

Otomatik Trafik İşareti Tanıma

Ahmet Gürbüz

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart 2010

Automatic Traffic Sign Recognition

Ahmet Gürbüz

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Electrical&Electronics Engineering

March 2010

Otomatik Trafik İşareti Tanıma

Ahmet Gürbüz

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Telekomünikasyon ve Sinyal İşleme Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Rıfat Edizkan

Mart 2010

## ONAY

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Ahmet Gürbüz'ün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Otomatik Trafik İşareti Tanıma” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd. Doç. Dr. Rifat Edizkan

**İkinci Danışman** : -

### **Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Rifat Edizkan

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Hakan Çevikalp

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Kemal Özkan

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Cüneyt Akınlar

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Erol Seke

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Görüntü işleme uygulamaları teknolojideki gelişmelere paralel olarak giderek yaygınlaşmaktadır. Trafik işareti tanıma sistemleri de sürücüyeye görsel olarak yardım sağlamak amacıyla geliştirilen önemli uygulamalardan biridir. Şimdi opsiyonel olarak seçilen bu sistemler, ileride otomobillerin standart donanımı olarak kullanıcılarına sunulacaktır. Bu sistemlerin daha yaygın olarak kullanılabilmesi için çalışmalar devam etmektedir.

Bu tez çalışmasında geliştirilen trafik işareti tanıma sisteminde; HSV renk uzayına dönüşüm, kırmızı renk bileşenlerini için eşikleme, resim iyileştirme, resim maskeleyme, Hough Circle Transform ve şablon eşleme yöntemleri kullanılmıştır. Tanıma sistemi kırmızı kenar çerçevesi; üçgen trafik işaretleri, daire trafik işaretleri, dur işareti ve yol ver işareti kullanılarak test edilmiştir. Tez çalışmasında kullanılmak üzere bir veri tabanı oluşturulmuştur ve sistemin başarımını diğer sistemlerle karşılaştırabilmek için GRAM veritabanı da kullanılmıştır. Geliştirilen sistemin başarımı tanıma ve sınıflandırma olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Trafik İşareti Tanıma, Trafik İşaretleri Sınıflandırma, Şablon Eşleme

## SUMMARY

Applications on image processing are growing with technology. Traffic sign recognition is one of the most important applications which is developed as a visual helper for drivers. Nowadays, these systems are optional but they are going to be standard equipments for automobiles in the future. Studies on these systems continue to make them more common.

Traffic sign recognition system developed in this thesis comprise HSV color space transformation, thresholding for red components, image enhancing, image masking, Hough Circle Transform and template matching. The system was tested for triangular signs, circular signs, stop sign and yield sign which have red frames. A new test database was made for the thesis and GRAM database was also used for comparing system success. Success of the developed system is recorded as detection and classification.

Keywords: Traffic Sign Recognition, Road Sign Recognition, Template Matching, Traffic Sign Classification

## TEŞEKKÜR

Gerek derslerimde ve gerekse tez alıőmalarında, bana danıőmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Rıfat Edizkan'a teşekkür ederim.

Tez çalıőmalarında beni sürekli destekleyen eőime, aileme ve arkadaőım Ufuk'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	v
SUMMARY .....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
TEKNİK TERİMLER DİZİNİ.....	xv
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Trafik İşaretleri Standartları .....	1
1.2 Trafik İşaretlerinin Ülkelere Göre Farklılıkları.....	3
2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	4
2.1 Görüntüyü Algılama.....	4
2.2 Trafik İşaretini Bulma .....	6
2.1.1 Renk Analizi.....	6
2.1.2 Şekil Analizi.....	9
2.3 Trafik İşaretini Sınıflandırma .....	18
3 GELİŞTİRİLEN UYGULAMA .....	25
3.1 Resim Dosyasının Okunması .....	25
3.2 RGB Renk Uzayından HSV Renk Uzayına Dönüşüm.....	26
3.3 İkili Eşikleme .....	29
3.4 Morfolojik İşlemlerin Uygulanması.....	31
3.4.1 Aşındırma İşlemi.....	32



## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.4.2 Yayma İşlemi .....	32
3.5 Konturların Bulunması .....	33
3.6 Hough Circle Transform .....	34
3.7 Şablon Eşleme .....	36
3.7.1 Trafik İşareti Çerçeve Şekline Göre Şablon Eşleme .....	37
3.7.2 Eğitim Seti ile Şablon Eşleme .....	39
4 SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	42
4.1 Test Setleri .....	42
4.2 Test Aşaması ve Sonuçlar .....	44
4.3 Değerlendirme .....	56
4.3.1 Eğitim Setinde Olmayan veya Farklı Formatta İşaretler .....	56
4.3.2 Morfolojik İşlemler Sonucu Elenen İşaretler .....	59
4.3.3 Birleşmiş İşaretler .....	61
5 ÖNERİLER .....	62
5.1 Uygulamanın Eksik Yönleri .....	62
5.2 Uygulamaya Eklenebilecek Özellikler .....	63
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	64
EK AÇIKLAMALAR-A	
EK AÇIKLAMALAR-B	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1	Tehlike uyarı işaretlerine örnek [8]: a) Sağa tehlikeli viraj,.....	2
Şekil 1.2	Trafik tanzim işaretlerine örnek [8]: a) Yol ver,.....	2
Şekil 1.3	Duraklama ve parketme işaretlerine örnek [8]: a) Parketmek yasaktır,.....	2
Şekil 1.4	Otoyol işaretlerine örnek [8]: a) Otoyol başlangıcı, .....	3
Şekil 1.5	Ülkelere göre bazı trafik işaretlerindeki farklılıklar. ....	3
Şekil 2.1	Geniş açılı kamera ve uzak açılı kamera sistem görünümü [2]. ....	5
Şekil 2.2	Opel Insignia trafik işareti tanıma sistemi [3].....	6
Şekil 2.3	Renk sınıflandırma tabloları [9].....	8
Şekil 2.4	Aranılan şablonlar [5]: a) çember, b) daire, c) üçgen, .....	9
Şekil 2.5	Köşe modeli [6].....	10
Şekil 2.6	Optimal 60 derece maske [6]. ....	11
Şekil 2.7	Üçgen için üst orta köşe maskesi [4]. ....	11
Şekil 2.8	Üçgen için alt sol köşe maskesi [4]. ....	12
Şekil 2.9	Daire ve dikdörtgen için alt sol köşe maskesi [4].....	12
Şekil 2.10	Alt maskeler [4]. ....	12
Şekil 2.11	Daire işareti köşe maskeleri [4]. ....	13
Şekil 2.12	Yol ver işareti köşe maskeleri [4]. ....	13
Şekil 2.13	Dur işareti köşe maskeleri [4]. ....	13
Şekil 2.14	İncelenecek alanın seçilmesi [10]: a) orijinal resim, b) canny kenar bulma	14
Şekil 2.15	Resmin bölümlenmesi [10]: a) “1” bölgeleri, b) kümenin konturu. ....	15
Şekil 2.16	Üçgen yol işaretlerinin bulunması [10]: a) orijinal resim, b) aranan işaret	16
Şekil 2.17	Daire yol işaretlerinin bulunması [10]: a) orijinal resim, b) resim içerisinden .....	17
Şekil 2.18	Dikdörtgen şeklindeki trafik işaretleri için 4 kenarın bulunması [2].....	18
Şekil 2.19	Yapay sinir ağı eğitim seti [5].....	19
Şekil 2.20	Veri tabanında yer alan hız işaretleri [2].....	20
Şekil 2.21	Hız işaretlerini tanıma [2]: a) aday işaretler, b) tanıma sonucu. ....	20

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

### Sayfa

Şekil 2.22	Uzaklık dönüşümü [11]: a) orijinal resim, b) kenar haritası,.....	20
Şekil 2.23	Daire trafik işaretlerinin sınıf ağacı [12].....	22
Şekil 2.24	CDT resimleri [13]: a) orijinal resim, b) siyah CDT, .....	24
Şekil 2.25	Üçgen resimler ve farklılık bölgeleri [13]. .....	24
Şekil 3.1	Uygulamada kullanılan örnek resim. ....	26
Şekil 3.2	HSV renk modeli [7]: a) HSV modelinde belirli bir Hue değeri için.....	27
Şekil 3.3	HSV renk modeli [7]: a) HSV renk çemberi, b) HSV kanonik. ....	27
Şekil 3.4	Örnek resmin HSV renk uzayında görüntüsü. ....	27
Şekil 3.5	Örnek resmin Hue kanalının görüntüsü. ....	28
Şekil 3.6	Örnek resmin Saturation kanalının görüntüsü. ....	28
Şekil 3.7	Örnek resmin Value kanalının görüntüsü. ....	28
Şekil 3.8	Hue kanalının 0-20 aralığında filtrelenmiş görüntüsü. ....	29
Şekil 3.9	Hue kanalının 340-360 aralığında filtrelenmiş görüntüsü. ....	29
Şekil 3.10	Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 deki resimlerin toplamı. ....	30
Şekil 3.11	Saturation kanalının 0.4–1.0 aralığında filtrelenmiş görüntüsü.....	30
Şekil 3.12	Value kanalının 0.3–1.0 aralığında filtrelenmiş görüntüsü.....	30
Şekil 3.13	Şekil 3.10 - 12 deki resimlerin çarpımı.....	31
Şekil 3.14	Erozyon işleminin 3x3 dikdörtgen filtre ile .....	32
Şekil 3.15	Dilatasyon işleminin 3x3 dikdörtgen filtre ile .....	33
Şekil 3.16	Resim üzerine kontur çizilmesi.....	34
Şekil 3.17	CHT uygulanmış örnek resim. ....	34
Şekil 3.18	Konturları bulunmuş örnek resim. ....	35
Şekil 3.19	CHT ile hatalı bulunan konturlar .....	35
Şekil 3.20	Seçilen dikdörtgenler: a) Sollama yapılmaz işareti, b) Kasis işareti. ....	36
Şekil 3.21	Şekil 3.18’de gösterilen resmin kırmızı bileşenleri. ....	36
Şekil 3.22	Seçilen dikdörtgenler: a) Daire işareti, b) Üçgen işareti.....	37
Şekil 3.23	Binary çerçeve maskeleri: a) daire işaretler, b) yol ver işareti, .....	37
Şekil 3.24	Binary üçgen çerçeve maskeleri: a) orijinal, b) aşağı 8 piksel, .....	38
Şekil 3.25	a) 12 derece sağa dönmüş üçgen işaret, b) Kırmızı bileşenleri,.....	39

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

### Sayfa

Şekil 3.26	a) aday üçgen resim, b) normalize yapılmış, c) maskelenmiş, .....	40
Şekil 3.27	a) üçgen eğitim setinden kasis işareti, b) maskelenmiş hali, .....	41
Şekil 4.1	“Yüksekliği ... Metreden Fazla Olan Taşıtlı Giremez” işareti test setinden .....	56
Şekil 4.2	“Azami Hız Sınırlaması” işareti test setinden örnekler. ....	57
Şekil 4.3	“Yaya Geçidi” işareti eğitim seti ve test setinden örnekler. ....	57
Şekil 4.4	Işıklı İşaret Cihazı” işareti eğitim seti ve test setinden örnekler.....	58
Şekil 4.5	“Öndeki Taşıtlı Geçmek Yasaktır” işareti eğitim seti ve test setinden örnekler. .....	58
Şekil 4.6	“Azami Hız Sınırlaması 30” işareti eğitim seti ve test setinden örnekler.....	59
Şekil 4.7	“Azami Hız Sınırlaması 30” işareti eğitim seti ve test setinden örnekler.....	59
Şekil 4.8	Test Setinden örnek resim; morfolojik işlemde önce ve sonra .....	60
Şekil 4.9	Test Setinden örnek resim; morfolojik işlemde önce ve sonra .....	60
Şekil 4.10	Test Setinden örnek birleşmiş resim ve tek parça konturu. ....	61
Şekil 4.11	Test Setinden örnek birleşmiş resim ve tek parça konturu. ....	61
Şekil B.1	Üçgen trafik işaretleri.....	68
Şekil B.2	Daire trafik işaretleri. ....	68
Şekil B.3	Yol ver ve Dur trafik işaretleri. ....	68

**TABLULAR DİZİNİ**

	<b><u>Sayfa</u></b>
Tablo 4.1 Detaylı Tanıma ve Sınıflandırma Tablosu (Set-1).....	46
Tablo 4.2 Tanıma Tablosu (Set-1) .....	47
Tablo 4.3 Sınıflandırma Tablosu (Set-1) .....	48
Tablo 4.4 Detaylı Tanıma ve Sınıflandırma Tablosu (Set-2).....	50
Tablo 4.5 Tanıma Tablosu (Set-2) .....	51
Tablo 4.6 Sınıflandırma Tablosu (Set-2) .....	52
Tablo 4.7 Tanıma Oranlarının Diğer Çalışmalar ile Karşılaştırılması .....	54
Tablo 4.8 Sınıflandırma Oranlarının Diğer Çalışma ile Karşılaştırılması .....	55

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

LDW	Lane Departure Warning
TSR	Traffic Sign Recognition
RGB	Red Green Blue
YUV	Luma Blue–Luminance Red–Luminance
DT	Distance Transform
CDT	Color Distance Transform
OpenCV	Open Source Computer Vision Library
HSV	Hue Saturation Value
HSI	Hue Saturation Intensity
HSB	Hue Saturation Brightness
HSL	Hue Saturation Lightness
CHT	Circular Hough Transform
GRAM	Multisensorial Analysis and Recognition Group

**TEKNİK TERİMLER DİZİNİ**

Şablon Eşleme	Template Matching
Eşikleme	Thresholding
Eşikleme Değeri	Threshold
İkili Eşikleme	Binary Thresholding
Uzaklık Dönüşümü	Distance Transform
Örüntü Tanıma	Pattern Recognition
Tanıma	Detection
Sınıflandırma	Classification
Gri Ölçeği	Grayscale
Yayma İşlemi	Dilation
Aşındırma İşlemi	Erosion
Açma İşlemi	Opening
Kapama İşlemi	Closing
Canny Kenar Bulma	Canny Edge Detector
Yapay Sinir Ağları	Artificial Neural Network

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Otomotiv sektöründeki teknolojik gelişmelere paralel olarak araç sayısının artması, kullanılan yolların sayısının ve karışıklığının artmasına ve dolayısı ile sürücülere kolaylık sağlamak amaçlı bir çok trafik işaretinin kullanımına neden olmuştur. Çok sayıda ve çeşitte trafik işaretinin sürücü tarafından bir anda algılanmaya çalışılması sürüş emniyetini azalttığı için trafik işaretlerini otomatik olarak tanıyan sistemlerin geliştirilmesi araştırmacılar ve müşteriler için son yıllarda büyük önem kazanmıştır.

Görsel teknolojinin ve uygulamalarının gelişmesi ile birlikte bir çok otomotiv firması üst model araçlarına güvenliği artırıcı görsel sistemler eklemeye başlamıştır ve bunların en yaygını yol çizgilerini takip eden ve araç şeritinden kaymaya başladığında sürücüyü sesli ve görsel uyarın sistemlerdir (LDW). BMW, Mercedes ve Opel otomobil firmaları ise bu sistemlere ek olarak trafik işaretlerini tanıyan görsel sistemleri (TSR) ürettikleri araçlar üzerinde deneyen ilk firmalardır. BMW-7 serisi, Mercedes-E serisi ve Opel Insignia modellerinde trafik işareti tanıyan sistemler müşterilere opsiyonel olarak sunulmaktadır [1].

Şu anda kullanılan bu sistemlerin temel görevi yol üzerinde hız limitlerini gösteren trafik levhalarını tanıyarak, otomobilin hızı limit üzerinde ise veya hız limiti değişmiş ise sürücüyü uyarmaktır. Bazı sistemlerde bu özelliğe ek olarak sollama yapılmaz işareti de sürücülere uyarı olarak verilmektedir.

#### 1.1 Trafik İşaretleri Standartları

Türkiye'nin de katıldığı 1949 yılında düzenlenen konferansta Trafik İşaretleri ve Sinyalleri Geneva Protokolü (Geneva Protocol on Road Signs and Signals) ile yol güvenliğini artırmak ve uluslar arası trafiği kolaylaştırmak için trafik işaretleri standartları belirlenmiştir. Daha sonra 1968 yılında Viyena'da yapılan ve 1978 yılında

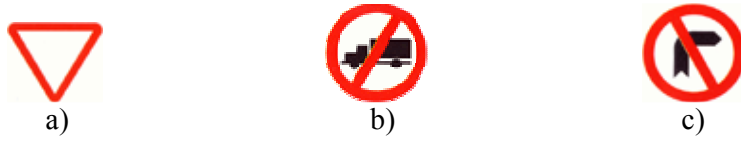


kullanımı zorunlu kılınan, Trafik İşaretleri ve Sinyalleri konferansı (Vienna Convention on Road Signs and Signals) yeni bir standart oluşturulmuştur.

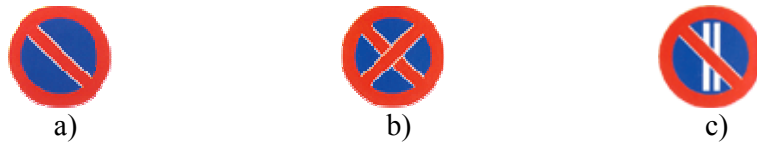
“Trafik İşaretleri Hakkında Yönetmelik” 1985 yılında Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından 18789 sayılı resmi gazete ile yayımlanmıştır. Trafik işaret levhaları genel nitelikleri dört gruba ayrılmıştır; Tehlike Uyarı İşaretleri, Trafik Tanzim İşaretleri, Duraklama ve Parketme İşaretleri ve Otoyol İşaretleri.



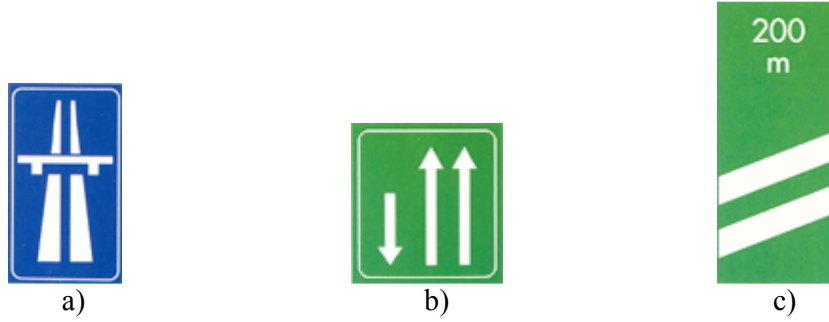
Şekil 1.1 Tehlike uyarı işaretlerine örnek [8]: a) Sağa tehlikeli viraj, b) Yaya geçidi, c) Soldan ana yola giriş.



Şekil 1.2 Trafik tanzim işaretlerine örnek [8]: a) Yol ver, b) Kamyon giremez, c) Sağa dönülmez.



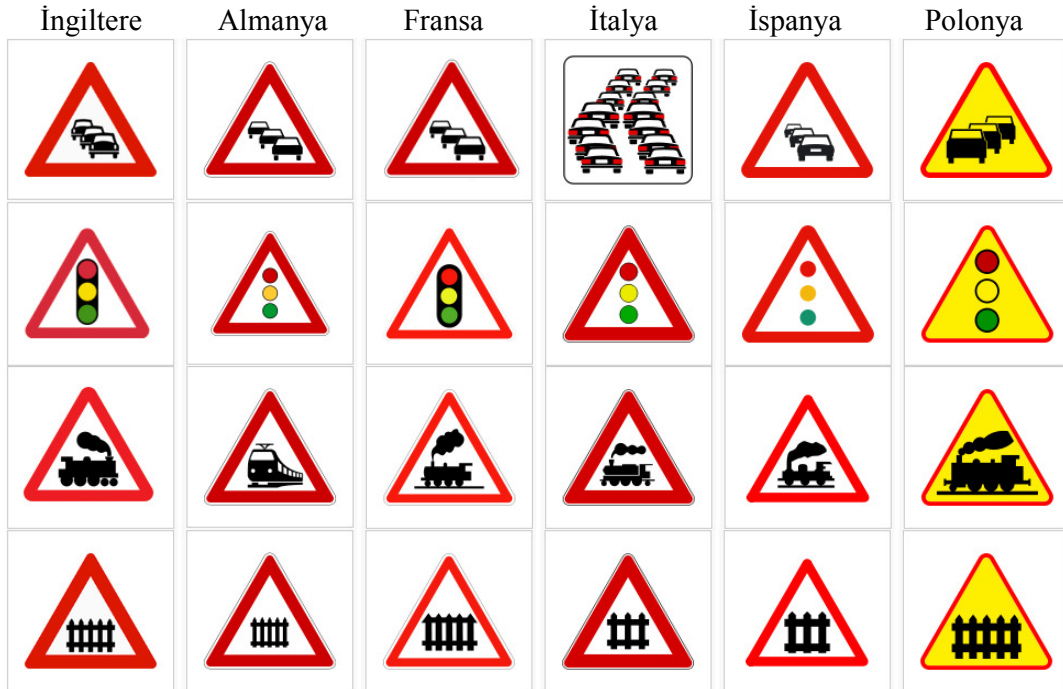
Şekil 1.3 Duraklama ve parketme işaretlerine örnek [8]: a) Parketmek yasaktır, b) Duraklamak ve parketmek yasaktır, c) Haftanın çift günlerinde parketmek yasaktır.



Şekil 1.4 Otoyol işaretlerine örnek [8]: a) Otoyol başlangıcı, b) Otoyol şerit düzenleme levhası, c) Otoyol çıkış levhası.

## 1.2 Trafik İşaretlerinin Ülkelere Göre Farklılıkları

Birçok Avrupa ülkesi Viyena Trafik İşaretleri ve Sinyalleri Konferansı'nda yayımlanan dokümana uymasına rağmen, Şekil 2.15'te görüldüğü gibi bazı trafik işaretleri ülkelere göre farklılıklar göstermektedir.



Şekil 1.5 Ülkelere göre bazı trafik işaretlerindeki farklılıklar.

## BÖLÜM 2

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

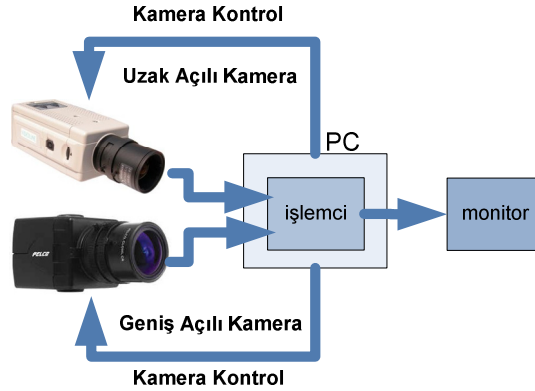
Trafik işaretlerini tanıma üzerine ilk makale 1984 yılında Japonya'da yayımlanmıştır. O günden bu yana konu ile ilgili birçok araştırma grubu ve büyük otomotiv firmaları çalışmalar yapmaya başlamıştır. Daimler-Chrysler firması ve desteklediği araştırma grupları bu konuda en fazla çalışmayı yaparak geniş bir veri tabanına sahip olmuşlardır.

Trafik işaretleri için görüntü tanıma yaklaşımlarını görüntüyü algılama, trafik işaretini bulma ve trafik işaretini sınıflandırma olarak 3 aşamada inceleyebiliriz.

#### 2.1 Görüntüyü Algılama

Trafik işaretlerini tanıma sistemleri araç üzerine veya araç içine yerleştirilen video kameralardan elde edilen gerçek zamanlı görüntüleri kullanmaktadır. Elde edilen görüntüler, trafik işaretini tanıma uygulamasının üzerinde çalıştığı işlemciler tarafından işlenir. Bu yüzden kullanılan işlemci sayısı ve hızı, video kamera sayısı, özellikleri ve araç üzerindeki yerleşimleri büyük önem taşımaktadır. Şu an geliştirilmiş sistemlerin çoğunda kamera ön camın alt kısmına veya ön cam ile dikiz aynası arasına yerleştirilmektedir. Kullanılan kameralar, geniş açılı kaliteli bir lense sahip, saniyede yakaladığı görüntü sayısı yüksek olan, araç farlarından etkilenmeyen ve gece sürüş koşullarında da çalışabilecek özellikte tercih edilmektedir. Görüntüyü işlemek için çoğunlukla tek bir işlemci tercih edilmektedir.

Yapılan çalışmada geniş açılı lense sahip bir kamera (wide-camera) ve uzak açılı lense sahip diğer bir kamera (tele-camera) olmak üzere iki adet kamera kullanılmaktadır [2]. Geniş açılı lense sahip kamera aracın gidiş yönüne odaklanırken, uzak açılı lense sahip kamera görüş yönü tespit edilen hedef trafik işaretine odaklanıyor ve zum yapıyor. Belirtilen kamera sistemi ve çalışma prensibi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Geniş açılı kamera ve uzak açılı kamera sistem görünümü [2].

Diğer bir çalışmada Opel firmasının yeni geliştirdiği Opel Eye teknolojisi incelenmiştir [3]. Bu sistemde ön cam ile dikiz aynası arasına yerleştirilmiş, geniş açılı lensi olan, yüksek çözünürlüğe sahip, saniyede 30 kare görüntü yakalayabilen ve boyutları cep telefonu kadar olan bir kamera kullanılmıştır. Elde edilen görüntü, sistemde bulunan iki adet işlemciye aktarılmaktadır. İşlemcilerden birinin üzerinde yol çizgilerini takip eden ve araç şeritinden kaymaya başladığında sürücüyü sesli ve görsel uyarı veren LDW uygulaması çalışmaktadır. Diğer işlemci üzerinde ise 100 metre mesafe içinde, hız limitlerini gösteren trafik levhalarını tanıyan, otomobilin hızı limit üzerinde ise veya hız limiti değişmiş ise sürücüyü haberdar eden ve ayrıca sollama yapılmaz işaretini de tanıyarak sürücüyü uyarı veren TSR uygulaması çalışmaktadır. İki işaret aynı anda tanınır ise öncelikli olarak sollama yapılmaz işareti sürücüyü uyarı olarak gösterilmektedir. Tanınan hız limitinin araç içerisinde sürücüyü gösterildiği ekranlar ve kameranın görüş açısı Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Opel Insignia trafik işareti tanıma sistemi [3].

## 2.2 Trafik İşaretini Bulma

Trafik işaretlerinin karakteristik özellikleri renkleri ve şekilleridir. Bu aşamada elde edilen görüntü karesi, bir dizi ön işlemden geçirilir, resim üzerinde iyileştirmeler yapılır ve hedef bölge bulunmaya çalışılır. Bu işlemlerde işarete ait renk özellikleri, şekil özellikleri veya her ikisi birden kullanılabilir.

### 2.1.1 Renk Analizi

Yapılan çalışmalarda RGB renk uzayı kullanılmıştır [4, 5, 6]. RGB renk uzayında her piksel kırmızı, yeşil ve mavi bileşenlerden oluşur. Buna bağlı olarak renk eşiklemesi şu şekilde gösterilmektedir [4]:

$$g(x, y) = k_1 \begin{cases} R_\alpha \leq f_r(x, y) \leq R_b \\ G_\alpha \leq f_g(x, y) \leq G_b \\ B_\alpha \leq f_b(x, y) \leq B_b \end{cases}$$

$$g(x, y) = k_2 \quad \text{diğer durumlarda} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1 içerisinde  $f_r(x, y)$ ,  $f_g(x, y)$  ve  $f_b(x, y)$  sırasıyla resmin her noktasında kırmızı, yeşil ve mavi bileşenleri ifade eder.  $R_\alpha$  ve  $R_b$  trafik işaretleri içerisinde kırmızı olarak değerlendirilecek bölgeleri oluşturan piksellerin değer aralığını göstermektedir.

RGB renk uzayında renk eşikleme yapmanın en büyük dezavantajı ışık değişimlerine karşı fazla duyarlı olmasıdır. Bu yüzden kırmızı bileşen referans alınarak denklem 2.1 aşağıdaki gibi değiştirilmiştir [4]:

$$g(x, y) = k_1 \begin{cases} R_\alpha \leq f_r(x, y) \leq R_b \\ TG_\alpha \leq \frac{f_g(x, y)}{f_r(x, y)} \leq TG_b \\ TB_\alpha \leq \frac{f_b(x, y)}{f_r(x, y)} \leq TB_b \end{cases}$$

$$g(x, y) = k_2 \quad \text{diğer durumlarda} \quad (2.2)$$

Renk uzayları arası geçiş, dönüşüm denklemleri ile gerçekleştirilir. Diğer çalışmalarda RGB renk uzayından YUV renk uzayına dönüşüm yapılarak testler yapılmıştır [2, 5]. Y renk kanalı tamamen parlaklığa bağlı olduğu için sadece UV renk kanalları incelenmiştir ve dönüşüm yapılırken aşağıdaki lineer denklem kullanılmıştır [5]:

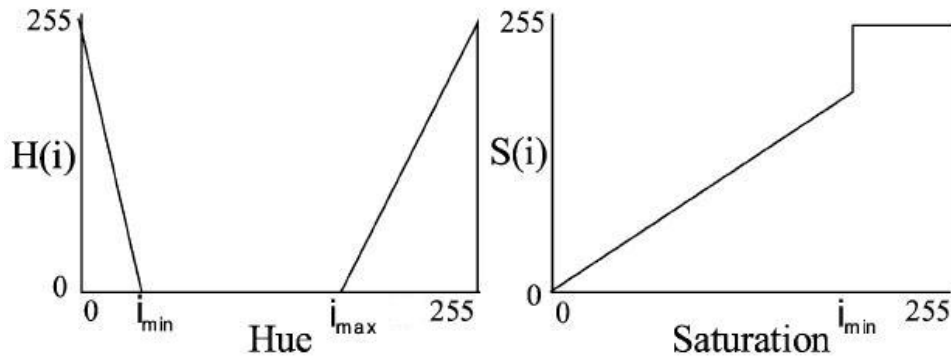
$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & 0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

RGB ve YUV gibi renk uzaylarında çalışılmasının temel sebebi, HSI, HSV gibi renk uzaylarının formül ve dönüşüm denklemlerinin lineer olmaması ve buna bağlı

olarak hesaplama işlemlerinin fazla yük getirmesidir. Daha önce yapılan çalışmalarda HSI renk uzayına dönüşüm yapıldıktan sonra renk eşiklemesi yapılmıştır [9, 10].

Diğer bir çalışmada ışık etkisini ortadan kaldırmak için sadece Hue ve Saturation kanalları ele alınmıştır ve 2 adet tablo oluşturulmuştur. Genel amaç herhangi bir renk kanalında hatalı değer var ise diğer renk kanalı ile desteklenmesidir [9].

Hue renk kanalının piksel değerleri 0-255 arasında değişen bir resim için; 0 kırmızı, 85 yeşil, 170 mavi, 255 kırmızıdır. Aşağıdaki şekilde, oluşturulan 2 adet tablo gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Renk sınıflandırma tabloları [9].

Hue kanalı için oluşturulan tablonun formülü denklem 2.4'te anlatılmıştır ve  $i$  eski Hue değerini ve  $H(i)$  yeni Hue değerini göstermektedir [9]:

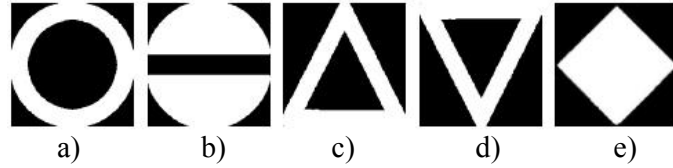
$$H(i) = \begin{cases} 255 \frac{i_{min} - i}{i_{min}} & 0 \leq i \leq i_{min} \\ 0 & i_{min} \leq i \leq i_{max} \\ 255 \frac{i - i_{max}}{i_{max}} & i_{max} \leq i \leq 255 \end{cases} \quad (2.4)$$

Saturation kanalı için oluşturulan tablonun formülü denklem 2.5'te anlatılmıştır ve  $i$  eski Saturation değerini ve  $S(i)$  yeni Saturation değerini göstermektedir [9]:

$$S(i) = \begin{cases} i & 0 \leq i \leq i_{min} \\ 255 & i_{min} \leq i \leq 255 \end{cases} \quad (2.5)$$

### 2.1.2 Şekil Analizi

Başka bir araştırmada renk analizinden sonra dikdörtgen içerisinde işaretlenen ilgili kırmızı veya sarı renk bileşenleri için aşağıdaki şekilde gösterilen şablonlar ile eşleme yapılmıştır [5].

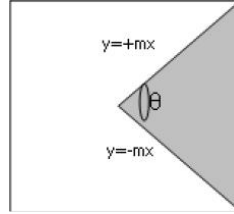


Şekil 2.4 Aranılan şablonlar [5]: a) çember, b) daire, c) üçgen, d) ters üçgen e) eşkenar dörtgen.

Eşkenar dörtgen şablon şekli hariç bütün şablonlar kırmızı renk bileşenleri için kullanılmıştır. Eşkenar dörtgen şablon şekli ise sadece sarı renk bileşenleri için kullanılmıştır. Renk analizinden sonra bulunan bütün aday dikdörtgenler 50x50 piksel boyutuna getirilmiştir. Eşleme fonksiyonu aday dikdörtgen içerisinde ve orjinal resim içerisinde aynı noktalara karşılık gelen pozitif pikseller ve aday dikdörtgen içerisindeki beyaz piksel oranını hesaplar. Bu oranı şablon şekillerindeki oranlarla karşılaştırır ve en iyi orana göre aday dikdörtgenin hangi şekil olduğu seçilir [5].



Optimal köşe tanıma algoritması da sıklıkla kullanılmaktadır [4, 6]. Optimal köşe tanıma algoritmasının amacı orijinal resim ile konvolüsyon yapıldığında köşe noktasında maksimum gri değer veren bir fonksiyon yani maske oluşturmaktır.



Şekil 2.5 Köşe modeli [6].

Şekil 2.5'te  $m$  çevreleyen üst kenarın eğimini,  $-m$  çevreleyen alt kenar eğimini göstermektedir. Buna göre köşe noktasında gri seviyeleri denklem 2.6'da verilen fonksiyon tanımlar [6]:

$$I(x,y) = \begin{cases} A & \text{if } x > 0 \text{ and } -mx \leq y \leq mx \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.6)$$

Denklem 2.7'de Gaussian gürültü  $n(x, y)$  resime eklenmiştir [6].

$$F(x,y) = I(x, y) + n(x, y) \quad (2.7)$$

Eğer köşe fonksiyonunu  $g(x, y)$  olarak adlandırsak, sonuç resmi  $F(x, y)$  nin  $g(x, y)$  ile konvolüsyonu olacaktır [6]:

$$O(x,y) = F(x, y) + g(x, y) \quad (2.8)$$

$$g(x,y) = \begin{cases} c_1 \sin \frac{m\pi x}{W} [-(e^{zW} + e^{-zW}) + (e^{zy} + e^{-zy})] \\ c_2 \sin \frac{n_1\pi x}{W} \sin \frac{n_2\pi y}{W} \end{cases} \quad (2.9)$$

Denklem 2.9’da,  $W$  maske boyutunun yarısı ve  $c_1, c_2, m, n_1, n_2$  ve  $z$  ise sabitlerdir. Boyutu  $9 \times 9$  olan optimal maskenin  $\theta=60^\circ, m=-1, n_1=1, n_2=-1, z=0.2$  değerleri için oluşturulmuş hali Şekil 2.6’da gösterilmiştir.

-3	-5	-5	-3	0	-3	-5	-5	-3
-5	-9	-9	-5	0	-5	-9	-9	-5
-5	-9	-9	-5	0	-5	-9	8	5
-3	-5	-5	-3	0	6	9	9	6
0	0	0	0	0	6	10	10	6
-3	-5	-5	-3	0	6	9	9	6
-5	-9	-9	-5	0	-5	-9	8	5
-5	-9	-9	-5	0	-5	-9	-9	-5
-3	-5	-5	-3	0	-3	-5	-5	-3

Şekil 2.6 Optimal 60 derece maske [6].

Üçgen trafik şekillerinin bildiğimiz gibi  $60^\circ$  lik açıda üç tane köşesi vardır. Aşağıda Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de sırasıyla üst orta köşe ve alt sol köşe maskeleri gösterilmektedir.

-6	-11	-11	-6	0	-6	-11	-11	-6
-11	-18	-18	-11	0	-11	-18	-18	-11
-11	-18	-18	-11	0	-11	-18	-18	-11
-6	-11	-11	-6	0	-6	-11	-11	-6
-6	-11	-11	12	12	12	-11	-11	-6
-11	-18	-18	19	20	19	-18	-18	-11
-11	-18	17	19	20	19	17	-18	-11
-6	-11	10	12	12	12	10	-11	-6
0	12	20	20	12	20	20	12	0

Şekil 2.7 Üçgen için üst orta köşe maskesi [4].

-6	-11	-11	-6	0	-6	7	7	4
-11	-18	-18	-11	0	-11	13	13	8
-11	-18	-18	-11	0	10	17	17	10
-6	-11	-11	-6	0	12	19	19	12
0	0	0	0	0	12	20	20	12
-6	-11	-11	-6	0	-6	-11	-11	-6
-11	-18	-18	-11	0	-11	-18	-18	-11
-11	-18	-18	-11	0	-11	-18	-18	-11
-6	-11	-11	-6	0	-6	-11	-11	-6

Şekil 2.8 Üçgen için alt sol köşe maskesi [4].

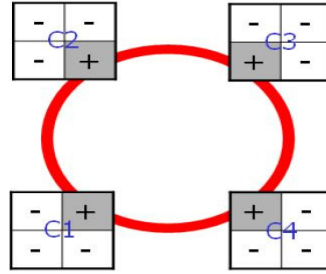
-6	-11	-11	-6	0	4	7	7	4
-11	-18	-18	-11	0	8	13	13	8
-11	-18	-18	-11	0	10	17	17	10
-6	-11	-11	-6	0	12	19	19	12
0	0	0	0	0	12	20	20	12
-6	-11	-11	-6	0	-6	-11	-11	-6
-11	-18	-18	-11	0	-11	-18	-18	-11
-11	-18	-18	-11	0	-11	-18	-18	-11
-6	-11	-11	-6	0	-6	-11	-11	-6

Şekil 2.9 Daire ve dikdörtgen için alt sol köşe maskesi [4].

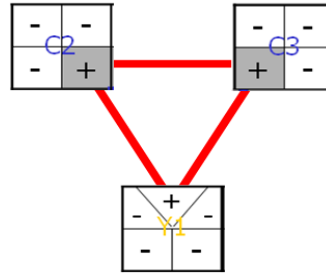
Hesaplama yükünü azaltmak için boyutu 9x9 olan maskeler aşağıdaki şekilde gösterilen alt maskelere bölünmüştür. Örneğin, Şekil 2.9'da gösterilen maske Sbm1, Sbm3 ve Sbm4'ten oluşturulabilir [4].

Sbm1	Sbm2	Sbm3																																																																											
<table border="1"> <tr><td>4</td><td>7</td><td>7</td><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>13</td><td>13</td><td>8</td><td>0</td></tr> <tr><td>10</td><td>17</td><td>17</td><td>10</td><td>0</td></tr> <tr><td>12</td><td>19</td><td>19</td><td>12</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	4	7	7	4	0	8	13	13	8	0	10	17	17	10	0	12	19	19	12	0	0	0	0	0	0	<table border="1"> <tr><td>12</td><td>19</td><td>19</td><td>12</td><td>0</td></tr> <tr><td>10</td><td>17</td><td>17</td><td>10</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>13</td><td>13</td><td>8</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>7</td><td>7</td><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	12	19	19	12	0	10	17	17	10	0	8	13	13	8	0	4	7	7	4	0	0	0	0	0	0	<table border="1"> <tr><td>-6</td><td>-11</td><td>-11</td><td>-6</td><td>0</td></tr> <tr><td>-11</td><td>-18</td><td>-18</td><td>-11</td><td>0</td></tr> <tr><td>-11</td><td>-18</td><td>-18</td><td>-11</td><td>0</td></tr> <tr><td>-6</td><td>-11</td><td>-11</td><td>-6</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	-6	-11	-11	-6	0	-11	-18	-18	-11	0	-11	-18	-18	-11	0	-6	-11	-11	-6	0	0	0	0	0	0
4	7	7	4	0																																																																									
8	13	13	8	0																																																																									
10	17	17	10	0																																																																									
12	19	19	12	0																																																																									
0	0	0	0	0																																																																									
12	19	19	12	0																																																																									
10	17	17	10	0																																																																									
8	13	13	8	0																																																																									
4	7	7	4	0																																																																									
0	0	0	0	0																																																																									
-6	-11	-11	-6	0																																																																									
-11	-18	-18	-11	0																																																																									
-11	-18	-18	-11	0																																																																									
-6	-11	-11	-6	0																																																																									
0	0	0	0	0																																																																									
Sbm4	Sbm5	Sbm6																																																																											
<table border="1"> <tr><td>12</td><td>20</td><td>20</td><td>12</td><td>0</td></tr> </table>	12	20	20	12	0	<table border="1"> <tr><td>-6</td><td>-11</td><td>-11</td><td>12</td><td>12</td></tr> <tr><td>-11</td><td>-18</td><td>-18</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>-11</td><td>-18</td><td>17</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>-6</td><td>-11</td><td>10</td><td>12</td><td>12</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	-6	-11	-11	12	12	-11	-18	-18	19	20	-11	-18	17	19	20	-6	-11	10	12	12	0	0	0	0	0	<table border="1"> <tr><td>12</td><td>-11</td><td>-11</td><td>-6</td><td>0</td></tr> <tr><td>19</td><td>-18</td><td>-18</td><td>-11</td><td>0</td></tr> <tr><td>19</td><td>17</td><td>-18</td><td>-11</td><td>0</td></tr> <tr><td>12</td><td>10</td><td>-11</td><td>-6</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	12	-11	-11	-6	0	19	-18	-18	-11	0	19	17	-18	-11	0	12	10	-11	-6	0	0	0	0	0	0																				
12	20	20	12	0																																																																									
-6	-11	-11	12	12																																																																									
-11	-18	-18	19	20																																																																									
-11	-18	17	19	20																																																																									
-6	-11	10	12	12																																																																									
0	0	0	0	0																																																																									
12	-11	-11	-6	0																																																																									
19	-18	-18	-11	0																																																																									
19	17	-18	-11	0																																																																									
12	10	-11	-6	0																																																																									
0	0	0	0	0																																																																									
Sbm7	Sbm8																																																																												
<table border="1"> <tr><td>-6</td><td>-11</td><td>10</td><td>12</td><td>12</td></tr> <tr><td>-11</td><td>-18</td><td>17</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>-11</td><td>-11</td><td>-18</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>-6</td><td>-11</td><td>-11</td><td>12</td><td>12</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	-6	-11	10	12	12	-11	-18	17	19	20	-11	-11	-18	19	20	-6	-11	-11	12	12	0	0	0	0	0	<table border="1"> <tr><td>12</td><td>10</td><td>-11</td><td>-6</td><td>0</td></tr> <tr><td>19</td><td>17</td><td>-18</td><td>-11</td><td>0</td></tr> <tr><td>19</td><td>-18</td><td>-18</td><td>-11</td><td>0</td></tr> <tr><td>12</td><td>-11</td><td>-11</td><td>-6</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	12	10	-11	-6	0	19	17	-18	-11	0	19	-18	-18	-11	0	12	-11	-11	-6	0	0	0	0	0	0																										
-6	-11	10	12	12																																																																									
-11	-18	17	19	20																																																																									
-11	-11	-18	19	20																																																																									
-6	-11	-11	12	12																																																																									
0	0	0	0	0																																																																									
12	10	-11	-6	0																																																																									
19	17	-18	-11	0																																																																									
19	-18	-18	-11	0																																																																									
12	-11	-11	-6	0																																																																									
0	0	0	0	0																																																																									

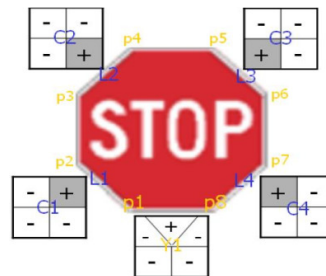
Şekil 2.10 Alt maskeler [4].



Şekil 2.11 Daire işareti köşe maskeleri [4].

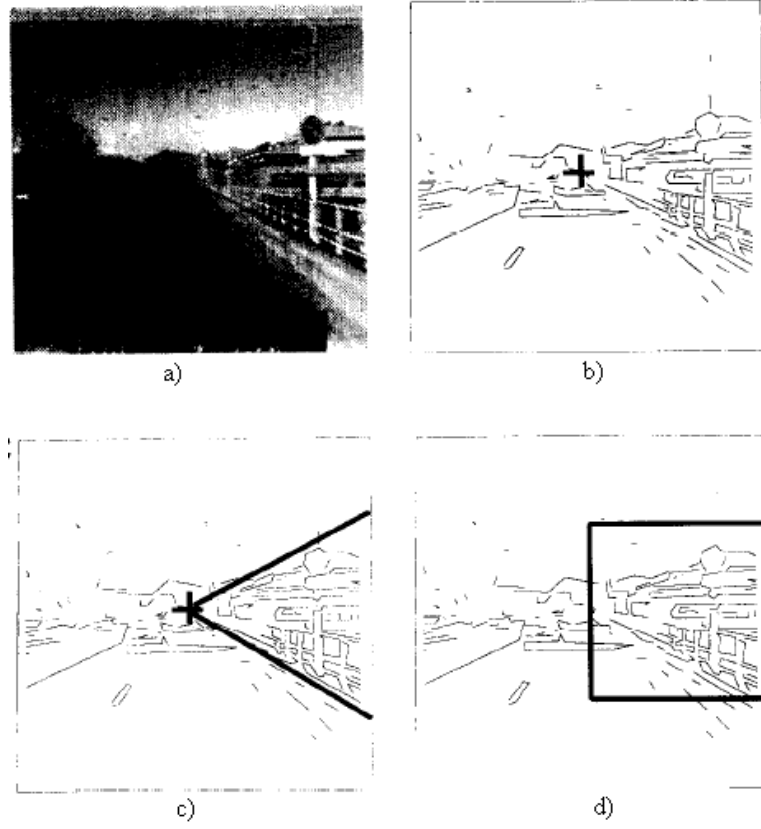


Şekil 2.12 Yol ver işareti köşe maskeleri [4].



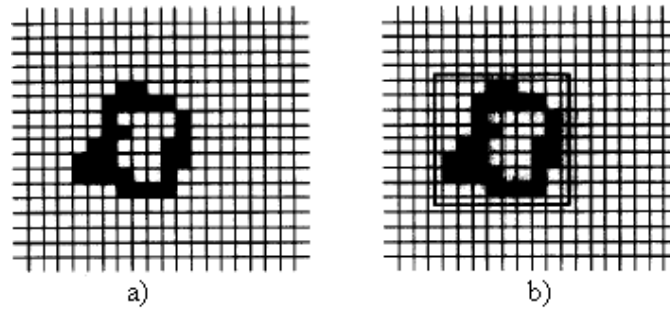
Şekil 2.13 Dur işareti köşe maskeleri [4].

Yapılan diğerk bir çalışmada Şekil 2.14'te görüldüğü gibi resmin sadece sağ orta kısmı ilgili bölge olarak alınmış ve resim bölümlenerek Şekil 2.15'te görüldüğü gibi incelenmiştir. Aynı çalışmada kenar bulma algoritması, üçgen işaretler ve daire işaretler için iki farklı Şekilde kullanılmıştır [10].



Şekil 2.14 İncelenecek alanın Őeilmesi [10]: a) orijinal resim, b) canny kenar bulma algoritması, gaussian filtreleme ve pavlidis algoritması ile bulunan kenarlar ve resmin orta noktası, c) ilgili alanın Őeilmesi, d) gerçekte incelenen alan.

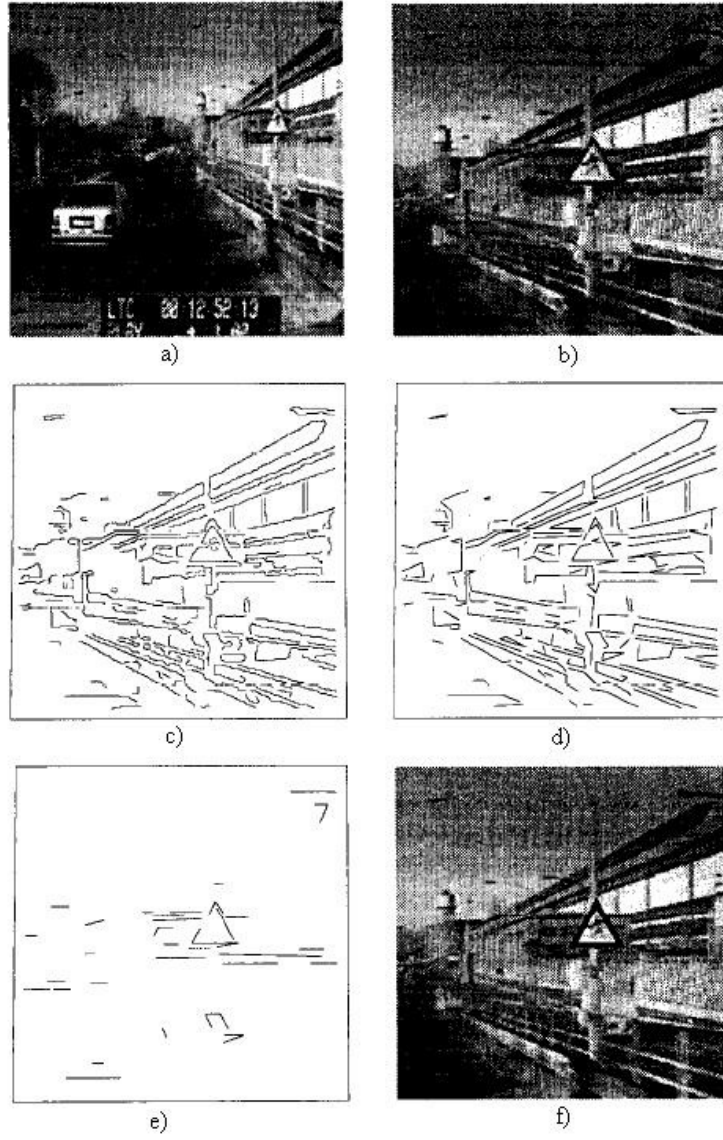
HSV renk uzayına dönüştürülen resim üzerinde aranılan renk için eşikleme yapıldıktan sonra, 512x512 piksel boyutundaki resim, 16x16 piksel boyutunda 32 bölgeye ayrılmıştır. Her bir bölge “1” veya “0” olarak adlandırılmıştır. Eğer bölge içerisindeki toplam 1 piksellerinin sayısı belirli bir eşik değerinin üzerinde ise, bu çalışmada 80 alınmıştır, o bölge “1” olarak adlandırılmıştır. Şekil 2.15a’da siyah olarak gösterilen yerler “1” bölgeleridir ve Şekil 2.15b’de “1” bölgelerinden oluşan kümeyi çevreleyen 8x8 piksel boyutundaki dikdörtgen kontur gösterilmiştir [10].



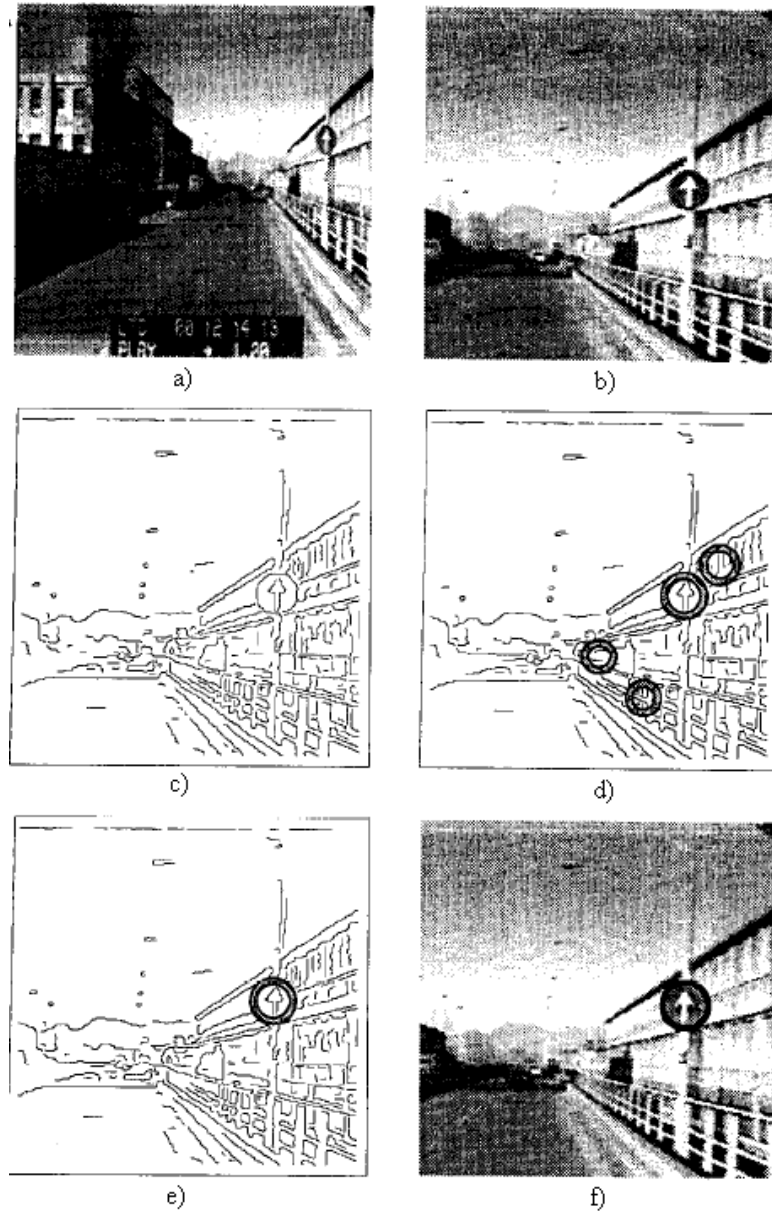
Şekil 2.15 Resmin bölümlenmesi [10]: a) “1” bölgeleri, b) kümenin konturu.

Örneğin  $R_i$  ve  $R_j$  gibi birden fazla aranan küme var ise,  $R_i \cap R_j \neq 0$  olduğu durumda iki küme ayrı ayrı incelenir.  $R_i$  ve  $R_j$  kümelerini birleştirmek pratikte daha zordur ve genellikle  $R_i \cup R_j$  alanı,  $R_i$  ve  $R_j$  alanının toplamından daha büyüktür [10].

Aynı çalışmada üçgen trafik işaretlerini bulmak için kullanılan yöntem Şekil 2.16’da gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Üçgen yol işaretlerinin bulunması [10]: a) orijinal resim, b) aranan işaret bölgesi, c) Canny kenar bulma (canny edge detector) algoritmasının çıktısı, d) kenarların Pavlidis algoritması ile yakınlık değerlerinin bulunması, e) uygun uzunluk ve eğimde seçilen kenarlar, f) bulunan kenarların gösterilmesi.

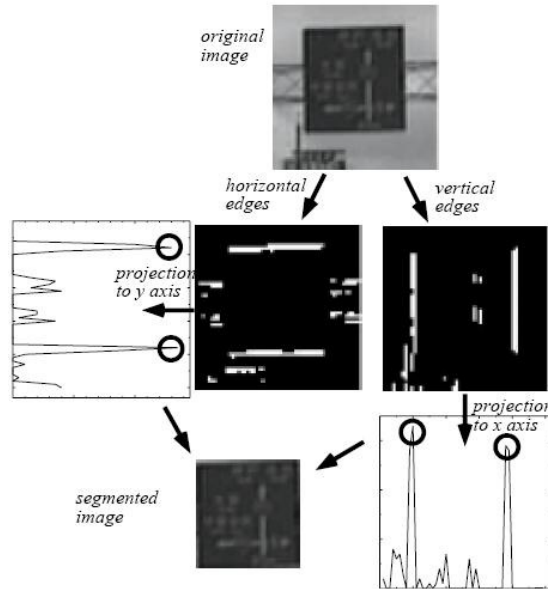


Şekil 2.17 Daire yol işaretlerinin bulunması [10]: a) orijinal resim, b) resim içerisinden alınan arama bölgesi, c) belirli bir eşik değeri üstünde bulunan kenarlar, d) şablon eşleme ile bulunan daireler, e) en fazla benzerliği gösteren daire, f) bulunan dairenin gösterilmesi.

Şekil 2.17c'de bulunan kenarlar, 3 piksel kalınlığında, çapı 15-24 piksel arası 10 tane daire şablonu ile eşleştirilmiştir ve bulunan sonuç Şekil 2.17d'de gösterilmiştir.



Diğer bir çalışmada dikdörtgen işaretleri bulmak için kenar bulma algoritması kullanılmıştır [2]. Hedef resim, kenar bulma algoritmasından geçirildikten sonra dikey çizgiler bulunur ve x-eksenine projeksiyonu yapılarak, histogramı çizilir. Histogramda en yüksek noktalar aranılan dikdörtgenin dikey kenarlarıdır. Daha sonra yatay çizgiler bulunur ve y-eksenine projeksiyonu yapılarak, histogramı çizilir. Histogramda en yüksek noktalar aranılan dikdörtgenin yatay kenarlarıdır. Böylece dört kenar da bulunur. Sadece bir kenar var ise diğerleri tahmin edilir [2].



Şekil 2.18 Dikdörtgen şeklindeki trafik işaretleri için 4 kenarın bulunması [2].

### 2.3 Trafik İşaretini Sınıflandırma

Yapay sinir ağları en çok tercih edilen sınıflandırma yöntemi olarak bir çok araştırmada kullanılmıştır [4, 5, 9]. Yapay sinir ağları trafik işaretleri ile kullanılırken; tespit edilen trafik işaretinin tamamı veya işaretin iç kısmı sisteme iki türlü örüntü olarak verilebilir. Yapılan araştırmada tüm işaret örüntü olarak kullanılmıştır [4].

Üçgen ve daire şeklindeki trafik işaretlerini tanımak için iki ayrı sinir ağı eğitilmiştir [4]. Bazı çalışmalarda ise tek bir yapay sinir ağı çok karmaşık ve yavaş

olacağı için her işaret kategorisi için ayrı bir yapay sinir ağı kullanılmıştır [5]. İşaret kategorileri şunlardır:

- Zorunluluk İşaretleri (mavi daireler)
- Yasak İşaretleri (kırmızı daireler)
- Tehlike İşaretleri (kırmızı üçgenler)
- Belirtme İşaretleri (mavi kareler)
- Park ve Bekleme Yasak İşaretleri (kırmızı ve mavi daireler)
- Dur ve Giriş Yasak İşaretleri (kırmızı dolu daireler)
- Çalışma Var İşaretleri (kırmızı ve sarı üçgenler)
- Öncelik İşaretleri (sarı eşkenar dörtgenler)
- Yol Ver İşareti (kırmızı ters üçgen)

Kullanılmış olan yapay sinir ağı eğitim seti aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Eğitim seti her bir resmin sağa, sola, yukarı ve aşağı kaymış; ayrıca sağa ve sola çevrilmiş olan görüntülerinden oluşmaktadır. Tespit edilen aday resime uygulanacak adımlar şunlardır:

- kenar çizgilerinin silinmesi.
- gri-ölçeğine dönüştürülmesi.
- 50 x 50 örnekleme yapılması.
- Kontrastın yayılması.



Şekil 2.19 Yapay sinir ağı eğitim seti [5].

Yapılan diğ er bir ç alişmada trafik işaretlerinin tanımlanması için normalize edilmiş korelasyon tabanlı şablon eşleme algoritması kullanılmıştır [2]. şekil 2.20’de veri tabanında yer alan hız işaretleri gösterilmektedir.

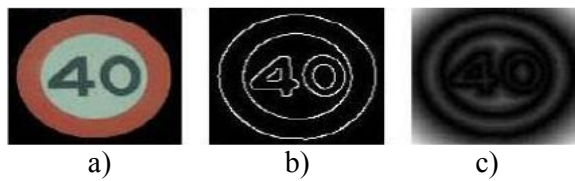


şekil 2.20 Veri tabanında yer alan hız işaretleri [2].

Resim içerisinde bulunan aday işaretlerin korelasyon değerleri için iki adet eşik değeri kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekilde hız işaretleri, tanıma sonucuna göre yakınlıştırılmış bir şekilde görünmektedir [2].



şekil 2.21 Hız işaretlerini tanıma [2]: a) aday işaretler, b) tanıma sonucu.



şekil 2.22 Uzaklık dönüşümü [11]: a) orijinal resim, b) kenar haritası, c) uzaklık dönüşümü.

Şablon eşleme yöntemi diğer bir çalışmada da kullanılmıştır [11]. Yukarıdaki şekilde gösterilen uzaklık dönüşümü aday şekillere uygulanarak benzerlik karşılaştırması için kullanılmıştır. Trafik işareti eğitim elemanını  $R$  ile ifade edersek [11]:

$$DT_R(p) = \min_{q \in B_R} d(p, q) \quad (2.10)$$

$B_R$  şekil kenarlarını oluşturan pikseller seti,  $d(p,q)$  da  $p$  ve  $q$  pikselleri arasındaki Euclidian uzaklığıdır. Uzaklık değişimlerini daha iyi ele alabilmek için denklem 2.11 oluşturulmuştur:

$$\overline{DT}_R(p) = \min_{q \in B_R} d(p, q) * \exp(d(p, q)/10) \quad (2.11)$$

Trafik işareti üzerinde yer alan yazıları daha iyi tanıyabilmek için şeklin dış kısımlardan daha çok iç kısımları ile ilgilenmek gerekir. Buna göre  $w_i$  özelliği  $p_i$  ve  $R$ 'in merkezi arasındaki uzaklığa bağlı olarak artacaktır.  $O$  değişkeni  $R$  nin merkezi;  $r_i$ ,  $p_i$  ve  $O$  arasındaki uzaklık ve  $R$  nin yarıçapı  $z$  olsun. Buna göre:

$$w_i = \begin{cases} \exp(-|r_i|^2) & \text{eger } r_i \leq z \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.12)$$

$$\overline{F}_R = [w_0 \overline{DT}_R(p_0), \dots, w_i \overline{DT}_R(p_i), \dots] \quad (2.13)$$

Elimizde  $N_i$  sayıda örnek şablon olduğunu düşünürsek,  $N_i$  sayıda örnekten ortalama değeri  $\mu_i$  ve değişim değeri  $\sigma_i$  hesaplanabilir. Elde edilen değerler  $\mu$  ve  $\sigma$  kullanılarak trafik işareti adayı  $H$  ve  $R_i$  arasındaki benzerlik şu şekilde ölçülebilir [11]:

$$S(H, R_i) = \exp(-(\overline{F}_H - \mu_i) \sigma_i^{-1} (\overline{F}_H - \mu_i)') \quad (2.14)$$

Başka bir çalışmada gri-seviye (gray level) özellikler kullanılarak trafik işaretleri sınıflandırılmıştır [12].

Sınıflandırıcı 1: mavi-beyaz, kırmızı-mavi, kırmızı-beyaz

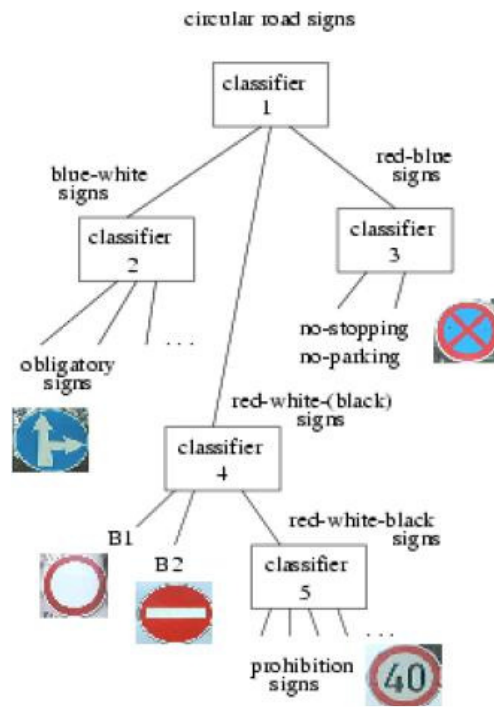
Sınıflandırıcı 2: mavi-beyaz

Sınıflandırıcı 3: kırmızı-mavi

Sınıflandırıcı 4: kırmızı-beyaz

Sınıflandırıcı 5: kırmızı-beyaz-siyah

Bu sınıflandırma Şekil 2.23’de gösterilmiştir.



Şekil 2.23 Daire trafik işaretlerinin sınıf ağacı [12].

Denklem 2.15'te verilen özellikler gri-seviye şekiller için bulunmuştur.

$$\begin{aligned} S_M &= \sum_{b=0}^{L-1} bP(b) \\ S_N &= \sum_{b=0}^{L-1} [P(b)]^2 \\ S_E &= \sum_{b=0}^{L-1} P(b) \log_2[P(b)] \end{aligned} \quad (2.15)$$

$S_M$  (Mean – Ortalama),  $S_N$  (Energy – Enerji) ve  $S_E$  (Entropy – Dağınım) değerleri için resmin satır ve kolonlarındaki parlaklık değerlerinin toplamı da kullanılmıştır [12].

Denklem 2.15'te  $b$  belirli bir histogram seviyesini,  $L$  seviye sayısını (8 bit resimler için  $L=256$ ) ve  $P(b)$   $b$  seviyesinde olasılık değerini gösterir.

Uygun şekil tanımlamaları için değişik seviyelerde değişmeyen momentler kullanılmıştır. Derecesi  $m$ ,  $n$  tane resim fonksiyonu  $F(j,k)$  denklem 2.16'da tanımlanmıştır:

$$U_U(m, n) = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K [x_k - \bar{x}_k]^m [y_j - \bar{y}_j]^n F(j, k) \quad (2.16)$$

Değişkenler  $\bar{x}_k$  ve  $\bar{y}_j$  resmin merkez koordinatlarıdır. Testlerde şekilleri sınıflandırmada Parzen Window sınıflandırıcısı ve Laplace Kernel sınıflandırıcısı beraber kullanılmıştır [12].

Başka bir araştırmada şekiller arası farklılık özellikleri kullanılarak tanıma yapılmıştır [13]. Daha siyah noktalar daha yakın mesafeyi ifade eder. Farklılık özelliklerini çıkarmak için kullanılan CDT (Color Distance Transform) Şekil 2.24'te gösterilmiştir.

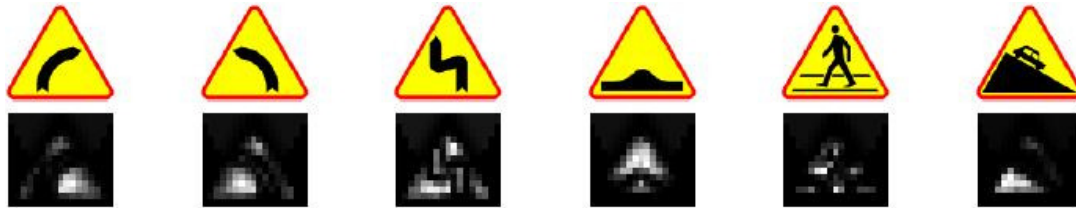


Şekil 2.24 CDT resimleri [13]: a) orijinal resim, b) siyah CDT, c) beyaz CDT, d) kırmızı CDT.

$I$  ve  $J$  resimleri arasındaki farklılık özelliklerini bulmak için denklem 2.17'de  $I$  resminin orijinali ve  $J$  resminin CDT'si arasındaki piksel uzaklıkları kullanılmıştır [13].

$$d_{rk}(I, J) = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m d_{CDT}(I(p_t), J(p_t)) \quad (2.17)$$

Farklılık bölgelerini bulma algoritmasının uygulandığı resimler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.25 Üçgen resimler ve farklılık bölgeleri [13].

Aday trafik işaretlerinin farklılık özellikleri ilgili algoritma kullanılarak bulunmuş ve Şekil 2.25'te gösterilen resimlerden oluşturulmuş farklılık özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma ve tanıma yöntemi olarak Maximum Likelihood Theory kullanılmıştır [13].

## BÖLÜM 3

### GELİŞTİRİLEN UYGULAMA

Trafik işareti tanıma uygulaması açık kaynak kodlu görüntü işleme kütüphanesi OpenCV kullanılarak geliştirilmiştir. Geliştirme aşamasında ilk olarak dış çerçevesi kırmızı olan üçgen ve daire işaretler incelenmiştir.

#### 3.1 Resim Dosyasının Okunması

Aşağıdaki dosya formatlarından herhangi birine sahip bir resim dosyası OpenCV fonksiyonu tarafından yüklenebilir.

- Windows bitmaps - BMP, DIB
- JPEG files - JPEG, JPG, JPE
- Portable Network Graphics - PNG
- Portable image format - PBM, PGM, PPM, PXM, PNM
- Sun rasters - SR, RAS
- TIFF files - TIFF, TIF
- OpenEXR HDR images - EXR
- JPEG 2000 images - jp2

Şekil 3.1’de gösterilen JPG uzantılı resim, uygulamanın her aşamasında örnek resim olarak kullanılmıştır. Arka planda kırmızı başka objelerin olmaması, trafik işaretinin temiz ve tek parça olması sebebi ile tercih edilmiştir.

Dosyadan okunan resim öncelikle 640x480 boyutlarına dönüştürülmektedir. Kırmızı bileşenleri bulunan resimde, konturları bulmadan veya CHT (Circular Hough Transform) uygulanmadan önce, öncelikle morfolojik (erode and dilate) işlemler yapılmaktadır.





Şekil 3.1 Uygulamada kullanılan örnek resim.

### 3.2 RGB Renk Uzayından HSV Renk Uzayına Dönüşüm

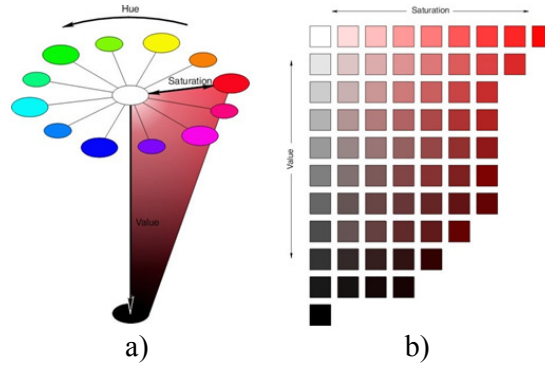
Resim dosyaları içerisinde, çevresel koşullardan kaynaklanan parlaklık sorununu daha kolay ele almak için RGB renk uzayındaki resim HSV renk uzayına dönüştürülmüştür.

HSV (**H**ue, **S**aturation, **V**alue), HSI (**H**ue, **S**aturation, **I**ntensity), HSB (**H**ue, **S**aturation, **B**rightness), HSL (**H**ue, **S**aturation, **L**ightness) renk uzayları, renkleri sırasıyla renk özü (hue), doygunluk (saturation) ve parlaklık (value) olarak tanımlar.

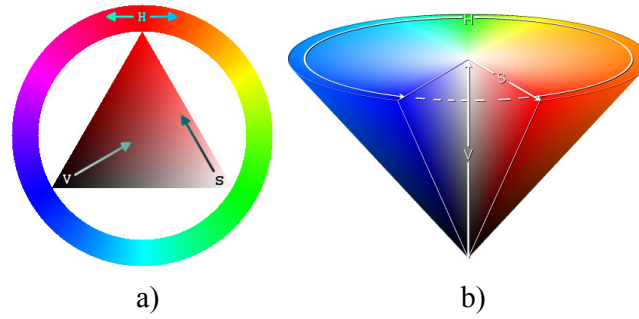
Renk özü, rengin baskın dalga uzunluğunu belirler, örneğin sarı, mavi, yeşil, vb. Açısal bir değerdir  $0^{\circ}$  -  $360^{\circ}$ , bazı uygulamalarda ise 0-100 arası olağanlaştırılır. OpenCV kütüphanesinde H kanalının piksel değerleri 0-360 aralığındadır.

Doygunluk, rengin "canlılığını" belirler. Yüksek doygunluk canlı renklere neden olurken, düşük olasılık rengin gri tonlarına yaklaşmasına neden olur. 0-100 arasında değişir. OpenCV kütüphanesinde S kanalının piksel değerleri 0-1 aralığındadır.

Parlaklık ise rengin aydınlığını yani içindeki beyaz oranını belirler. 0-100 arasında değişir. OpenCV kütüphanesinde V kanalının piksel değerleri 0-1 aralığındadır.



Şekil 3.2 HSV renk modeli [7]: a) HSV modelinde belirli bir Hue değeri için Saturation/Value kesiti, b) Kırmızı Hue değerinde örnek Saturation/Value değişimleri



Şekil 3.3 HSV renk modeli [7]: a) HSV renk çemberi, b) HSV kanonik.



Şekil 3.4 Örnek resmin HSV renk uzayında görüntüsü.



Şekil 3.5 Örnek resmin Hue kanalının görüntüsü.



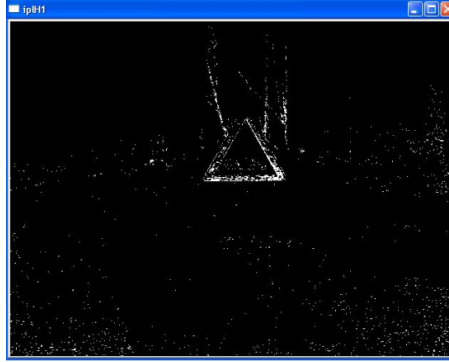
Şekil 3.6 Örnek resmin Saturation kanalının görüntüsü.



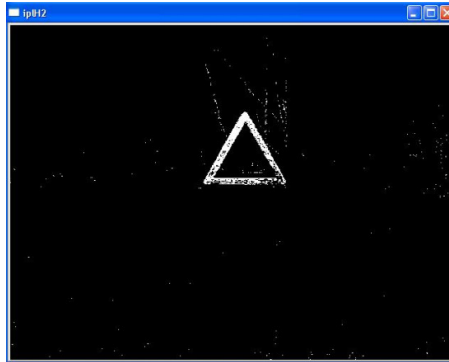
Şekil 3.7 Örnek resmin Value kanalının görüntüsü.

### 3.3 İkili Eşikleme

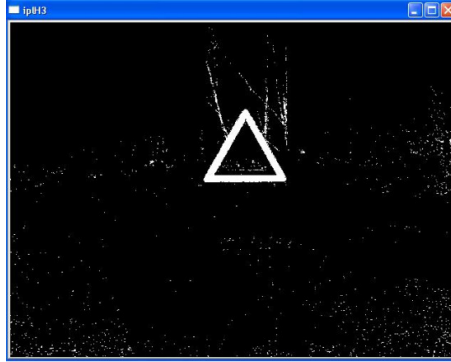
Hue renk kanalı içerisindeki kırmızı bileşenler için 0-20 ve 340-360 değer aralıkları ele alınarak ikili eşikleme yapılmıştır.



Şekil 3.8 Hue kanalının 0-20 aralığında filtrelenmiş görüntüsü.



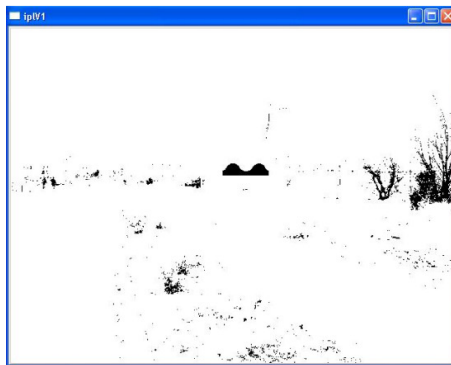
Şekil 3.9 Hue kanalının 340-360 aralığında filtrelenmiş görüntüsü.



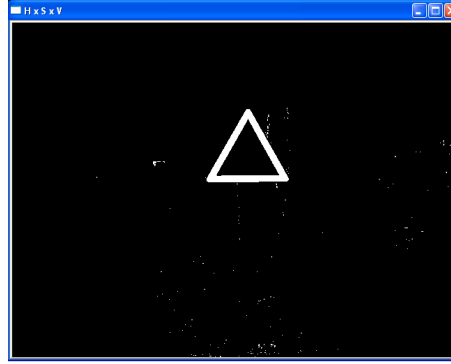
Şekil 3.10 Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 deki resimlerin toplamı.



Şekil 3.11 Saturation kanalının 0.4–1.0 aralığında filtrelenmiş görüntüsü.



Şekil 3.12 Value kanalının 0.3–1.0 aralığında filtrelenmiş görüntüsü.



Şekil 3.13 Şekil 3.10 - 12 deki resimlerin çarpımı.

H, S ve V renk kanallarının eşikleme yapılmış görüntüleri birbirleri ile çarpılarak ana resim içerisindeki kırmızı bölgeler elde edilir. Şekil 3.13'te çarpımdan elde edilen sonuç görülmektedir.

### 3.4 Morfolojik İşlemlerin Uygulanması

Sürekli Euclidean uzayı  $R^n$  veya kesikli uzay  $Z^n$  olabilen ve  $n \geq 1$  için tanımlı  $\mathcal{E}$  uzayını ele alalım. Tanımlı set  $X \subseteq \mathcal{E}$  ve vektör  $b \in X$  için dönüşüm  $X_b = \{x + b | x \in X\}$  olarak tanımlanmıştır.

$\mathcal{E}$  uzayının alt setleri olan  $X$  kümesi ve  $B$  filtresi kullanılarak açma işlemi denklem 3.1'de gösterilmiştir [14].

$$X \circ B = (X \ominus B) \oplus B \quad (3.1)$$

$\mathcal{E}$  uzayının alt setleri olan  $X$  kümesi ve  $B$  filtresi kullanılarak kapama işlemi denklem 3.2'de gösterilmiştir [14].

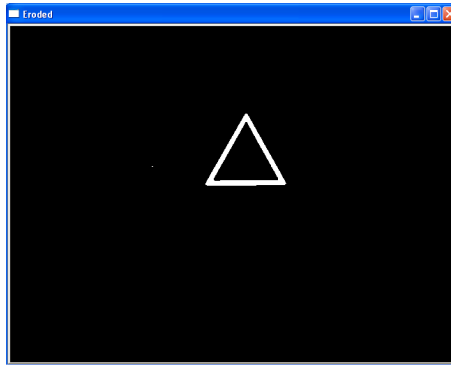
$$X \bullet B = (X \oplus B) \ominus B \quad (3.2)$$

Şekil 3.13'te elde edilen resim üzerinde açma işlemi uygulanmıştır. Açma işlemi resim üzerindeki küçük nesnelere yani gürültüyü kaldırmak için kullanılır.

### 3.4.1 Aşındırma İşlemi

$\mathcal{E}$  uzayının alt setleri olan  $X$  kümesi ve  $B$  filtresi kullanılarak, aşındırma işlemi denklem 3.2'de gösterilmiştir [14].

$$X \ominus B = \bigcap_{b \in B} X_{-b} = \{p \in \mathcal{E} \mid B_p \subseteq X\} \quad (3.2)$$

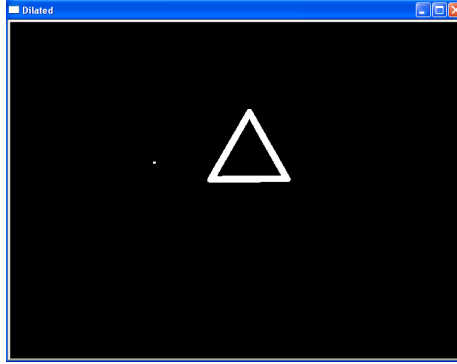


Şekil 3.14 Aşındırma işleminin 3x3 dikdörtgen filtre ile Şekil 3.13'teki resime uygulanması.

### 3.4.2 Yayma İşlemi

$\mathcal{E}$  uzayının alt setleri olan  $X$  kümesi ve  $B$  filtresi kullanılarak, yayma işlemi denklem 3.3'te gösterilmiştir [14].

$$X \oplus B = \bigcup_{b \in B} X_b = \bigcup_{x \in X} B_x = \{x + b \mid x \in X, b \in B\} \quad (3.3)$$



Şekil 3.15 Yayma işleminin 3x3 dikdörtgen filtre ile Şekil 3.14'teki resime uygulanması.

### 3.5 Konturların Bulunması

Şekil 3.15'te elde edilen resmin konturları OpenCV kütüphanesinde yer alan kontur bulma fonksiyonu kullanılarak bulunmuştur. Trafik işaretlerinin konturlarını en iyi şekilde ayırabilmek için 2 seviye hiyerarşide birbirine bağlı bileşenler için konturlar bulunmuştur. Yani bir trafik işareti için dış çerçeve bir kontur ve ona bağlı iç çerçeve bir kontur olmak üzere iki kontur bulunmaktadır.

Bulunan konturlar Şekil 3.1'de gösterilen resim üzerine dış konturlar mavi renkte, iç konturlar yeşil renkte olacak şekilde çizdirilmiştir. Şekil 3.16'da çizdirilen konturlar gösterilmektedir.





Şekil 3.16 Resim üzerine kontur çizilmesi.

### 3.6 Hough Circle Transform

CHT (Circular Hough Transform), daire trafik işaretlerini bulmak için kullanılmıştır. Kontur bulmaya göre en büyük avantajı; herhangi bir dış etken sebebi ile tek parça olarak konturu bulunamayan daire işaretlerinde daha başarılı olmasıdır. Şekil 3.17'de 50 hız limitini gösteren daire trafik işareti üzerine test amaçlı üç parça siyah gürültü eklenmiştir ve böylece işaret üç parçaya bölünmüştür.

Şekil 3.17'de CHT ile bulunan iki adet daire trafik işareti gösterilmektedir ve CHT fonksiyonu ile bulunan daireler mavi ile çizilmiştir.



Şekil 3.17 CHT uygulanmış örnek resim.

Örnek resim ayrıca kontur bulma fonksiyonunda test edilmiştir ve bulunan konturlar dış konturlar mavi, iç konturlar yeşil çizdirilerek Şekil 3.18’de gösterilmiştir. 50 hız limitini gösteren daire trafik işareti 3 parça kontur olarak bulunduğu için sınıflandırma algoritması için aday resim olarak seçilememiştir.



Şekil 3.18 Konturları bulunmuş örnek resim.

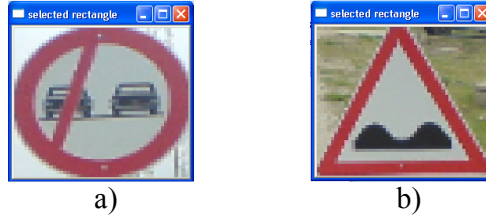


Şekil 3.19 CHT ile hatalı bulunan konturlar

CHT uygulaması resim içerisinde elipse gibi görünen daire işaretlerinde başarılı değildir ve tam konturu verememektedir. Ayrıca çok hesaplama gerektirdiği için daha yavaş bir algoritmadır. Bu yüzden uygulamada tercih edilmemiştir.

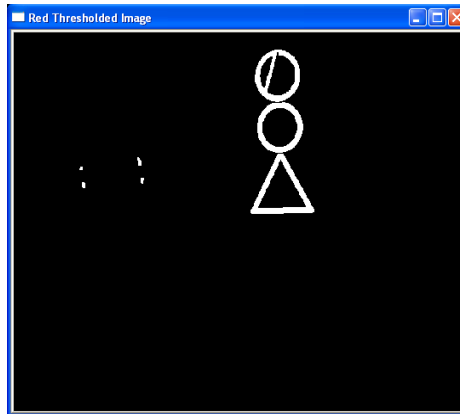
### 3.7 Şablon Eşleme

Şablon eşleme işleminde ilk önce bulunmuş olan konturları veya CHT ile hesaplanan daireleri çevreleyen dikdörtgenler belirlenir. Belirlenen dikdörtgenlerden, boyu ve eni 15 pikselden büyük olanlar seçilir, diğerleri incelenmez. Eğitim setinde 50x50 piksel boyutunda resimler kullanıldığı için seçilen aday dikdörtgenler interpolasyon ile 50x50 piksel boyutuna getirilir.



Şekil 3.20 Seçilen dikdörtgenler: a) Sollama yapılmaz işareti, b) Kasis işareti.

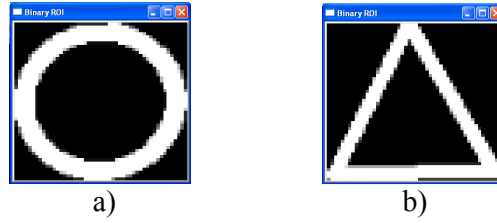
Şekil 3.20'de Şekil 3.18'den kontur bulma yöntemi ile seçilen dikdörtgenler gösterilmiştir.



Şekil 3.21 Şekil 3.18'de gösterilen resmin kırmızı bileşenleri.

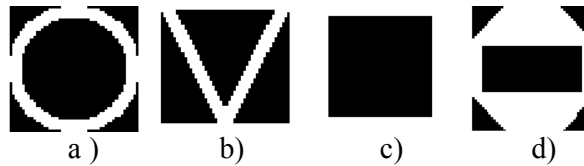
### 3.7.1 Trafik İşareti Çerçeve Şekline Göre Şablon Eşleme

İkili eşikleme yapılmış olan Şekil 3.21’de gösterilen ana resimden, belirlenen dikdörtgen bölgeleri alınır ve 50x50 piksel boyutuna getirilir. Şekil 3.22’de aday dikdörtgen bölgeler gösterilmiştir.



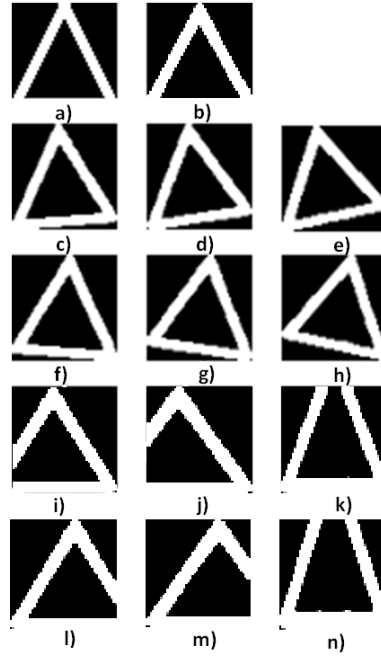
Şekil 3.22 Seçilen dikdörtgenler: a) Daire işareti, b) Üçgen işareti.

Şekil 3.22’de gösterilen aday resimler Şekil 3.23’te ve Şekil 3.24’te yer alan 50x50 piksel boyutundaki maskeler ile karşılaştırılır.



Şekil 3.23 Binary çerçeve maskeleri: a) daire işaretler, b) yol ver işareti, c) kare işaretler, d) dur işareti.

Aşağıda Şekil 3.24’te binary üçgen çerçeve maskeleri gösterilmektedir. Bütün maskeleri orijinal haline çevirmek için kullanılan transformasyon matrisleri Ek-A’da yer almaktadır.



Şekil 3.24 Binary üçgen çerçeve maskeleri: a) orijinal, b) aşağı 8 piksel, c) sola dönmüş 4 derece, d) sola dönmüş 8 derece, e) sola dönmüş 12 derece, f) sağa dönmüş 4 derece, g) sağa dönmüş 8 derece, h) sağa dönmüş 12 derece, i) sola 10 piksel, j) sola 15 piksel k) yukarı 15 piksel, l) sağa 10 piksel, m) sağa 15 piksel, n) yukarı 20 piksel

Şablon eşleme işlemi denklem 3.7’de anlatılan Normalized Cross Correlation ile yapılır. Aday dikdörtgen ve sıra ile her maske arasında yapılan eşlemeye göre en yüksek değeri veren karşılaştırma sonucu, dikdörtgen içerisindeki resmin hangi trafik işareti sınıfına, üçgen veya daire, ait olduğunu gösterir. Eşleme değeri 0.6’den küçük ise aday dikdörtgenin gürültü olduğu kabul edilir.

$$Z(x, y) = \sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2 \cdot \sum_{x', y'} I(x + x', y + y')^2} \quad (3.5)$$

$$R_{\text{corr}}(x, y) = \sum_{x', y'} [T(x', y') \cdot I(x + x', y + y')]^2 \quad (3.6)$$

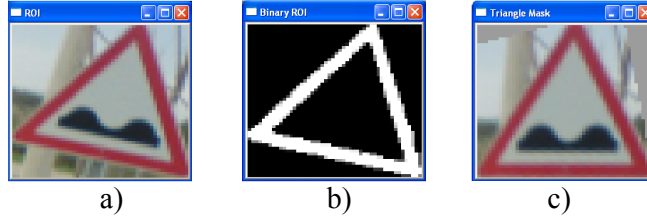
$$R_{\text{ccor\_normed}}(x,y) = \frac{R_{\text{ccor}}(x,y)}{Z(x,y)} \quad (3.7)$$

Eşleme sonucunda en yüksek benzerlik oranı dönmüş veya kaymış üçgen maskelerden herhangi biri ile oluşursa, Ek-A'da o maskeye karşılık gelen transformasyon matrisi ile resim ters yönde döndürülerek veya kaydırılarak orijinal haline getirilir.

Şekil 3.25a'da 12 derece sağa dönmüş bir üçgen trafik işareti gösterilmiştir. Şekil 3.25b'de yer alan ikili eşikleme yapılmış hali, Şekil 3.24h'de yer alan üçgen maske ile en yüksek benzerlik oranını oluşturmuştur. Buna göre ana resimden alınan Şekil 3.25a'daki aday dikdörtgen;

$$TM_{RR12} = \begin{bmatrix} 0.95630 & 0.17842 & -6.60173 \\ -0.26763 & 1.09285 & 8.56440 \end{bmatrix}$$

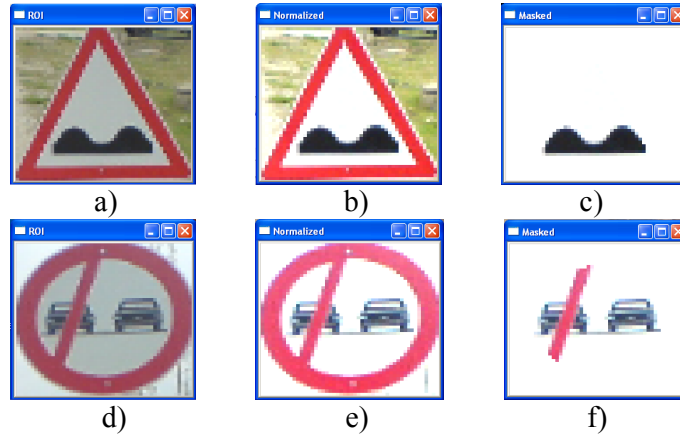
matrisi ile affine transformasyon yapılarak Şekil 3.25c elde edilir.



Şekil 3.25 a) 12 derece sağa dönmüş üçgen işaret, b) Kırmızı bileşenleri, c) 12 derece sola döndürülmüş hali.

### 3.7.2 Eğitim Seti ile Şablon Eşleme

Orijinal resimden aday dikdörtgen bölgesi alınır ve 50x50 piksel boyutuna getirilir. Gerekli ise üçgen işaretler için transformasyon matrisleri ile dönüşüm işlemleri yapılır.

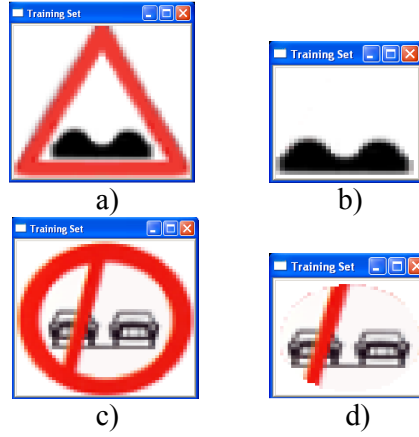


Şekil 3.26 a) aday üçgen resim, b) normalize yapılmış, c) maskelenmiş, d) aday daire resim, e) normalize yapılmış, f) maskelenmiş.

Ana resimden kesilen aday dikdörtgen içerisindeki şeklin daire veya üçgen olmasına göre iç kısmının renkleri normalleştirilir. Şekil 3.26b ve Şekil 3.26e'de normalize edilmiş resimler görünmektedir.

Normalize edilmiş aday resimlerin dış çerçeveleri maskelenir. Böylece trafik işaretinin sadece iç kısmı ele alınır. Maskelenmiş resimler Şekil 3.26c ve Şekil 3.26f'de görünmektedir.

Eğitim setinde yer alan Şekil 3.27a'daki örnek kasis işareti gibi 50x50 piksel boyutundaki üçgen resimler, eşleme öncesinde dış çerçeveleri maskelenerek Şekil 3.27b'deki gibi 31x31 piksel boyutuna getirilir. Eğitim setinde yer alan bütün üçgen işaretlerin iç kısmını elde etmek için en ideali 31x31 piksel boyutuna indirmektir.



Şekil 3.27 a) üçgen eğitim setinden kasis işareti, b) maskelenmiş hali, c) daire eğitim setinden sollanmaz işareti, d) maskelenmiş hali.

Eğitim setinde yer alan Şekil 3.2c'deki örnek sollama yapılmaz işareti gibi 50x50 piksel boyutundaki daire resimler, eşleme öncesinde dış çerçeveleri maskelenerek Şekil 3.267'deki gibi 38x38 piksel boyutuna getirilir. Eğitim setinde yer alan bütün daire işaretlerin iç kısmını elde etmek için en ideali 38x38 piksel boyutuna indirmektir.

Daha sonra aday dikdörtgen ve bulunan trafik işareti sınıfına ait veri tabanındaki her bir resim denklem 3.9'da anlatılan Normalized Square Difference yöntemi ile karşılaştırılır. Veri tabanında en düşük eşleme değerine karşılık gelen resim aradığımız trafik işareti olarak kabul edilir. Eşleme değeri 0.1'den küçük değil ise resim eğitim setinde yok kabul edilir.

$$R_{sq\_diff}(x, y) = \sum_{x', y'} [T(x', y') - I(x + x', y + y')]^2 \quad (3.8)$$

$$R_{sq\_diff\_normed}(x, y) = \frac{R_{sq\_diff}(x, y)}{Z(x, y)} \quad (3.9)$$



## BÖLÜM 4

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 4.1 Test Setleri

Geliştirilen uygulama iki farklı test seti üzerinde değerlendirilmiştir. Birinci test seti araç içerisinde veya yaya olarak, değişik hava koşullarında ve günün değişik saatlerinde çekilen farklı resimlerden oluşturulmuştur. İkinci test seti olarak, Madrid Alcalá de Henares Üniversitesinin (UAH), Sinyal Teori ve Komünikasyon Bölümünün alt grubu GRAM' ın konu ile ilgili yapmış olduğu çalışmalar için oluşturduğu test seti kullanılmıştır [15].

##### 4.1.1 Oluşturulan Test Seti

Yeni oluşturulan test seti içerisindeki resimler altı farklı gruba bölünmüştür. Eğer bir resim içerisinde birden fazla trafik işareti bulunduruyor ve trafik işaretleri aşağıda belirtilen farklı gruplara ait özelliklere sahip ise, aynı resim birden fazla grup içerisinde yer almaktadır. Oluşturulan gruplar şunlardır:

##### 1) Normal Grup (Normal)

Bu test grubuna ait resimler; hava koşulları, dış objeler veya herhangi bir dış etkenden bağımsız net bir açıdan görülebilen en az bir trafik işareti içermektedir. Test seti içerisinde 63 resim yer almaktadır.

##### 2) Hasarlı Grup (Deformed)

Bu test grubuna ait resimler içerisinde en az bir trafik işaretinin; eğilmiş, bükülmüş, üzeri boyanmış, rengi solmuş veya yazıları silinmiştir. Test seti içerisinde 28 resim yer almaktadır.

### **3) Kötü-Aydınlanmış Grup (Badly-Illuminated)**

Bu test grubuna ait resimler içerisinde en az bir trafik işaretinin; güneş, bulutlu hava, ağaç veya bina gölgesi, sokak lambası, araç camı, araç farı sebebi ile parlaklığı çok fazla veya çok azdır. Test seti içerisinde 85 resim yer almaktadır.

### **4) Engellenmiş Grup (Occluded)**

Bu test grubuna ait resimler içerisinde en az bir trafik işareti; başka bir trafik işareti, ağaç dalları, trafik lambaları, sokak lambaları, direkler veya herhangi bir dış obje tarafından engellenmiştir. Test seti içerisinde 48 resim yer almaktadır.

### **5) Dönmüş Grup (Rotated)**

Bu test grubuna ait resimler içerisinde en az bir trafik işareti; zeminden, monte edilmiş açısından, resmin içerisindeki bakış açısından veya herhangi bir dış sebepten dolayı yolun doğrultusundan farklı bir açıda görünmektedir. Test seti içerisinde 57 resim yer almaktadır.

### **6) Çoklu Grup (Clustered)**

Bu test grubuna ait resimler içerisinde en az bir trafik işareti direği veya platformu üzerinde birden fazla trafik levhası üst üste, yan yana bulunmaktadır. Test seti içerisinde 41 resim yer almaktadır.

#### **4.1.2 GRAM Test Seti**

Bu test seti içerisinden sadece kırmızı çerçeveli trafik işaretlerinin olduğu gruplar seçilmiştir. Seçilen gruplar içerisinden de eğitim setine uygun olmayan resimler çıkarılmıştır. Seçilen gruplar ve resim sayıları şöyledir:

#### **1) Kötü-Aydınlanmış Grup (Changes In Illumination)**

Bu test grubunda ışıklandırma sorunu olan trafik işaretlerini içeren resimler yer almaktadır. Test seti içerisinde 26 tane resim bulunmaktadır.

## **2) Engellenmiş (Occlusion)**

Bu test grubunda bir parçası engellenmiş trafik işaretlerini içeren resimler yer almaktadır. Test seti içerisinde 35 tane resim bulunmaktadır.

## **3) Ötelenmiş (Translation)**

Bu test grubunda uzaktan çekilmiş veya resimin farklı bölgelerinde bulunan trafik işaretlerini içeren resimler yer almaktadır. Test seti içerisinde 36 tane resim bulunmaktadır.

## **4) Dönmüş (Rotation)**

Bu test grubunda herhangi bir yöne dönmüş trafik işaretlerini içeren resimler yer almaktadır. Test seti içerisinde 27 tane resim bulunmaktadır.

## **5) Gölge (Shadow)**

Bu test grubunda üzerinde gölge oluşmuş trafik işaretlerini içeren resimler yer almaktadır. Test seti içerisinde 30 tane resim bulunmaktadır.

## **6) Hasarlı (Deformed)**

Bu test grubunda hasır görmüş trafik işaretlerini içeren resimler yer almaktadır. Test seti içerisinde 22 tane resim bulunmaktadır.

## **4.2 Test Aşaması ve Sonuçlar**

Test grupları üzerinde, tanıma ve sınıflandırma olmak üzere iki kapsamda test yapılmıştır.

Birinci kapsam, resimler içerisinde yer alan trafik işaretlerinden kaç tanesinin trafik işareti olarak tanımlanabildiğini görmektir. İkinci kapsam ise, resimler içerisinde bulunan trafik işaretlerinden kaç tanesinin doğru sınıflandırılabildiğini görmektir.

#### **4.2.1 Oluşturulan Test Setinden Elde Edilen Sonuçlar**

İlk test setini kullanarak uygulamayı değerlendirebilmek için EK-B’de gösterilen eğitim seti kullanılmıştır.

İlk testte, her bir gruba ait resimler içerisinde, bulunabilir kriterlerdeki aday trafik işaretleri sayılmış; tanınabilenler, trafik işareti olmayıp herhangi bir trafik işaretine benzeten adaylar belirlenmiştir. Belirlenen adayların tanınma sayıları ve yüzdeleri Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

İkinci testte, her bir gruba ait resimler içerisinde, tanınan adaylardan; doğru olarak sınıflandırılanlar, yanlış olarak sınıflandırılanlar ve trafik işareti olup sınıflandırılmayanlar belirlenmiştir. Tanınan adayların sınıflandırma sayıları ve yüzdeleri Tablo 4.3’te gösterilmiştir.

Tanınma ve sınıflandırma ile ilgili detaylı test bilgileri Tablo 4.1’de yer almaktadır.

TEST GRUBU	İŞARET TÜRÜ	RESİMDEKİ SAYISI	TANINAN SAYISI	DOĞRU SINIFLANDIRILAN	YANLIŞ SINIFLANDIRILAN	SINIFLANDIRILAMAYAN	İŞARET DIŞI TANINAN	TANIMA YÜZDESİ (%)	TANINANLARDA SINIFLANDIRMA YÜZDESİ (%)	RESİMDEKİLERDE SINIFLANDIRMA YÜZDESİ (%)
NORMAL	ÜÇGEN	59	44	30	14	0	0	74.58	68.18	50.85
	DAİRESEL	35	24	17	6	1	0	68.57	70.83	48.57
	YOL VER	8	6	6	0	0	0	75.00	100.00	75.00
HASARLI	DUR	1	1	1	0	0	2	100.00	100.00	100.00
	ÜÇGEN	22	14	9	5	0	0	63.64	64.29	40.91
	DAİRESEL	20	14	7	6	1	0	70.00	50.00	35.00
KÖTÜ AYDINLANMIŞ	YOL VER	1	1	1	0	0	0	100.00	100.00	100.00
	DUR	1	1	1	0	0	0	100.00	100.00	100.00
	ÜÇGEN	65	45	23	22	0	1	69.23	51.11	35.38
ENGELLENMİŞ	DAİRESEL	55	34	8	23	3	0	61.82	23.53	14.55
	YOL VER	4	1	1	0	0	0	25.00	100.00	25.00
	DUR	5	5	2	0	3	3	100.00	40.00	40.00
DÖNÜMÜŞ	ÜÇGEN	45	24	15	9	0	1	53.33	62.50	33.33
	DAİRESEL	47	23	10	11	2	0	48.94	43.48	21.28
	YOL VER	6	2	2	0	0	0	33.33	100.00	33.33
ÇOKLU	DUR	3	3	1	0	2	1	100.00	33.33	33.33
	ÜÇGEN	53	34	25	9	0	2	64.15	73.53	47.17
	DAİRESEL	29	22	15	5	2	0	75.86	68.18	51.72
TOPLAM	YOL VER	3	2	2	0	0	1	66.67	100.00	66.67
	DUR	6	6	4	0	2	2	100.00	66.67	66.67
	ÜÇGEN	28	21	17	4	0	1	75.00	80.95	60.71
TOPLAM	DAİRESEL	49	33	28	4	1	0	67.35	84.85	57.14
	YOL VER	4	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	DUR	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
TOPLAM	ÜÇGEN	272	182	119	63	0	5	66.91	65.38	43.75
	DAİRESEL	235	150	85	55	10	0	63.83	56.67	36.17
	YOL VER	26	12	12	0	0	1	46.15	100.00	46.15
TOPLAM	DUR	16	16	9	0	7	8	100.00	56.25	56.25

Tablo 4.1 Detaylı Tanıma ve Sınıflandırma Tablosu (Set-1)

TEST GRUBU	İŞARET TÜRÜ	RESİMDEKİ SAYISI	TANINAN SAYISI	TANIMA YÜZDESİ (%)
NORMAL	ÜÇGEN	59	44	74.58
	DAİRESEL	35	24	68.57
	YOL VER	8	6	75.00
	DUR	1	1	100.00
HASARLI	ÜÇGEN	22	14	63.64
	DAİRESEL	20	14	70.00
	YOL VER	1	1	100.00
	DUR	1	1	100.00
KÖTÜ AYDINLANMIŞ	ÜÇGEN	65	45	69.23
	DAİRESEL	55	34	61.82
	YOL VER	4	1	25.00
	DUR	5	5	100.00
ENGELLENMİŞ	ÜÇGEN	45	24	53.33
	DAİRESEL	47	23	48.94
	YOL VER	6	2	33.33
	DUR	3	3	100.00
DÖNMÜŞ	ÜÇGEN	53	34	64.15
	DAİRESEL	29	22	75.86
	YOL VER	3	2	66.67
	DUR	6	6	100.00
ÇOKLU	ÜÇGEN	28	21	75.00
	DAİRESEL	49	33	67.35
	YOL VER	4	0	0.00
	DUR	0	0	0.00
TOPLAM	ÜÇGEN	272	182	66.91
	DAİRESEL	235	150	63.83
	YOL VER	26	12	46.15
	DUR	16	16	100.00

Tablo 4.2 Tanıma Tablosu (Set-1)

TEST GRUBU	İŞARET TÜRÜ	TANINAN SAYISI	DOĞRU SINIFLANDIRILAN	SINIFLANDIRMA YÜZDESİ (%)
NORMAL	ÜÇGEN	44	30	68.18
	DAİRESEL	24	17	70.83
	YOL VER	6	6	100.00
	DUR	1	1	100.00
HASARLI	ÜÇGEN	14	9	64.29
	DAİRESEL	14	7	50.00
	YOL VER	1	1	100.00
	DUR	1	1	100.00
KÖTÜ AYDINLANMIŞ	ÜÇGEN	45	23	51.11
	DAİRESEL	34	8	23.53
	YOL VER	1	1	100.00
	DUR	5	2	40.00
ENGELLENMİŞ	ÜÇGEN	24	15	62.50
	DAİRESEL	23	10	43.48
	YOL VER	2	2	100.00
	DUR	3	1	33.33
DÖNMÜŞ	ÜÇGEN	34	25	73.53
	DAİRESEL	22	15	68.18
	YOL VER	2	2	100.00
	DUR	6	4	66.67
ÇOKLU	ÜÇGEN	21	17	80.95
	DAİRESEL	33	28	84.85
	YOL VER	0	0	0.00
	DUR	0	0	0.00
TOPLAM	ÜÇGEN	182	119	65.38
	DAİRESEL	150	85	56.67
	YOL VER	12	12	100.00
	DUR	16	9	56.25

Tablo 4.3 Sınıflandırma Tablosu (Set-1)

#### 4.2.2 GRAM Test Setinden Elde Edilen Sonuçlar

İkinci test setini kullanarak uygulamayı değerlendirebilmek için İspanya trafik işaretlerinden oluşan farklı bir eğitim seti kullanılmıştır.

Yapılan testlerde, her bir test grubu içerisindeki resimlerde yer alan üçgen işaretlerinin, daire işaretlerinin, yol ver işaretlerinin ve dur işaretlerinin sayıları belirlenmiştir. Bu işaretlerden kaç tanesinin tanındığı, tanınanlardan kaç tanesinin doğru sınıflandırıldığı, sınıflandırılmayanlar ve işaret olmayıp sınıflandırılanlar bilgileri içeren tablolar oluşturulmuştur.

Tablo 4.4'te detaylı tanıma ve sınıflandırma sayıları ile yüzdesel oranları yer almaktadır. Tablo 4.5 gruplara göre tanıma sayılarını ve resim içerisinde tanıma oranlarını içermektedir. Tablo 4.6 ise gruplara göre tanınan işaret sayıları içerisinde doğru olarak sınıflandırılanların sayısını ve yüzdesini göstermektedir.



TEST GRUBU	İŞARET TÜRÜ	RESİMDEKİ SAYISI	TANINAN SAYISI	DOĞRU SINIFLANDIRILAN	YANLIŞ SINIFLANDIRILAN	SINIFLANDIRILAMAYAN	İŞARET DIŞI TANINAN	TANIMA YÜZDESİ (%)	TANINANLARDA SINIFLANDIRMA YÜZDESİ (%)	RESİMDEKİLERDE SINIFLANDIRMA YÜZDESİ (%)
ILLUMINATION (KÖTÜ-AYDINLANMIŞ)	ÜÇGEN	12	6	4	2	0	0	50.00	66.67	33.33
	DAİRESEL	16	7	2	3	2	0	43.75	28.57	12.50
	YOL VER	4	2	2	0	0	0	50.00	100.00	50.00
	DUR	1	1	0	0	1	0	100.00	0.00	0.00
OCCLUSION (ENGELLENMİŞ)	ÜÇGEN	23	12	2	10	0	1	52.17	16.67	8.70
	DAİRESEL	26	6	3	1	2	0	23.08	50.00	11.54
	YOL VER	4	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	DUR	2	1	0	0	1	0	50.00	0.00	0.00
TRANSLATION (ÖTELENMİŞ)	ÜÇGEN	14	7	3	4	0	0	50.00	42.86	21.43
	DAİRESEL	26	12	5	3	4	0	46.15	41.67	19.23
	YOL VER	5	2	2	0	0	0	40.00	100.00	40.00
	DUR	5	3	0	0	3	0	60.00	0.00	0.00
ROTATION (DÖNMÜŞ)	ÜÇGEN	7	3	2	1	0	0	42.86	66.67	28.57
	DAİRESEL	16	3	3	0	0	0	18.75	100.00	18.75
	YOL VER	5	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	DUR	12	6	2	0	4	0	50.00	33.33	16.67
SHADOW (GÖLGELİ)	ÜÇGEN	34	15	6	9	0	0	44.12	40.00	17.65
	DAİRESEL	27	13	7	4	2	0	48.15	53.85	25.93
	YOL VER	5	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	DUR	1	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
DEFORMED (HASARLI)	ÜÇGEN	5	2	1	1	0	0	40.00	50.00	20.00
	DAİRESEL	9	4	2	1	1	0	44.44	50.00	22.22
	YOL VER	10	9	4	0	5	0	90.00	0.00	40.00
	DUR	2	1	0	0	1	0	0.00	0.00	0.00
TOPLAM	ÜÇGEN	95	45	18	27	0	1	47.37	40.00	18.95
	DAİRESEL	120	45	22	12	11	0	37.50	48.89	18.33
	YOL VER	33	13	8	0	5	0	39.39	61.54	24.24
	DUR	23	12	2	0	10	0	52.17	16.67	8.70

Tablo 4.4 Detaylı Tanıma ve Sınıflandırma Tablosu (Set-2)

TEST GRUBU	İŞARET TÜRÜ	RESİMDEKİ SAYISI	TANINAN SAYISI	TANIMA YÜZDESİ (%)
ILLUMINATION (KÖTÜ- AYDINLANMIŞ)	ÜÇGEN	12	6	50.00
	DAİRESEL	16	7	43.75
	YOL VER	4	2	50.00
	DUR	1	1	100.00
OCCLUSION (ENGELLENMİŞ)	ÜÇGEN	23	12	52.17
	DAİRESEL	26	6	23.08
	YOL VER	4	0	0.00
	DUR	2	1	50.00
TRANSLATION (ÖTELENMİŞ)	ÜÇGEN	14	7	50.00
	DAİRESEL	26	12	46.15
	YOL VER	5	2	40.00
	DUR	5	3	60.00
ROTATION (DÖNMÜŞ)	ÜÇGEN	7	3	42.86
	DAİRESEL	16	3	18.75
	YOL VER	5	0	0.00
	DUR	12	6	50.00
SHADOW (GÖLGELİ)	ÜÇGEN	34	15	44.12
	DAİRESEL	27	13	48.15
	YOL VER	5	0	0.00
	DUR	1	0	0.00
DEFORMED (HASARLI)	ÜÇGEN	5	2	40.00
	DAİRESEL	9	4	44.44
	YOL VER	10	9	90.00
	DUR	2	1	0.00
TOPLAM	ÜÇGEN	95	45	47.37
	DAİRESEL	120	45	37.50
	YOL VER	33	13	39.39
	DUR	23	12	52.17

Tablo 4.5 Tanıma Tablosu (Set-2)

TEST GRUBU	İŞARET TÜRÜ	TANINAN SAYISI	DOĞRU SINIFLANDIRILAN	TANINANLARDA SINIFLANDIRMA YÜZDESİ (%)
ILLUMINATION (KÖTÜ- AYDINLANMIŞ)	ÜÇGEN	6	4	66.67
	DAİRESEL	7	2	28.57
	YOL VER	2	2	100.00
	DUR	1	0	0.00
OCCLUSION (ENGELLENMİŞ)	ÜÇGEN	12	2	16.67
	DAİRESEL	6	3	50.00
	YOL VER	0	0	0.00
	DUR	1	0	0.00
TRANSLATION (ÖTELENMİŞ)	ÜÇGEN	7	3	42.86
	DAİRESEL	12	5	41.67
	YOL VER	2	2	100.00
	DUR	3	0	0.00
ROTATION (DÖNMÜŞ)	ÜÇGEN	3	2	66.67
	DAİRESEL	3	3	100.00
	YOL VER	0	0	0.00
	DUR	6	2	33.33
SHADOW (GÖLGELİ)	ÜÇGEN	15	6	40.00
	DAİRESEL	13	7	53.85
	YOL VER	0	0	0.00
	DUR	0	0	0.00
DEFORMED (HASARLI)	ÜÇGEN	2	1	50.00
	DAİRESEL	4	2	50.00
	YOL VER	9	4	0.00
	DUR	1	0	0.00
TOPLAM	ÜÇGEN	45	18	40.00
	DAİRESEL	45	22	48.89
	YOL VER	13	8	61.54
	DUR	12	2	16.67

Tablo 4.6 Sınıflandırma Tablosu (Set-2)

GRAM test seti daha önce yapılan iki çalışmada kullanılmıştır. İlk çalışmada farklı yöntemler kullanılarak sadece tanıma oranları bulunmuştur [16]. İkinci çalışmada ise tanıma ve farklı yöntemler ile sınıflandırma oranları bulunmuştur [17].

Bu tezde geliştirilen uygulamada alınan sonuçlar, diğer iki çalışmada geliştirilen uygulamalardan alınan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Tablo 4.7’de HSV renk uzayında kırmızı çerçeveli trafik işaretleri için bulunan tanıma oranları gösterilmiştir.

Tablo 4.8’de RGB renk uzayında şablon eşleme yöntemi ile bulunan sınıflandırma oranları gösterilmiştir. Referans[17]’de yapılan çalışmada sadece üçgen işaretler için sınıflandırma yapılmıştır, o yüzden karşılaştırma tablosu sadece üçgen trafik işaretlerini ve yol ver işaretlerini içermektedir.

Karşılaştırma tablosunda farklı sonuçların elde edilmesinin temel sebebi farklı eğitim setinin kullanılması ve resimler içerisinden test amaçlı tespit edilen trafik işaretlerinin subjektif olarak sayılmasıdır.

TEST GRUBU	YER ALDIĞI ÇALIŞMA	İŞARET TÜRÜ	RESİMDEKİ SAYISI	TANINAN SAYISI	TANIMA YÜZDESİ (%)
ILLUMINATION	Geliştirilen	RED	33	16	48.48
	[16]	RED	50	30	60.00
	[17]	RED	60	25	41.67
OCCLUSION	Geliştirilen	RED	55	19	34.55
	[16]	RED	62	38	61.29
	[17]	RED	66	21	31.82
TRANSLATION	Geliştirilen	RED	50	24	48.00
	[16]	RED	48	33	68.75
	[17]	RED	55	23	41.82
ROTATION	Geliştirilen	RED	40	12	30.00
	[16]	RED	30	18	60.00
	[17]	RED	21	7	33.33
SHADOW	Geliştirilen	RED	67	28	41.79
	[16]	RED	64	45	70.31
	[17]	RED	64	26	40.63
DEFORMED	Geliştirilen	RED	26	16	61.54
	[16]	RED	24	14	58.33
	[17]	RED	24	18	75.00
TOPLAM	Geliştirilen	RED	271	115	42.44
	[16]	RED	278	178	64.03
	[17]	RED	290	120	41.38

Tablo 4.7 Tanıma Oranlarının Diğer Çalışmalar ile Karşılaştırılması

TEST GRUBU	YER ALDIĞI ÇALIŞMA	İŞARET TÜRÜ	TANINAN SAYISI	DOĞRU SINIFLANDIRILAN	SINIFLANDIRMA YÜZDESİ (%)
ILLUMINATION	Geliştirilen	RED	8	6	75.00
	[17]	RED	14	9	64.29
OCCLUSION	Geliştirilen	RED	12	2	16.67
	[17]	RED	5	3	60.00
TRANSLATION	Geliştirilen	RED	9	5	55.56
	[17]	RED	9	7	77.78
ROTATION	Geliştirilen	RED	3	2	66.67
	[17]	RED	3	1	33.33
SHADOW	Geliştirilen	RED	15	6	40.00
	[17]	RED	10	2	20.00
DEFORMED	Geliştirilen	RED	11	5	45.45
	[17]	RED	12	11	91.67
TOPLAM	Geliştirilen	RED	58	26	44.83
	[17]	RED	53	33	62.26

Tablo 4.8 Sınıflandırma Oranlarının Diğer Çalışma ile Karşılaştırılması

### 4.3 Değerlendirme

Yapılan testler sonucunda, farklı test gruplarında tanıma ve sınıflandırma oranlarının beklenenden daha düşük olduğu görülmüştür. Testlerde karşılaşılan sorunları farklı kategorilerde inceleyebiliriz.

#### 4.3.1 Eğitim Setinde Olmayan veya Farklı Formatta İşaretler

Birinci ve temel sorun, resimler içerisinde yer alan trafik işaretlerinden bazılarının eğitim setinde yer almamasıdır.

Örneğin, “Yüksekliği ... Metreden Fazla Olan Taşıt Giremez” işaretinin 4.5m, 5.0m ve 5.5m yüksekliği gösterenleri eğitim setinde yoktur. Aşağıda test setine ait resimlerden alınan örnek işaretler gösterilmektedir.



Şekil 4.1 “Yüksekliği ... Metreden Fazla Olan Taşıt Giremez” işareti test setinden örnekler.

Örneğin, “Azami Hız Sınırlaması” işaretinin 90 ve 100 için hazırlanmış eğitim setinde yoktur. Aşağıda test setine ait resimlerden alınan örnek işaretler gösterilmektedir.



Şekil 4.2 “Azami Hız Sınırlaması” işareti test setinden örnekler.

İkinci sorun trafik işaretlerinde belirli bir standartın kullanılmamasıdır. Aynı trafik işaretini anlatan birden fazla farklı formatı olabilir.

Örneğin, “Yaya Geçidi” işaretinin birden farklı formatı var. Aşağıda eğitim setinde yer alan işaret ve test setine ait resimlerden alınan örnek işaretler gösterilmektedir.



Şekil 4.3 “Yaya Geçidi” işareti eğitim seti ve test setinden örnekler.

Örneğin, “Işıklı İşaret Cihazı” işaretinin birden farklı formatı var. Aşağıda eğitim setinde yer alan işaret ve test setine ait resimlerden alınan örnek işaretler gösterilmektedir.





Şekil 4.4 “Işıklı İşaret Cihazı” işareti eğitim seti ve test setinden örnekler.

Örneğin, “Öndeki Taşıtı Geçmek Yasaktır” işaretinin birden farklı formatı var. Aşağıda eğitim setinde yer alan işaret ve test setine ait resimlerden alınan örnek işaretler gösterilmektedir.



Şekil 4.5 “Öndeki Taşıtı Geçmek Yasaktır” işareti eğitim seti ve test setinden örnekler.

Örneğin, “Azami Hız Sınırlaması 30” işaretinin birden farklı formatı var. Aşağıda eğitim setinde yer alan işaret ve test setine ait resimlerden alınan örnek işaretler gösterilmektedir.



Şekil 4.6 “Azami Hız Sınırlaması 30” işareti eğitim seti ve test setinden örnekler.

Örneğin, “Azami Hız Sınırlaması 50” işaretinin birden farklı formatı var. Aşağıda eğitim setinde yer alan işaret ve test setine ait resimlerden alınan örnek işaretler gösterilmektedir.

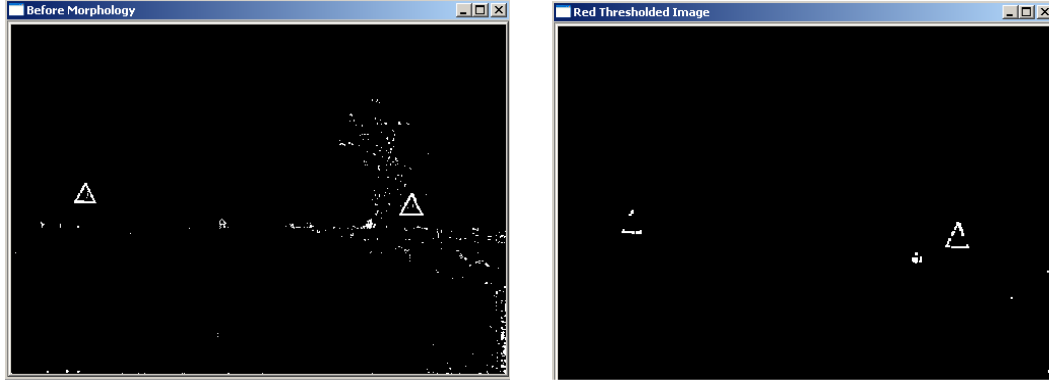


Şekil 4.7 “Azami Hız Sınırlaması 30” işareti eğitim seti ve test setinden örnekler.

#### 4.3.2 Morfolojik İşlemler Sonucu Elenen İşaretler

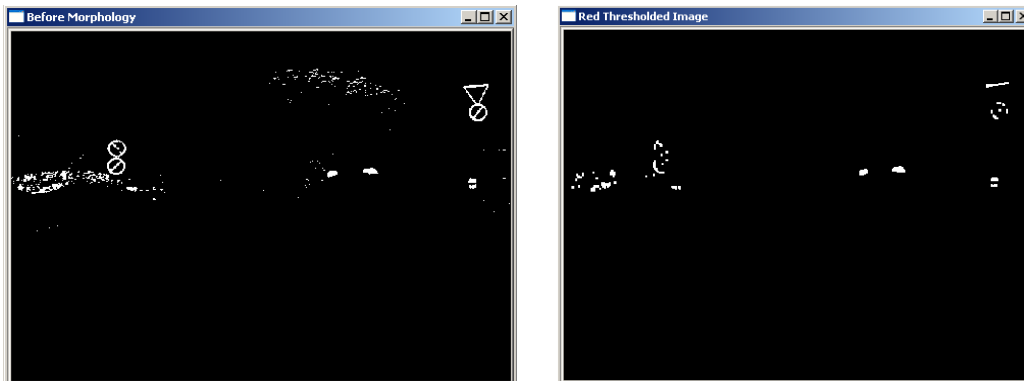
Uzakta tespit edilen veya aydınlanma sorunu nedeni ile tek parça konturu bulunamayan işaretlerde morfolojik işlemler sonucu veri kaybı olmaktadır. Eni ve boyu 15 piksel den daha küçük olan konturlar yani aday işaretler ele alınmamaktadır.

Aşağıdaki şekilde eşiklemeden sonra elde edilen iki tane üçgen işareti morfolojik işlemlerden sonra veri kaybına uğramıştır ve aday işaret olarak değerlendirilmemiştir.



Şekil 4.8 Test Setinden örnek resim; morfolojik işlemden önce ve sonra.

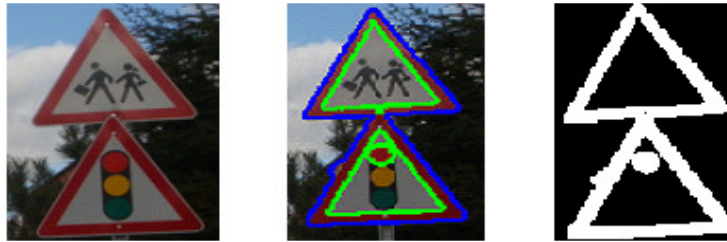
Aşağıdaki şekilde eşiklemeden sonra elde edilen üç tane daire işareti ve bir tane yol ver işareti morfolojik işlemlerden sonra veri kaybına uğramıştır ve aday işaret olarak değerlendirilmemiştir.



Şekil 4.9 Test Setinden örnek resim; morfolojik işlemden önce ve sonra.

### 4.3.3 Birleşmiş İşaretler

Bir trafik işareti direği veya platformu üzerinde birden fazla trafik levhası üst üste, yan yana yer alarak kenarları birbirine değdiğinde veya kestiğinde, tek parça kontur olarak bulunmaktadır ve aday işaret olmadan elenmektedir.



Şekil 4.10 Test Setinden örnek birleşmiş resim ve tek parça konturu.



Şekil 4.11 Test Setinden örnek birleşmiş resim ve tek parça konturu.

## BÖLÜM 5

### ÖNERİLER

Yapılan araştırmalar ve testler sonucunda trafik işareti tanımadaki en önemli noktanın resim içerisinde trafik işaretinin olduğu bölgeyi bulabilmek olduğu görülmüştür. Trafik işaretinin bulunduğu bölge tespit edildikten sonra trafik işareti resim içerisinden ayrılıp, herhangi bir sınıflandırma yöntemi kullanılarak eğitim seti ile karşılaştırılabilir.

Trafik işaretlerinin karakteristik özellikleri renkleri ve şekilleri olduğu için temel olarak bu iki yöneme dayalı uygulamalar geliştirilmektedir. Renk tabanlı yaklaşımlar daha hızlı olduğu için çoğunlukla tercih edilmektedir. Fakat ışık ve kötü hava koşullarından da en fazla etkilenmektedir. HSV ve YUV renk uzayları daha başarılıdır fakat RGB'den dönüşüm fazla işlemci ve hafıza gücü gerektirmektedir.

Hough Circle Transform kompleks algoritmalar kullandığı için, zaman, işlemci ve hafıza kriterleri yüzünden gerçek zamanlı uygulamalarda tercih edilmemektedir.

Uygulamanın eksik yönleri ve eklenebilecek özellikler aşağıda anlatılmıştır.

#### 5.1 Uygulamanın Eksik Yönleri

- Sadece daha önceden kaydedilmiş görüntü dosyaları kullanılıyor.
- Yeşil ve mavi renkli trafik işaretleri incelenmiyor, sadece kırmızı çerçevesi üçgen ve daire işaretler inceleniyor.
- Resim içerisinde çok sayıda kırmızı bölge olması bulunan kontur sayısını çok fazla artırıyor ve istenilen konturları ayırmak hatalı seçimlere neden olabiliyor.
- Çok sayıda kontur daha fazla işlemci gücü gerektiriyor.
- Birleşmiş resimler tek parça algılanıyor ve eleniyor.
- Trafik işareti üzerinde konturu kesen bir gürültü var ise kontur iki seviye bulunamıyor.

- Trafik işareti iki farklı bölgeden bölünmüş ise işaret iki parçayı çerçeveleyen dikdörtgenler olarak ele alınıyor.
- Morfolojik işlemler bilgi kaybına yol açabiliyor.

## 5.2 Uygulamaya Eklenebilecek Özellikler

- Gerçek zamanlı olarak video kameradan alınan görüntü üzerinde çalışılabilir.
- Video görüntüsünde bulunan işaretin takip edilmesi çalışılabilir.
- Yeşil ve mavi kenarlı trafik işaretleri de incelenebilir.
- CHT ve normal kontur bulma yöntemi entegre çalıştırılabilir.
- Distance transform kullanılarak sonuçlar iyileştirilebilir.
- Dönmüş resimler için dönmeden bağımsız (rotation invariant) özellikler incelenebilir.
- Her şeklin farklı formatları eğitim setine eklenebilir.
- Veri tabanına dönmüş ve kaymış resimler eklenebilir.
- Eğitim seti, test resimlerinden kesilip normalize edilerek oluşturulabilir.
- Her şeklin farklı hava koşullarındaki görünümleri eğitim setine eklenebilir.
- Hough Line Transform kullanılarak üçgenlerin kenarları ve köşe noktaları bulunabilir.
- Üçgenlerin köşe noktaları bulunursa transformasyon matrisleri dinamik olarak oluşturulabilir.
- Birden fazla trafik işareti içeren bütünleşik levhalar içindeki işaretler bölünerek incelenebilir.
- Kötü hava koşullarında ve gece koşullarında değişebilecek uyarlanabilir parametreler kullanılabilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] K. Mak, “Windshield Cameras Offer Potential Growth For Traffic Sign Recognition Systems,” April 27, 2009.
- [2] J. Miura, T. Kanda, Y. Shirai, “An Active Vision System for Real-Time Traffic Sign Recognition,” IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings, Dearborn (MI), USA, October 1-3, 2000.
- [3] “Opel Cars Can See: Opel Eye camera reads signs, improves safety,” June 18, 2008, <http://www.automobilesreview.com/auto-news/opel-cars-can-see-opel-eye-camera-reads-signs-improves-safety/2309/>.
- [4] A. de la Escalera, L. E. Moreno, M. A. Salichs, J. M. Armigol, “Road Traffic Sign Detection and Classification,” Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 44, No. 6. pp. 848-859, 1997.
- [5] A. Broggi, P. Cerri, P. Medici, P.P. Porta, “Real Time Road Signs Recognition,” Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium Istanbul, Turkey, June 13-15, 2007.
- [6] H. Shojania, “Real Time Traffic Sign Detection,” Queen’s University, Kingston, Ontario, Canada, Computer Vision Lecture Final Project, 2003, <http://hassan.shojania.com/>.
- [7] [http://www.ncsu.edu/scivis/lessons/colormodels/color\\_models2.html](http://www.ncsu.edu/scivis/lessons/colormodels/color_models2.html).
- [8] [http://www.elbistan.pol.tr/elbi/Trafik/trafik\\_isaretleri.htm](http://www.elbistan.pol.tr/elbi/Trafik/trafik_isaretleri.htm).
- [9] A. de la Escalera, J. Armingol, and M. Mata, “Traffic Sign Recognition and Analysis for Intelligent Vehicles,” Image and Vision Comput., Vol. 21, pp. 247-258, 2003.
- [10] G. Piccioli, E. De Micheli, P. Parodi, and M. Campani, “Robust method for road sign detection and recognition,” Image and Vision Computing, vol.14(3) , pp.209–223, April 1996.

- [11] Sin-Yu Chen, Jun-Wei Hsieh, "Boosted Road Sign Detection And Recognition" Machine Learning and Cybernetics, 2008 International Conference on , vol.7, no., pp.3823-3826, 12-15 July 2008.
- [12] P. Paclik, J. Novovicova, "Road Sign Classification without Color Information," Proceedings of the 6th Conference of Advanced School of Imaging and Computing, 2000.
- [13] A. Ruta, Y. Li, X. Liu, "Towards Traffic Sign Recognition by Class-Specific Discriminative Features," British Machine Vision Conference, Warwick, UK 2007.
- [14] M. Van Droogenbroeck, M. Buckley, "Morphological erosions and openings: fast algorithms based on anchors," Journal of Mathematical Imaging and Vision, vol. 22, pp. 121–142, May 2005.
- [15] Alcalá de Henares (Madrid, Spain) Universidad de Alcalá  
<http://roadanalysis.uah.es>.
- [16] Emre Ulay, "Color and Shape Based Traffic Sign Detection," MSc Thesis, METU, November 2008.
- [17] Ufuk Suat Aydın, "Traffic Sign Recognition," MSc Thesis, METU, May 2009.



## EK AÇIKLAMALAR-A

## ÜÇGEN İŞARETLER İÇİN TRANSFORMASYON MATRİSLERİ



Sola 4 derece dönmüş

$$TM_{RL4} = \begin{bmatrix} 0.99360 & -0.06269 & 3.13432 \\ 0.10447 & 1.02388 & -2.19403 \end{bmatrix}$$



Sağa 4 derece dönmüş

$$TM_{RR4} = \begin{bmatrix} 0.99481 & 0.06355 & -2.85992 \\ -0.08473 & 1.03804 & -2.19403 \end{bmatrix}$$



Sola 8 derece dönmüş

$$TM_{RL8} = \begin{bmatrix} 1.00088 & -0.11968 & 4.98315 \\ 0.17375 & 1.04255 & -3.30142 \end{bmatrix}$$



Sağa 8 derece dönmüş

$$TM_{RR8} = \begin{bmatrix} 0.97865 & 0.13072 & -5.35972 \\ -0.17430 & 1.06758 & 5.22899 \end{bmatrix}$$



Sola 12 derece dönmüş

$$TM_{RL12} = \begin{bmatrix} 0.96430 & -0.17492 & 8.57117 \\ 0.21865 & 1.07139 & -3.49844 \end{bmatrix}$$



Sağa 12 derece dönmüş

$$TM_{RR12} = \begin{bmatrix} 0.95630 & 0.17842 & -6.60173 \\ -0.26763 & 1.09285 & 8.56440 \end{bmatrix}$$



Sola 10 derece kaymış

$$TM_{SL10} = \begin{bmatrix} 0.83333 & 0.00000 & 0.83333 \\ 0.00000 & 1.00000 & 0.00000 \end{bmatrix}$$



Sağa 10 derece kaymış

$$TM_{SR10} = \begin{bmatrix} 0.83333 & 0.00000 & 0.00000 \\ 0.00000 & 1.00000 & 0.00000 \end{bmatrix}$$



Sola 15 derece kaymış

$$TM_{SL15} = \begin{bmatrix} 0.76916 & 0.00000 & 11.76833 \\ 0.00000 & 1.00000 & 0.00000 \end{bmatrix}$$



Sağa 15 derece kaymış

$$TM_{SR15} = \begin{bmatrix} 0.76916 & 0.00000 & 0.00000 \\ 0.00000 & 1.00000 & 0.00000 \end{bmatrix}$$



Yukarı 15 derece kaymış

$$TM_{SU15} = \begin{bmatrix} 1.00000 & 0.00000 & 0.00000 \\ 0.00000 & 0.76916 & 11.76833 \end{bmatrix}$$



Aşağı 8 derece kaymış

$$TM_{SD8} = \begin{bmatrix} 0.94872 & 0.00000 & 1.00000 \\ 0.00000 & 0.86213 & 0.00000 \end{bmatrix}$$



Yukarı 20 derece kaymış

$$TM_{SU20} = \begin{bmatrix} 1.00000 & 0.00000 & 0.00000 \\ 0.00000 & 0.71426 & 14.28578 \end{bmatrix}$$

## EK AÇIKLAMALAR-B

## EĞİTİM SETİNDE KULLANILAN TRAFİK İŞARETLERİ



Şekil B.1 Üçgen trafik işaretleri.



Şekil B.2 Daire trafik işaretleri.



Şekil B.3 Yol ver ve Dur trafik işaretleri.