	57	0,11	0,10	0,05
28	1,00	1,00	1,00	58	1,00	1,00	1,00
29	0,06	0,04	0,04	59	0,04	0,06	0,10
30	0,11	0,07	0,13	60	0,09	0,10	0,19



Şekil 3.2. DVM'ye eğitim verilerinin uygulanarak DVM'nin eğitilmesi



Şekil 3.3. DVM testi

DVM eğitildikten (train) sonra test verileri uygulanmıştır. DVM testi (Şekil 3.3) neticesinde, sonucun (+) çıkması kişinin ilgili kip için normal olduğu, (-) çıkması kişinin ilgili kipte bipolar eğilim gösterdiği şeklinde yorumlanmıştır.

DVM'nin nasıl bir sonuç verdiğinin gözlemlenebilmesi için yaşları 20 ile 50 arasında değişen farklı (bipolar ve kontrol grubunda yer alan kişiler dışındaki) kişilere gerçekleştirdiğimiz paradigma uygulanmıştır. Bipolar ve kontrol grubunda yer alan kişilerden elde edilen veriler eğitim verileri olarak kullanıldıkları için DVM'yi test etmek için başka kişilerden veriler alınmıştır. Bu kişiler bipolar bozukluk göstermeyen normal kişilerdir. Normal kişilerden alınan veriler de [0,1] arasında normalize edilip, DVM'ye uygun vektör formatına getirilerek, test verileri olarak DVM'ye ayrı ayrı uygulanmıştır. DVM'nin sınıflandırma işleminden sonra elde edilen sonuçlar (Çizelge 3.10) verilmiştir.

Çizelge 3.10. Normal kişilerden alınan, DVM'ye uygulanan 20 adet test verisinden elde edilen sonuçlar ve çıkması gereken sonuçlar (Bipolar bozukluk gösterenlerin sonuçları (-) ; Normal kişilerin sonuçları (+))

Kişi No	“-dı” Eki		“-yor” Eki		“-ecek” Eki	
	DVM sonucu	Çıkması gereken sonuç	DVM sonucu	Çıkması gereken sonuç	DVM sonucu	Çıkması gereken sonuç
1	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
2	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
3	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
4	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
5	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
6	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
7	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)
8	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
9	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
10	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
11	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
12	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
13	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
14	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
15	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
16	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
17	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
18	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
19	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)
20	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)

3.8. DVM'nin Sonuçlarının Yorumlanması

DVM'ye uygulanan test verileri normal kişilerden alındığı için sonuçların bütün kipler için olumlu (+) çıkması beklenmiştir. Normal kişilerden alınan verilerin DVM'ye uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar (Çizelge 3.10) genel itibariyle olumlu (+) çıkmıştır. Fakat 7. ve 19. deneklerin “-yor” görünüş kipi eki sonuçları olumsuz (-) yani bu kişilerin “-yor” görünüş kipi ekinde bipolar eğilim gösterdiklerini ortaya koymuştur. Bu sonuç Çizelge 3.5'teki değerlerle açıklanabilmektedir. Çizelge 3.5'te görüldüğü üzere bipolar ve kontrol grupları arasındaki “-dı” ve “-ecek” görünüş kipi

eklerine ait $\left(\frac{t_e}{t_f}\right)$ değerleri arasındaki fark fazla iken, bipolar ve kontrol grupları

arasındaki “-yor” görünüş kipi ekine ait $\left(\frac{t_e}{t_f}\right)$ değerleri birbirlerine oldukça

yakındır. Bu durumda, bipolar ve kontrol gruplarında “-yor” görünüş kipi eki ile kurulan kelimelerin zihinsel sözlükten çağırılmasında çok büyük bir fark yaşamadıkları söylenebilir.

Genel olarak, DVM'ye uygulanan test verilerinden elde edilen sonuçlar başarılı çıkmıştır.

4. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında bipolar kişilerde, eylemin durumuna ait zihinsel modeli oluşturmakla ilgili bir sorunun olup olmadığı, eylemin durumunu belirten görünüş kipinin (-dı, -yor, -acak) ifadesini biçimlendiren süreçlerin yansıması olarak kabul edilebilecek ilgili ölçüm parametrelerinin (3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6), bipolar bozukluğa sahip kişilerden oluşturulan grupla, normal kişilerden oluşturulan kontrol grubu arasındaki karşılaştırma üzerinden sınanmıştır.

Bu kapsamda sistemin tamamında;













- Literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemler de hesaba katılarak göz hareketleri takip sistemi için en uygun görüntü işleme tekniği belirlenmiş ve deneyler için uygun bir göz hareketleri takip sistemi geliştirilmiş,
- Ön deney için, amaca uygun bir paradigma geliştirilmiş,
- Kişinin deneyi gerçekleştirme süresince, gerçek zamanlı (real time) olarak, göz hareketleri kamera ile takip edilerek;
 - Görüntülerde pupilin yeri (x,y) ve yarıçapı (r) belirlenmiş,
 - Pupilin hangi koordinatta ne kadar süre kaldığı bilgisi hesaplanmış,
 - Kişinin fareye her basmada geçen süre bilgisi hesaplanmış,
 - Gözün ekranda nereye baktığının (köke mi, eke mi, yoksa kök ve ek dışında başka bir yere mi) bilgisi belirlenmiş,
 - Deneyin başlayıp bitişine kadar geçen süre bilgisi hesaplanmış,
 - Kişilerin, kelimeleri anlamlı mı yoksa anlamsız mı olarak değerlendirdikleri bilgileri kaydedilmiş,
- Bu veriler uygun parametrelere çevrilmiş,

- İstatistiksel analiz yapılmış,
- DVM eğitilip, veriler sınıflandırılarak DVM'ye test verileri uygulanmış,
- Sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çarpıcı sonuçlar elde edilmiştir. Bipolar bozukluğu olan kişilerin daha çok hata yaptıkları, kelimeleri okurken kontrol grubuna göre (Şekil 4.1) daha çok tur atarak okudukları (Şekil 4.2) ve buna bağlı olarak toplam okuma sürelerinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bunun dışında bipolar ve kontrol grupları bir arada ele alındığında zihinsel sözlükten, “-dı” görünüş kipi eki ile kurulmuş kelimelerin, “-yor” ve “-ecek” görünüş kipi ekleri ile kurulmuş kelimelerden daha hızlı çağırıldığı saptanmıştır. Bipolar bozuklukta görünüş eklerinden herhangi birisinin zihinsel sözlüğe girişte farklı bir etki gösterdiğini gösteren bir bulguya rastlanmamıştır.

Resim No.	Gözün kelime üzerindeki hareketleri (kontrol grubundaki herhangi bir kişi)
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	

Şekil 4.1. Kontrol grubundaki herhangi bir kişinin anlamlı bir kelimeyi okurken kelimenin üzerindeki göz hareketleri

Resim No.	Gözün kelime üzerindeki hareketleri (bipolar gruptaki herhangi bir kişi)	Resim No.	Gözün kelime üzerindeki hareketleri (bipolar gruptaki herhangi bir kişi)
1.		7.	
2.		8.	
3.		9.	
4.		10.	
5.		11.	
6.		12.	

Şekil 4.2. Bipolar grubundaki herhangi bir kişinin anlamlı bir kelimeyi okurken kelimenin üzerindeki göz hareketleri

Bipolar bozukluğu olan kişilerin daha çok hata yapmaları bipolar bozukluğun çekirdek özelliği olan dikkat dağınıklığını (distractivite) göstermiştir. Bipolar bozukluğu olan kişilerin kelimler üzerindeki tur sayılarının ve fareye basma anına kadar geçen sürelerinin de uzun olması bipolarlarda dikkat dağınıklığı olduğunu desteklemiştir.

“-dı” görünüş ekine ait $\left(\frac{t_e}{t_f}\right)$ değeri, diğer iki görünüş ekine (“-yor”, “-ecek”) ait $\left(\frac{t_e}{t_f}\right)$ değerleri ile karşılaştırıldığında, bipolar ve kontrol gruplarının ikisinde de “-dı” görünüş ekine ait $\left(\frac{t_e}{t_f}\right)$ değerinin anlamlı olarak daha küçük çıkmasını ($p<0,001$) açıklayabilmek için en olası ve yüksek yorumun frekans etkisi olduğu düşünülmüştür. Türkçede farklı görünüş kipi ekleri ile kurulmuş eylemlerin sıklığını ve bu eylemlerin hangi eylemler olduğunu ortaya koyabilecek nitelikte bir çalışma olmadığından bu kapsamda sezgisel bir söylemle “-dı” görünüş kipi ekli eylemlerin diğer görünüş kipi ekli eylemlere göre daha sık kullanıldığı öne sürülmüştür. Frekansı yüksek olan kelimelerin zihinsel sözlükten daha kolay ve hızlı çağırıldığı bilgisinden hareketle zihinsel sözlükten “-dı” görünüş kipi ekli eylemlerin daha hızlı çağırılmasının bunun doğal bir sonucu olduğu belirtilmiştir. Ayrıca “-dı” görünüş kipi ekli eylemlerin, diğer görünüş kipi ekli eylemlere göre daha hızlı okunabileceği belirtilmiştir.

Verilerin DVM’ye uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar da dikkat çekicidir. Sağlıklı olarak nitelendirilen bazı deneklerin “-yor” görünüş kipi ekinde bipolar eğilim gösterdiklerinin ortaya çıkması bipolar ve kontrol gruplarında “-yor” görünüş

kipi eki ile kurulan kelimeleri okumada birbirlerine yakın olduklarını ve bu kelimelerin zihinsel sözlükten çağırılmasında çok büyük bir fark yaşamadıklarını düşündürmüştür. Çizelge 3.5'teki bipolar ve kontrol grupları arasındaki “-dı” ve

“-ecek” görünüş kipi eklerine ait $\left(\frac{t_e}{t_f}\right)$ değerleri arasındaki farkın fazla olması,

bipolar ve kontrol grupları arasında “-yor” görünüş kipi ekine ait $\left(\frac{t_e}{t_f}\right)$ değerleri

arasındaki farkın az olması da bu görüşü desteklemiştir.

Sonuç olarak hesaplanan parametrelerin DVM yöntemine uygulanmasıyla yapılan sınıflandırmanın, bipolar bozukluğa sahip kişilerle normal kişileri ayırmada kullanılmasının gerçekleştirildiği söylenebilir. Ayrıca bu kapsamda tez özgün bir çalışma olup, denek sayısı artırılarak ve yeni paradigmlar uygulanarak geliştirilmeye açık bir konudur. Daha farklı hasta gruplarına uygulanabilecek nitelikte olup, bu hastalıkların etiyojilerine ışık tutabilecek kapsamda bir çalışma örneğidir.

KAYNAKLAR

- [1] Senders J. "Visual Scanning Processes" Book By 1980
- [2] Özdağın F.B. "Göz izleme ve Pazarlamada Kullanılması Üzerine Kavramsal Bir Çalışma" Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi Yıl:2008 Sayı:2
- [3] Duchowski A.T. "Eye Tracking Methodology: Theory and Practice" ISBN 978-1-84628-608-7 British Library Cataloguing in Publication Data Springer-Verlag London Limited 2007
- [4] Robinson, D.A., "A Method of Measuring Eye Movement Using a Scleral Search Coil in a Magnetic Field," IEEE Transactions on Bio-medical Electronics, vol.10, issue.4, pg.137-145, 1963.
- [5] <http://www.chronos-vision.de/scleral-search-coils>
- [6] Zheng, X., Li, X., Liu, J., Chen, W., Hao, Y., "A Portable Wireless Eye Movement-controlled Human-Computer Interface for the Disabled," ICME International Conference on Complex Biomedical Engineering, Tempe, AZ, USA, 2009.
- [7] <http://www.metrovision.fr/EO01.jpg>
- [8] <http://www.metrovision.fr/EO02.jpg>
- [9] <http://www.yorku.ca/mack/hcii2007-f1.jpg>
- [10] <http://cfnewsads.thomasnet.com/images/large/464/464278.jpg>
- [11] http://www.ccad.uiowa.edu/opl/projects/cat_et/proj-catet.jpg
- [12] <http://cfnewsads.thomasnet.com/images/large/451/451115.jpg>
- [13] <http://www.springerimages.com>

- [14] <http://www.thomasrecording.com/en/cms/upload/document/et-50a.pdf>
- [15] <http://www.egr.vcu.edu/Page.aspx?id=109>
- [16] Daugman J.G., "How iris recognition works", IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. 14 (1) (2004) 21-30.
- [17] Wildes R., "Iris recognition: an emerging biometric technology", Proc. IEEE 85 (9) (1997) 1348-1363.
- [18] Akdeniz F., Alkan M. "Bipolar Bozukluk Hakkında Bilgilendirme Kitapçığı" Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Psikiyatri Anabilim Dalı Affektif Hastalıklar Birimi
- [19] "Bipolar Bozukluk Kitapçığı" Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi Psikiyatri Anabilim Dalı Bipolar Bozukluklar Polikliniği
- [20] Vapnik, V. N., The Nature of Statistical Learning Theory. Springer, 1995.
- [21] Kavazoğlu T. Çölkesen İ. "Destek Vektör Makineleri ile Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılmasında Kernel Fonksiyonlarının Etkilerinin İncelenmesi" Harita Dergisi Temmuz 2010 Sayı
- [22] Avşar E., Kamaşak M., Çaltepe Z. "Tek-Sınıf Destek Vektör Makineleri Kullanılarak EEG İşaretlerinin Sınıflandırılması" Biyomut 2009
- [23] Haddad R.A. and Akansu A.N. "A Class of Fast Gaussian Binomial Filters for Speech and Image Processing," IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, vol.39, pp 723-727, March 1991.
- [24] Shapiro L. G. & Stockman G. C: "Computer Vision", page 137,150. Prentence Hall, 2001

- [25] Nixon M. S. and Aguado A. S.. Feature Extraction and Image Processing. Academic Press, 2008, p. 88.
- [26] Bowyer K. W., Hollingsworth K., Flynn P. J. "Image understanding for iris biometrics: A survey" Computer Vision and Image Understanding 110 2008281-307
- [27] Daugman J. 'New Methods in Iris Recognition' IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics PartB: Cybernetics, Vol. 37, No. 5, October 2007
- [28] Parker, James R., "Algorithms for Image Processing and Computer Vision", John Wiley & Sons Inc. Publishers, Canada, 1997, p 23-27
- [29] Koçer H. E., Altun A. A., Yılmaz T., "İris Deseninin Bulanık C-Ortalaması Kullanılarak Sınıflandırılması"
- [30] Bilge H. Ş. ve Verim V. 'Ultrason Görüntülerinde Prostat Sınırının Bulunması' Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt22, No3,407-413, 2007
- [31] Kass M., Witkin A., and Terzopoulos D. 'Snakes:Active Contours Models' International Journal of Computer Vision, 321-331 (1988) 1987 Kluwer Academic Publishers, Boston
- [32] Kaya A. A., Yiğit Y. ve Amasyalı M. F. 'Otonom Bir Robotla Statik Ortamda Nesne Etiketleme' Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu BMYS 2010 Dicle Üniversitesi Kongre Merkezi
- [33] Şeker D. Z., Eker O. 'Aktif Kontur Modeller ve Düzey Kümesi Kullanarak Çizgisel Detayların Yarı Otomatik Olarak Çizilmesi' TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 2005, Ankara

- [34] Almalı M. N., Okut H. ‘İki Parametrelili Weibull Dağılımında Parametre Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılmasına İlişkin Bir Simülasyon Çalışması’ Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt/Vol.:10-Sayı/No:2:455-465 (2009)
- [35] Davison Gerald C., Neale John M. “Anormal Psikolojisi (Abnormal Psychology)” Türk Psikologlar Derneği Yayınları No:29 ISBN:975-6761-09-1 Sayfa No:237
- [36] Davison Gerald C., Neale John M. “Anormal Psikolojisi (Abnormal Psychology)” Türk Psikologlar Derneği Yayınları No:29 ISBN:975-6761-09-1 Sayfa No:248