

Altuzay Yöntemleri İle Trafik İşareti Tanıma

Mustafa Özdamar

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2014

Traffic Sign Recognition
With Subspace Methods

Mustafa ÖZDAMAR

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Electrical and Electronics Engineering

August 2014

Altuzay Yöntemleri İle Trafik İşareti Tanıma

Mustafa Özdamar

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

Danışman: Doç.Dr. Rifat EDİZKAN

Ağustos 2014

ONAY

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Mustafa Özdamar'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Altuzay Yöntemleri İle Trafik İşareti Tanıma” başlıklı bu alışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Do. Dr. Rifat EDİZKAN

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Do. Dr. Rifat EDİZKAN

Üye : Prof. Dr. İdris DAĞ

Üye : Yrd. Do. Dr. Erol SEKE

Üye : Yrd. Do. Dr. Kemal ÖZKAN

Üye : Yrd. Do. Dr. Mehmet KO

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu tez çalışmasında görüntü işleme uygulamalarından biri olan ve sürücülere görsel olarak yardım sağlamak amacıyla geliştirilmeye çalışılan trafik işareti tanıma problemi üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmada, imge tanımlayıcıların trafik işaret tanımadaki başarımları altuzay temelli sınıflandırıcılar kullanılarak elde edilmiştir. Altuzay yöntemleri sınıflandırma başarımlarını en iyilerken aynı zamanda özellik uzayında boyut indirgeme de sağlarlar. İmgeler üzerindeki trafik işareti içeren bölgeden imge tanımlayıcıları ile öznitelik vektörleri elde edilir. Bu çalışmada, imge tanımlayıcı olarak griseviye, Yerel Gradyan Histogram (YGH), Yerel İkili Örüntü (YİÖ), Yerel Faz Kuantalama (YFK) ve Gabor imge tanımlayıcıları kullanılmıştır. Öznitelik vektörleri; Temel Bileşen Analizi (TBA), Doğrusal Ayırtaç Analizi (DAA) ve Ayırteci Ortak Vektör (AEOV) altuzay yöntemlerinde işlenerek trafik işareti tanıma yapılmıştır. Deneysel çalışmada üçgen ve dairesel işaret içeren veri tabanı kullanılmıştır. Veri tabanı ötelenmiş ve dönmüş trafik işaretleri de içermektedir. Altuzay temelli sınıflandırıcılarda tanıma performansları, şablon eşleme yöntemi ile karşılaştırılmıştır. En iyi başarımları AEOV altuzay yöntemi ve YGH imge tanımlayıcısı vermiştir. Üçgen ve dairesel işaretler için sırasıyla %98,38 ve %99,25 sınıflandırma başarımları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Trafik İşaret Tanıma, Altuzay Yöntemleri, İmge Tanımlayıcıları

SUMMARY

In this thesis, one of image processing applications and drivers which is being developed to provide a visual aid on the problem of traffic sign recognition has been studied. In this study, the performance of some image descriptors in traffic sign recognition is obtained using the subspace-based classifiers. The subspace methods make both dimension reduction in feature space and maximize the classification rate. The feature vectors are extracted from the images containing a traffic sign by image descriptors. Gray scale, Histogram of Oriented Gradients (HOG), Local Binary Patterns (LBP), and Local Phase Quantization (LPQ) are used as image descriptors in our study. The feature vectors are processed by the subspace methods, Principle Component Analysis (PCA), Linear Discriminant Analysis (LDA), and Discriminative Common Vector (DCV), for recognizing traffic signs. In the experimental study, the database containing triangular and circular signs was used. The database also includes shifted and rotated traffic signs. The recognition performances of the subspace-based classifiers were compared with the template matching method. The best classification performances are obtained for the HOG features and DCV method. The classification rates for triangular and circular signs are 98.38% and 99.25% respectively.

Keywords : Traffic Sign Recognition, Subspace Methods, Image Descriptors

TEŞEKKÜR

Gerek derslerimde ve gerekse tez alıŐmalarında, bana danıŐmanlık ederek, beni yÖnlendiren ve her tÖrlÖ olanağı sağlayan danıŐmanım Do. Dr. Rifat EDİZKAN'a teŐekkÖr ederim.

Tez alıŐması sÖresi boyunca beni sÖrekli destekleyerek yanımda olan sevgili eŐim SÖmeyye ÖZDAMAR'a, oğlum Ahmet İhsan ÖZDAMAR'a ve ok değerli aileme teŐekkÖr ederim.

İÇİNDEKİLER**Sayfa**

ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. TRAFİK İŞARETLERİNİ TANIMA SİSTEMİ.....	5
2.1 Trafik İşaretlerinin Standartları	5
2.2 Trafik İşaret Tanıma Literatür Özeti.....	8
2.2.1 Tespit Aşaması.....	8
2.2.2 Sınıflandırma Aşaması	10
2.2.3 Renk Analizi	13
2.2.4 Şekil Analizi	14
2.3 Trafik İşaretini Tanımının Zorlukları	16
3. VERİ TABANI VE GELİŞTİRİLEN UYGULAMADA KULLANILAN YÖNTEMLER	21
3.1 Veri Tabanı	21
3.2 Gerçek Resimlerle Oluşturulmuş Test Seti	24

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.3 Öznitelikler ve Öznitelik Çıkarımı.....	27
3.3.1 Griseviye.....	27
3.3.2 Yönlü Gradyan Histogramı	28
3.3.3 Yerel İkili Örüntü.....	31
3.3.4 Yerel Faz Kuantalama	32
3.3.5 YİÖ ve YFK	34
3.3.6 Gabor.....	35
3.4 Altuzay Yöntemleri.....	35
3.4.1 Temel Bileşenler Analizi.....	37
3.4.2 Doğrusal Ayırtaç Analizi.....	38
3.4.3 Ayırt Edici Ortak Vektör Yaklaşımı	40
3.5 Ön İşlemler	40
3.5.1 Renk Filtrelemesi.....	42
3.5.2 Aydınlatma Etkisinin azaltılması	47
3.5.3 Morfolojik İşlemlerin Uygulaması	51
3.5.4 Şekil Analizi.....	51
3.6 Şablon Eşleme.....	54
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	55
4.1 Yapay Trafik İşaretleri İle Yapılan Deneysel Çalışmalar	55
4.1.1 Gürültüsüz Eğitim ve Test Seti Uygulaması	57
4.1.2 Gürültülü Eğitim ve Test Seti Uygulaması	68
4.1.3 Gürültüsüz Eğitim Seti ve Gürültülü Test Seti Uygulaması.....	83

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.1.4 Gürültülü ve Gürültüsüz Veri Tabanı Deneylei	91
4.1.5 Altuzay Yöntemleri ile Şablon Eşleme Yönteminin Sınıflandırma Hızı Karşılaştırması	98
4.2 Gerçek Resimlerle Çalışma	100
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	109
6. KAYNAKLAR DİZİNİ	112

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Trafik İşaret Levhaları 4 (dört) temel özelliği.....	5
Şekil 2.2 Tehlike uyarı işaretlerine örnek (Gürbüz, 2010; http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TehlikeUyariIsaretleri.aspx , 2014) : a) Sağa tehlikeli viraj, b) Yaya geçidi ve c) Soldan ana yola giriş.	7
Şekil 2.3 Trafik tanzim işaretlerine örnek (Gürbüz, 2010; http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TehlikeUyariIsaretleri.aspx , 2014) : a) Yol ver, b) Kamyon giremez ve c) Sağa dönülmez.	7
Şekil 2.4 Bilgi işaretlerine örnek (http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TehlikeUyariIsaretleri.aspx , 2014) : a) Durak, b) İlk yardım ve c) Hastane.	7
Şekil 2.5 Duraklama ve park etme işaretlerine örnek (http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TehlikeUyariIsaretleri.aspx , 2014) : a) Park etmek yasaktır, b) Duraklamak ve park etmek yasaktır ve c) Park yeri. .	7
Şekil 2.6 Trafik İşareti Tanıma Sistemi Genel Yapısı.....	8
Şekil 2.7 Trafik işaret levhalarının ülkeden ülkeye farklılık göstermesi örnekleri (Gürbüz, 2010).....	18
Şekil 2.8 Birbirine renk ve şekil olarak benzeyen trafik işaret levhaları örnekleri.....	18
Şekil 2.9 Hasar görmüş trafik işaret levhaları.....	18
Şekil 2.10 Dönmüş trafik işaret levhaları	19
Şekil 2.11 Kötü aydınlatılmış trafik işaret levhaları	19
Şekil 2.12 Gölge etkisine maruz kalmış trafik işaret levhaları	19
Şekil 2.13 Engellenmiş trafik işaret levhaları	19
Şekil 2.14 Bütünleşik trafik işaret levhaları	20
Şekil 2.15 Kamera çekimi sorunlu trafik işaretleri	20
Şekil 3.1 Üçgen trafik işaretleri (Aydın, 2009; Gürbüz, 2010; Becer, 2011).....	22
Şekil 3.2 Dairesel trafik işaretleri (Aydın, 2009; Gürbüz, 2010; Becer, 2011)	22
Şekil 3.3 “Okul Geçiti” trafik işaretinin dönme imge şablonları (Aydın, 2009; Gürbüz, 2010; Becer, 2011): a) sola 6 derece b) sola 3 derece c) orjinal d) sağa 3 derece e) sağa 6 derece.....	23

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

Şekil 3.4 “Okul Geçiti” trafik işaretinin 8 farklı yöne +3 piksellik kayma imge şablonları (Aydın, 2009; Gürbüz, 2010; Becer, 2011)	23
Şekil 3.5 “Okul Geçiti” trafik işaretinin ortalaması $\mu = 0,0$ ve normal rastgele dağılımlı gürültü eklenmiş imge şablonları (Aydın, 2009; Gürbüz, 2010; Becer, 2011) : a) orijinal işaret b) $\sigma = 0,1$ standart sapmalı ve c) $\sigma = 0,2$ standart sapmalı.	24
Şekil 3.6 Üçgen işaret resim örnekleri (Gürbüz, 2010); a) düzgün, b) deforme olmuş, c) aydınlatma sorunlu, d) engellenmiş ve e) dönmüş.	26
Şekil 3.7 Dairesel işaret resim örnekleri (Gürbüz, 2010); a) düzgün, b) deforme olmuş, c) aydınlatma sorunlu, d) engellenmiş ve e) dönmüş.	26
Şekil 3.8 256 griseviye renk skalası (Gündüz, 2010).....	27
Şekil 3.9 24 Bit griseviye renk tonları (Akın, 2007).....	27
Şekil 3.10 Örnek trafik işareti: a) orijinal işaret ve b) griseviye dönüştürülmüş işaret..	28
Şekil 3.11 Örnek resmin gradyan gösterimleri: a) yatay gradyan ve b) dikey gradyan.	29
Şekil 3.12 Örnek resmin bölütlenmesi.	29
Şekil 3.13 Örnek resmin her bir bölütün YGH öznelikleri çıkarımı.	30
Şekil 3.14 Örnek resmin normalize edilmiş Yönlü Gradyan Histogramı (YGH).....	30
Şekil 3.15 Trafik İşareti için YİÖ Uygulaması.	32
Şekil 3.16 YİÖ ve YFK histogramı çıkarımı.	34
Şekil 3.17 RGB renk modeli ve kırmızı renk filtrelemesi: a) imgenin RGB uzayındaki görüntüsü, b) kırmızı renk filtrelemesi sonucu görüntüsü.....	43
Şekil 3.18 HSV renk sınıflandırma tabloları (Paclik and Novovicova, 2000).	44
Şekil 3.19 HSV renk modeli (Piccioli et al., 1996): a) HSV modelinde belirli bir Hue değeri için Saturation/Value kesiti, b) kırmızı Hue değerinde örnek Saturation/Value değişimleri.	45
Şekil 3.20 Örnek resmin HSV renk uzayında görüntüsü.....	46
Şekil 3.21 Örnek resmin Hue kanalının görüntüsü.	46
Şekil 3.22 Örnek resmin Saturation kanalının görüntüsü.	47
Şekil 3.23 Örnek resmin Value kanalının görüntüsü.	47

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

Şekil 3.24 HSV renk modeli ve kırmızı renk filtrelemesi: a) imgenin HSV uzayındaki görüntüsü, b) kırmızı renk filtrelemesi sonucu görüntüsü.....	47
Şekil 3.25 Farklı gamma değerleri için iletim seviyesi (kontrast artırımı) özellikleri (Galyamichev, 2010) : a) $\gamma < 1$, b) $\gamma > 1$, ve c) $\gamma = 1$	49
Şekil 3.26 RGB formatında aydınlanma etkisinin azaltılması (Galyamichev, 2010): a) Orijinal resim, b) $\gamma = 1$ değerinde aydınlanmış resim, c) $\gamma = 0,5$ değerinde aydınlanmış resim ve d) $\gamma = 2,5$ değerinde aydınlanmış resim.	50
Şekil 3.27 Kontrast yayma: a) orijinal resim, b) griseviye resim ve c) kontrastı yayılmış resim.	50
Şekil 3.28 “Kasisli Yol” trafik işaretine morfolojik işlemler uygulanması ve arka plan çıkarımı: a) orijinal, b) kırmızı renk filtreli, c) morfolojik işlem uygulanmış, d) çerçeve içi doldurulmuş ve e) arka plan çıkarılmış.	51
Şekil 3.29 “Kasisli Yol” trafik işareti a) 162x144 boyutlu, b) 101x91 boyutlu, c) 28x28 boyutlu ve d) 64x59 boyutlu.	52
Şekil 3.30 Seçilen imge: a) orijinal işaret, b) dairesel maske ve c) maskelenmiş işaret. 52	
Şekil 3.31 Binary üçgen 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) sağa 15 piksel, l) sağa 15 piksel, m) yukarı 15 piksel ve n) yukarı 20 piksel.	53
Şekil 3.32 Seçilen imge: a) orijinal işareti, b) üçgen maske ve c) maskelenmiş işaret... 53	
Şekil 4.1 Trafik İşaret Tanıma Blok Şeması.....	57
Şekil 4.2 Üçgen İşaretler için AEOV yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları ..	59
Şekil 4.3 Dairesel İşaretler için AEOV yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları	60
Şekil 4.4 Üçgen İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	60
Şekil 4.5 Dairesel İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları ...	61
Şekil 4.6 Üçgen İşaretler için TBA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları	61
Şekil 4.7 Dairesel İşaretler için TBA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları...	62
Şekil 4.8 Üçgen İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	62

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

Şekil 4.9 Dairesel İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	63
Şekil 4.10 Üçgen İşaretler için DAA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları ...	63
Şekil 4.11 Dairesel İşaretler için DAA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları	64
Şekil 4.12 Üçgen İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları.....	64
Şekil 4.13 Dairesel İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları....	65
Şekil 4.14 Üçgen İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	65
Şekil 4.15 Dairesel İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları.....	66
Şekil 4.16 Üçgen İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	70
Şekil 4.17 Dairesel İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları..	71
Şekil 4.18 Üçgen İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	71
Şekil 4.19 Dairesel İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	72
Şekil 4.20 Üçgen İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları.....	72
Şekil 4.21 Dairesel İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	73
Şekil 4.22 Üçgen İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	73
Şekil 4.23 Dairesel İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları.....	74
Şekil 4.24 Üçgen İşaretler için AEOV yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları	74
Şekil 4.25 Dairesel İşaretler için AEOV yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları	75
Şekil 4.26 Üçgen İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	75
Şekil 4.27 Dairesel İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları..	76
Şekil 4.28 Üçgen İşaretler için TBA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları ...	76
Şekil 4.29 Dairesel İşaretler için TBA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları.	77
Şekil 4.30 Üçgen İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	77
Şekil 4.31 Dairesel İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	78
Şekil 4.32 Üçgen İşaretler için DAA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları...	78
Şekil 4.33 Dairesel İşaretler için DAA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları	79
Şekil 4.34 Üçgen İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları.....	79
Şekil 4.35 Dairesel İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları....	80
Şekil 4.36 Üçgen İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	80

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

Şekil 4.37 Dairesel İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları.....	81
Şekil 4.38 Üçgen İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	86
Şekil 4.39 Dairesel İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları..	86
Şekil 4.40 Üçgen İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	87
Şekil 4.41 Dairesel İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	87
Şekil 4.42 Üçgen İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları.....	88
Şekil 4.43 Dairesel İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	88
Şekil 4.44 Üçgen İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	89
Şekil 4.45 Dairesel İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları.....	89
Şekil 4.46 Üçgen İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	93
Şekil 4.47 Dairesel İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları..	94
Şekil 4.48 Üçgen İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	94
Şekil 4.49 Dairesel İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	95
Şekil 4.50 Üçgen İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları.....	95
Şekil 4.51 Dairesel İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları....	96
Şekil 4.52 Üçgen İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları	96
Şekil 4.53 Dairesel İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları.....	97
Şekil 4.54 Trafik İşareti Tanıma Sistemi Blok Şeması	100
Şekil 4.55 AEOV yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal aday trafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti	103
Şekil 4.56 AEOV yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal aday trafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti	104
Şekil 4.57 TBA yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal aday trafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti.....	104
Şekil 4.58 TBA yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal aday trafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti	104
Şekil 4.59 DAA yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal adaytrafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti	105

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**Sayfa**

Şekil 4.60 DAA yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal aday trafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti	105
Şekil 4.61 ŞE yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal aday trafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti	105
Şekil 4.62 ŞE yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal aday trafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Gerçek Resimlerle Oluşturulmuş Test Setleri İmge Sayıları	25
Çizelge 3.2 HSV renk değerleri (Can Kuş, 2008).....	46
Çizelge 4.1 Deneylede Kullanılan Veri Grubu.....	56
Çizelge 4.2 Üçgen İşaretler için Eğitim Seti Tanıma Sonuçları	58
Çizelge 4.3 Dairesel İşaretler için Eğitim Seti Tanıma Sonuçları	58
Çizelge 4.4 Üçgen İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları	59
Çizelge 4.5 Dairesel İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları	59
Çizelge 4.6 Üçgen İşaretler için Eğitim Seti Tanıma Sonuçları	69
Çizelge 4.7 Dairesel İşaretler için Eğitim Seti Tanıma Sonuçları	69
Çizelge 4.8 Üçgen İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları	69
Çizelge 4.9 Dairesel İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları	70
Çizelge 4.10 Üçgen İşaretler için Eğitim Seti Tanıma Sonuçları	84
Çizelge 4.11 Dairesel İşaretler için Eğitim Seti Tanıma Sonuçları	84
Çizelge 4.12 Üçgen İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları	85
Çizelge 4.13 Dairesel İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları	85
Çizelge 4.14 Deneylede Kullanılan Veri Grubu	92
Çizelge 4.15 Üçgen İşaretler için Eğitim Seti Tanıma Sonuçları	92
Çizelge 4.16 Dairesel İşaretler için Eğitim Seti Tanıma Sonuçları	92
Çizelge 4.17 Üçgen İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları	93
Çizelge 4.18 Dairesel İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları	93
Çizelge 4.19 Altuzay Yöntemlerinin Sınıflandırma Süreleri	99
Çizelge 4.20 Üçgen İşaretler için Tanıma Sonuçları.....	101
Çizelge 4.21 Dairesel İşaretler için Tanıma Sonuçları.....	101
Çizelge 4.22 Üçgen İşaretler için Tanıma Sonuçları.....	102
Çizelge 4.23 Dairesel İşaretler için Tanıma Sonuçları.....	103
Çizelge 4.24 Üçgen İşaretler için Sınıflandırma Sonuçları	106
Çizelge 4.25 Dairesel İşaretler için Sınıflandırma Sonuçları	107
Çizelge 4.26 Üçgen İşaretler için Sınıflandırma Sonuçları	107

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)**Çizelge****Sayfa**

Çizelge 4.27 Dairesel İşaretler için Sınıflandırma Sonuçları 108

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
TBA	Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis - PCA)
DAA	Doğrusal Ayırtaç Analizi (Linear Discriminant Analysis - LDA)
AEOV	Ayırt Edici Ortak Vektör (Discriminative Common Vector - DCV)
YİÖ	Yerel İkili Örüntü (Local Binary Pattern - LBP)
YFK	Yerel Faz Kuantalama (Local Phase Quantization - LPQ)
YGH	Yönlü Gradyan Histogramı (Histogram Oriant of Gradient - HOG)
RGB	Red Green Blue (Kırmızı Yeşil Mavi)
HSV	Hue Saturation Value
YUV	Luma Blue–Luminance Red–Luminance (PAL)
DT	Distance Transform (Uzaklık Dönüşümü)
CDT	Color Distance Transform (Renk Uzaklık Dönüşümü)
GA	Genetic Algorithm (Genetik Algoritma)
DVM	Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine - SVM)
MBT	Maksimum Benzerlik Teorisi (Maximum Likelihood Theory - MLT)
SIFT	Scale Invariant Feature Transform (Ölçekten Bağımsız Öznitelik Dönüşümü)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
ROI	Region of Interest (İlgi Bölgesi)
SURF	Speeded Up Robust Feature (Hızlandırılmış Dayanımlı Öznitelikler)
ŞE	Şablon Eşleme (Template Mathching - TM)
LESH	Local Energy Based Shape Histogram (Şekle Dayanan Yerel Bölge Enerji Histogramı)
TDA	Tekil Değer Ayrışması (Singular Value Decomposition - SVD)
DHD	Dairesel Hough Dönüşümü (Circular Hough Transform - CHT)
HD	Hough Dönüşümü (Hough Transform - HT)
NEKF	Normalize Edilmiş Kareler Farkı (Normalized Square Difference)
NEÇK	Normalize Edilmiş Çapraz Korelasyon (Normalized Cross Correlation)
G-2010-ŞE	(Gürbüz, 2010) Çalışmasındaki Şablon Eşleme Yöntemine Göre Sınıflandırma Sonuçları

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Otomotiv sektöründeki teknolojik gelişmelere paralel olarak araç sayısının artması, kullanılan yolların sayısının ve karışıklığının artmasına dolayısı ile sürücülere kolaylık sağlamak amaçlı birçok trafik işaretinin kullanımına neden olmuştur (Gürbüz, 2010). Ulaşımında can ve mal güvenliliğinin sağlanması için sürücülerin trafik kurallarına ve işaretlerine uymalıdır. Fakat taşıt sayısındaki artış, yollardaki sıkışıklık ve değişkenlik ve çevresel etkilerden dolayı sürücülerin kurallara uymamasından kaynaklanan kazalar meydana gelmektedir. Bu kazalardan bir kısmı da trafik işaretlerinin görülmemesi ile ilgilidir. Trafik işareti tanıma sistemlerinin amacı yol üzerindeki işaretleri sürücüye bildirmek ve bu şekilde sürücünün kontrollü ve güvenli bir sürüş yapmasını sağlamaktır. Bu sistemler araçlarda standart donanım olabileceği gibi harici olarak da araca eklenebilmektedir. Trafik işareti tanıma sistemleri sürücünün dalgınlık, dikkatsizlik, uykusuzluk gibi nedenlerden dolayı trafik işaretini fark edememesi durumunda devreye girerek sürücüyü uyarmaktadır.

Sürüş sırasında meydana gelebilecek sürücü temelli yanlış kararları veya kazaların sayısını en aza indirmek amacıyla daha akıllı araçlar tasarlamak, günümüzde üzerinde en çok çalışılan konularından biridir. Bu akıllı araç tasarımına uygun olan çeşitli araştırma konularından biri de Trafik İşareti Tanıma konusudur (Aydın, 2009). Trafik İşareti Tanıma konusuna ilişkin yoğun araştırmalar bugünlerde dünya üzerinde hem akademik, hem de endüstriyel gruplar tarafından yapılmaktadır. Bu araştırmalarda sonucu ortaya çıkan en önemli tespit; insanların sürücü olarak trafikte hala en önemli faktör olmalarıdır (Ruta et al., 2010).

Araba üreticileri sürücülere, trafik işaretleriyle belirtilmiş kısıtlamaları, tehlikeleri ve diğer bilgileri önceden hatırlatmak veya onları uyarmak için Trafik İşareti Tanıma sistemleri üzerine yoğunlaşmışlardır. Trafik İşaret Tanıma sistemlerinin 2007 yılında ilk kez kullanıldığı BMW 7-Serisi ve akabindeki Mercedes S-Serisi araçlardaki

trafik işareti tanıma sistemleri sadece son derece dar ve semantik bir trafik işaret kategorisi olan hız sınırlayıcı işaretlerini tespit etmeye odaklanmışlardır (http://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_sign_recognition, 2014). Son yıllarda bu durum az da olsa değişme göstermeye başlamıştır. 2011 yılında dünyanın en büyük araba üreticisi olan Volkswagen Phaeton modelinde kısıtlayıcı trafik işaretlerini tespit eden bir Trafik İşaret Tanıma sistemi duyurmuştur (Becer, 2011). Uyarıcı trafik işaretlerininide tanıyan ikinci nesil trafik işaret tanıma sistemi olarak adlandırılan sistemler Volkswagen Phaeton modelinin yanısıra Opel Insignia, Opel Astra, Audi A-8, Saab 9-5, Ford Focus (sadece Avrupa modelinde), Volvo S80, V70, XC70, XC60, S60, V60, ve V40 araba modellerinde kullanılmaktadır (http://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_sign_recognition, 2014).

Her gün trafikte, sokaklarda ve caddelerde gördüğümüz trafik işaret levhalarının eşkenar üçgen, daire, altıgen, kare gibi belirli geometrik şekilleri ve kırmızı-beyaz, mavi-beyaz gibi belirli renk kombinasyonları vardır. Trafik işaret levhalarında uyararak, ikaz etmek, yasaklamak veya kısıtlamak amacıyla genellikle eşkenar üçgen ve dairesel şekilli kırmızı bir çerçeve ve siyah piktogramlar kullanılır. Trafik işaret levhalarında talimat ve bilgi vermek için genelde mavi bir çerçeve ve beyaz piktogramlar kullanılır.

Trafik işareti tanıma uygulamasında bilgisayarlı görüntüleme yöntemleri kullanılmaktadır. Birçok uygulama; trafik işaretinin tespiti ve trafik işaretinin sınıflandırılması aşamalarından oluşmaktadır. Trafik işaretinin tespiti aşamasında kamera görüntüsü içinden olası trafik levhalarının yerleri belirlenir. Trafik işaretlerinin doğal ortamda bulunmayan renk ve şekillerle tasarlanması, yazıların ve sembollerinin yüksek kontrasta sahip olması, bu işaretlerin algılanabilirliğini ve tespitini kolaylaştırmıştır. Fakat trafik işaret levhaları üzerindeki ışık şiddeti farklılığı, gölgeleme etkisi, işaret levhasının engellenmiş, kırılmış ve dönmüş olması kamera ve çekim kaynaklı gürültü etkisi, poz farklılıkları ve uzaklık yakınlık sorunu işaretlerin tespitini ve tanınmasını zorlaştırmaktadır.

Tezde trafik işaret tanınmanın sınıflandırma aşamasına yoğunlaşmıştır. Arabalarda kullanılan trafik işaret sistemleri eşkenar üçgen ve dairesel şekilli olan kırmızı

çerçevesi, uyarı ve tanzim işaretlerine odaklandıkları için bu tezde sadece kırmızı çerçevesi üçgen ve dairesel trafik işaretlerine yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmada bilgisayarlı görüntüleme uygulamalarında kullanılan öznelikler ve örüntü tanıma yöntemleri kullanılmaktadır. Öznelik vektörlerinin boyutları azaltmak, gereksiz verileri atmak ve daha ayırıcı öznelikleri öne çıkarmak için altuzay yöntemleri kullanılmıştır. Altuzay temelli yöntemler öznelik uzayında boyut indirgeme yapmakta ve ayrıca sınıflama için ayırt edici özellikleri seçmektedir. Trafik işareti tanıma için altuzay temelli yöntemler ile çalışmalar yapılmıştır (Fleyeh and Davami, 2011; Lim, 2010). Bu çalışmalarda TBA ve DAA yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir (Fleyeh and Davami, 2011; Lim, 2010). Bu tez için geliştirilen uygulamada altuzay yöntemleri olarak daha önceki çalışmalarda kullanılmış olan “Temel Bileşenler Analizi (TBA)”, “Doğrusal Ayırıcı Analiz (DAA)” ve daha önce trafik işareti tanıma için kullanılmayan ama literatürde görüntü tanıma az veri durumunda başarılı sonuçlar veren “Ayırt Edici Ortak Vektör (AEOV)” altuzay yöntemi de kullanılmıştır. Altuzay yöntemlerinin trafik işaretlerinin sınıflandırma aşamasındaki başarımları “Şablon Eşleme” yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

Bu tezdeki temel amaç; trafik işareti tanıma farklı özneliklerin ve farklı altuzay yöntemlerinin trafik işaretlerinin sınıflandırma performansına etkilerini incelemektir. Ayrıca bu farklı öznelikleri ve altuzay yöntemlerini birbirleri ile karşılaştırarak herhangi bir özneliğe karşı düşen en uygun altuzay yöntemini bulmaktır. Amacımızda yüksek tanıma performansı elde etmek ön planda değildir. Amacımızı yönelik çalışmalar yaparken öznelikler ve altuzay yöntemleri için en uygun parametre değerleri de bulunmaya çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda trafik işareti tanıma için bir Matlab uygulaması geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında öznelik olarak daha önceki trafik işareti tanıma çalışmalarda kullanılmış olan Griseviye, Yönlü Gradyan Histogramı (YGH) ve Gabor öznelikleri kullanılmıştır. Ayrıca daha önceki trafik işareti tanıma çalışmalarda kullanılmamış olan Yerel İkili Örüntü (YİÖ) ve Yerel Faz Kuantalama (YFK) öznelikleri bu tez çalışmasında kullanılmıştır. Doku analizi, yüz tanıma gibi örüntü tanıma uygulamalarında kullanılan YİÖ aydınlanma sorununa dayanıklı olması nedeniyle bu çalışmada tercih edilmiştir. YFK ise gürültü sorununa dayanıklı olduğu için tercih

edilmiştir. Aynı zamanda bu iki yöntemin dayanıklı yönlerinden faydalanmak için iki yöntem normalize edilip birleştirilmiştir.

Tez çalışmasında hem yapay olarak üretilmiş, hem de gerçek resimlerden elde edilen trafik işaretleri kullanılmıştır. Her iki veri tabanı için altuzay yöntemlerinin performansı farklı öznelilikler için elde edilmiştir. Yapay olarak üretilmiş veri tabanı çalışmalarımızda hem eğitim, hem de test seti olarak kullanılmıştır. Gerçek resimlerle yapılan çalışmada; HSV renk uzayına dönüşüm, morfolojik işlemler ile resim iyileştirme, aydınlatma etkisinin azaltılması ve kontrast dengeleme, gürültü etkisinin azaltılması, resim bölütleme, hem RGB renk uzayı, hem de HSV renk uzayı için kırmızı renk filtrelemesi, arka plan süzgeçleme ve şekil sınıflandırma kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda sadece kırmızı çerçeveli; üçgen trafik işaretleri ile dairesel trafik işaretleri test edilmiştir. Test aşamasında elde edilen sınıflandırma sonuçları G-2010-ŞE'deki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde trafik işaret tanıma sistemi ve üçüncü bölümünde de uygulamada kullanılan öznelilik ve altuzay yöntemleri hakkında bilgiler verilmektedir. Dördüncü bölümde ise yapılan deneyler ve bunların karşılaştırılması çizelgeler ve şekiller halinde verilip deney sonuçları değerlendirilmiştir. Beşinci bölümde ise tezle çalışmasındaki genel sonuçlar değerlendirilip, bu tezin çalışma konusuna katkı yapacak öneriler sunulmuştur. Bu bölümde ayrıca geliştirilen uygulamanın eksik yönleri de belirtilmiştir.

BÖLÜM 2

TRAFİK İŞARETLERİNİ TANIMA SİSTEMİ

Akademik olarak trafik işaretlerini tanıma üzerine yapılan ilk çalışmalar 1960'ların sonlarına dayanmasına rağmen, önemli ilerlemeler video görüntü işlemenin daha kolay olduğu ve bilgisayar görüşüne dayalı sürücü destek fikrinin olgunlaştığı 1980'li ve 1990'lı yıllarda olmuştur (Ruta et al, 2010).

2.1 Trafik İşaretlerinin Standartları

Her gün trafikte, sokaklarda ve caddelerde gördüğümüz trafik işaret levhalarının diğer dış etmenlerden ayırt edilebilmelerini sağlayan belirli geometrik şekil ve renk özellikleri vardır. Trafik işaret levhaları temsil eden 4 (dört) farklı temel özellik vardır. Bunlar; işaret çerçevesinin şekli ve rengi, çerçeve içi dolgu rengi, her bir trafik işaretine özgü semboller olan piktogramın şekli ve renk dolgusu ile işaret levhasının genel şeklidir (Şekil 2.1). Bu 4 temel özelliğin tamamı veya bir kısmı farklı kombinasyonlarla biraraya getirilerek farklı semantik kategoriden trafik işareti sınıfları oluşturulur.

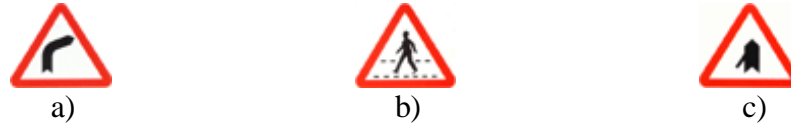


Şekil 2.1 Trafik İşaret Levhaları 4 (dört) temel özelliği

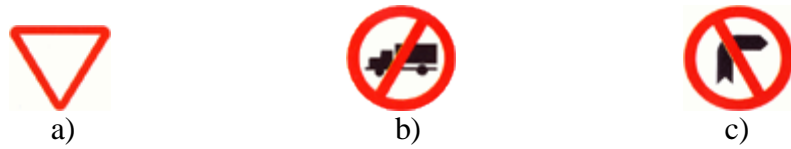
Örneğin; trafik işaret levhalarında uyararak, ikaz etmek, yasaklamak veya kısıtlamak amacıyla genellikle kırmızı bir çerçeve ve siyah piktogramlar kullanılır. Trafik işaret levhalarında talimat ve bilgi vermek için genelde mavi bir çerçeve ve beyaz piktogramlar kullanılır.

“Trafik İşaretleri Hakkında Yönetmelik” 1985 yılında Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından 18789 sayılı resmi gazete ile yayımlanmıştır (Gürbüz, 2010). Trafik işaret levhaları genel nitelikleri dört gruba ayrılmıştır: Tehlike Uyarı İşaretleri, Trafik Tanzim İşaretleri, Bilgilendirme İşaretleri ve Duraklama ve Park Etme İşaretleri (<http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TehlikeUyariIsaretleri.aspx>,2014)

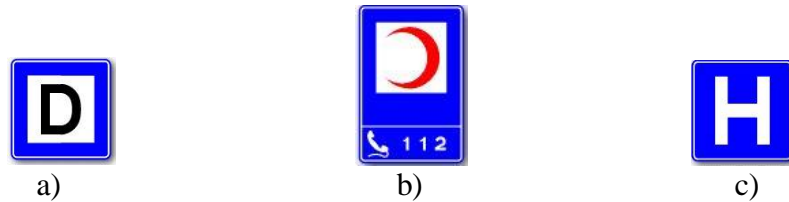
1. **Tehlikeli Uyarı İşaretleri:** Tehlike uyarı işaretleri, genel olarak beyaz çerçeve içi dolgu, kırmızı bir çerçeve ve siyah bir piktogramdan oluşan üçgen levhalardır (Şekil 2.2).
2. **Trafik Tanzim İşaretleri:** “Yol Ver” ve “Dur” dışındaki tüm trafik tanzim işaret levhaları daire şeklindedir (Şekil 2.3). Bu işaretler, mecburiyet gösteren işaretler hariç genellikle beyaz çerçeve içi dolgu , kırmızı bir çerçeve ve siyah bir piktogramdan oluşur. Tanzim işaretleri içerisinde kısmen mecburiyet arz eden genelde bilgi amaçlı dairesel şekilli levhalar genel olarak mavi zemin üzerinde beyaz ok gibi özel bir piktogramdan oluşur.
3. **Bilgi İşaretleri:** Trafikte kullanılan bilgi işaretleri, genel olarak mavi zeminli dörtgen levhalar üzerinde oluşturulan beyaz zeminli ikinci bölümler ve siyah bir piktogramdan oluşmaktadır (Şekil 2.4).
4. **Durma ve Park Etme İşaretleri:** Durma ve park etme işaretlerinden “Park etmek yasaktır” ve “Duraklamak ve park etmek yasaktır” işaret levhaları daire şeklindedir (Şekil 2.5). Bu işaretler mavi zemin üzerinde kırmızı bir çerçeve ve yasaklama gösteren kırmızı bir banttan oluşur. “Park yeri” gibi trafik işaret levhaları ise mavi zeminli dörtgen levhalar üzerinde beyaz sembollerden oluşmaktadır.



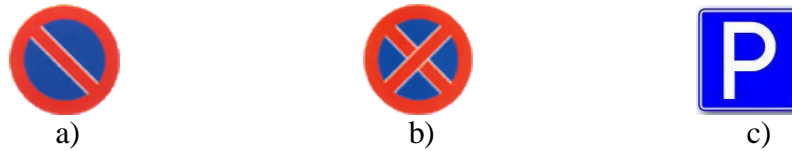
Şekil 2.2 Tehlike uyarı işaretlerine örnek (Gürbüz, 2010); <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TehlikeUyariIsaretleri.aspx>, 2014) : a) Sağa tehlikeli viraj, b) Yaya geçidi ve c) Soldan ana yola giriş.



Şekil 2.3 Trafik tanzim işaretlerine örnek (Gürbüz, 2010; <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TehlikeUyariIsaretleri.aspx>, 2014) : a) Yol ver, b) Kamyon giremez ve c) Sağa dönülmez.



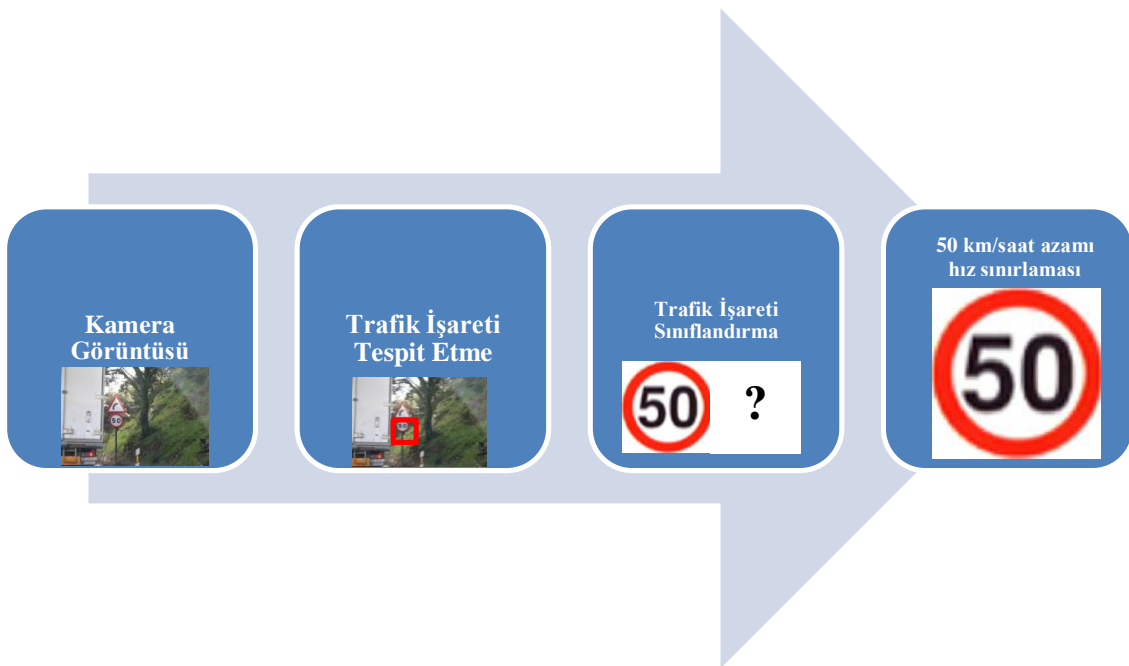
Şekil 2.4 Bilgi işaretlerine örnek (<http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TehlikeUyariIsaretleri.aspx>, 2014) : a) Durak, b) İlk yardım ve c) Hastane.



Şekil 2.5 Duraklama ve park etme işaretlerine örnek (<http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TehlikeUyariIsaretleri.aspx>, 2014) : a) Park etmek yasaktır, b) Duraklamak ve park etmek yasaktır ve c) Park yeri.

2.2 Trafik İşaret Tanıma Literatür Özeti

Trafik işaretlerini tanıma üzerine ilk çalışmalar Japonya'da yapılmıştır. Yayımlanmış birçok çalışmada trafik işaretini tanıma sistemi tespit ve sınıflandırma olarak iki aşamada incelenmiştir (Gürbüz ,2010; Ruta et al.,2010; Fleyeh and Davami, 2011; Mariut et al., 2011; Becer, 2011). Trafik İşaret Tanıma Sisteminin genel yapısı Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Trafik İşareti Tanıma Sistemi Genel Yapısı

Bazı akademik çalışmalar sadece görüntüden trafik işaretini tespit etme (Galyamichev, 2010), bazıları ise sadece trafik işaretini sınıflandırma aşamasına (Can Kuş, 2008; Lim et al., 2010; Gündüz et al., 2013) odaklanmıştır.

2.2.1 Tespit Aşaması

Bu aşamada temel amaç video görüntülerinden veya kamera çekimlerinden elde edilmiş içinde en az bir trafik işareti bulunan büyük bir resimden trafik işareti olabilecek küçük imgeleri veya ilgi bölgelerini (ROI), resim içindeki konumları ile birlikte tespit etmektir. Bu aşamada trafik işaretlerinin renk ve şekil özellikleri etkili bir biçimde

kullanılır. Bu aşama genelde segmentasyon ve tespit olmak üzere iki aşamadan meydana gelmektedir (Özdamar ve Edizkan, 2014). Segmentasyon aşamasında kırmızı, mavi ve sarı (yabancı ülkelerde) renk filtreleri kullanılarak ilgi bölgeleri belirlenir ve bu bölgeler arka planları olan büyük resimden kurtarılır (Ren et al.,2009; Zakir et al.,2010; Broggi et al.,2007; Shojania, 2003; Gao et al., 2006). Bu renk filtreleri trafik işaretlerinin çerçeve renklerini temsil etmektedir. Trafik İşaret Tanımada segmentasyon aşaması başarılı performans elde edebilmek için son derece önemlidir. Bazı çalışmalarda başarılı bir renk segmentasyonu yapmak için ön işlem olarak ana resim üzerinde kontrast yayma işlemi yapılmaktadır (Galyamichev, 2010). Bazı çalışmalarda ise renk segmentasyonu kesinlikle güvenilir bulunmadığından renksiz yaklaşımlar tercih edilmiştir. Renk segmentasyonu yapılmayan çalışmalara genetik algoritma ve uzaklık transformu örnek olarak verilebilir (Aoyagi and Asakura, 1996; Chen and Hsieh, 2008).

Tespit aşaması ise ilgi bölgelerinin trafik işareti içerip içermediğini belirlenir. Bu aşamada ilgi bölgesi içindeki trafik işaretini temsil eden renk kombinasyonları ve geometrik şekiller tespit edilmeye çalışılır. İlgi bölgesinde trafik işareti olup olmadığı renk bilgisi kullanarak hiyerarşik sınıflandırıcılar (seri bağlı renk filtreleri yardımıyla) ile renk analizi yapılarak tespit edilir (Paclik ve Novocicova,2000). Literatürde en yaygın trafik işareti tespiti yöntemleri şekil analizine dayanmaktadır. Şekil analizinde trafik işaretlerinin çerçeve şekillerine ait kenar, açı, köşe, alan gibi özellikler kullanılarak kenar analizi, köşe analizi ve şablon eşleme ile daire, eşkenar üçgen ve dikdörtgen gibi trafik işaretlerinin çerçeve şekli veya genel işaret şekli tanınmaya çalışılır (Broggi et al., 2007; Shojania, 2003; Ruta et al., 2010). Ayrıntılı olarak literatür özeti renk analizi için bölüm 2.2.3'de ve şekil analizi için bölüm 2.2.4'de açıklanmıştır.

Tespit aşamasında kontrast yayma, gürültü azaltma, ilgi bölgelerini belirli boyutlara getirme ile açma ve kapama gibi morfolojik işlemler kullanılmaktadır. Bu aşama sonucunda tespit edilen ilgi bölgeleri trafik işareti içermeyebilir. Fakat bu aşama sonunda ilgi bölgeleri aday trafik işareti olarak adlandırılır.

2.2.2 Sınıflandırma Aşaması

Bu aşama aday trafik işaretinin hangi trafik işaret semantik kategorisine ait olduğu ve trafik işaretinin isminin net olarak bulunduğu aşamadır. Bu aşamada tespit aşamasından sonra elde edilen aday trafik işaretlerinden, sınıflama işleminde kullanılacak olan öznitelikler elde edilir. Daha sonra aday trafik işaretleri sınıflandırılarak tanınmaya çalışılır. Bu aşamada genelde sınıflandırmaya çalıştığımız aday trafik işaretimiz mevcut bir veri tabanında bulunan trafik işaretleri ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma işlemi tek bir sınıflandırma aşamasından oluşabileceği gibi birkaç sınıflandırma aşamasından da oluşabilmektedir (Paclik ve Novocicova, 2000).

Bu aşamada tanıma işlemini kolaylaştırabilmek için trafik işaretleri bazı ön işlemlerden geçirilir. Uygulanan bazı ön işlemler şunlardır;

- Aydınlatma etkisinin azaltılması ve kontrast yayılması,
- Kamera kaynaklı gürültü etkisinin azaltılması,
- İlgili bölgelerinin (Aday trafik işaretlerinin) aynı boyuta getirilmesi ve bölütlenmesi,
- Gereksiz arka planın süzgeçlenmesi
- Piktogram çıkarımı için işaret çerçevelerinin silinmesi,

Önceki çalışmalarda trafik işareti sınıflandırmada iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Bunlar;

- Piksel tabanlı yaklaşım,
- Öznitelik tabanlı yaklaşım

Piksel tabanlı yaklaşımda genelde eğitim ve sınıflandırma için trafik işaret imgeleri griseviye (Aydın, 2009; Gürbüz, 2010; Fleyeh and Davami, 2011) ve siyah-beyaz (Broggi et al., 2007; Lim, 2010) imgelere dönüştürülerek piksel bilgisi direkt

olarak kullanılmaya çalışılmıştır. Piksel tabanlı yaklaşımda genelde aday trafik işaretlerinin sınıflandırılması için şablon eşleştirme ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılmıştır (Aoyagi and Asakura, 1996; Ruta et al., 2010; Aydın, 2009; Gürbüz, 2010; Lim et al., 2010). Yapay sinir ağı ile yapılan sınıflandırmada tüm aday trafik işaretleri için tek bir yapay sinir ağı kullanılabilirdiği gibi 2 farklı yapay sinir ağıda kullanılabilir (Escalera et al., 1997). Hatta her trafik işaret kategorisi için birbirinden farklı 6-7 yapay sinir ağı kullanılabilir (Broggi et al., 2007; Fang et al., 2004).

Öznitelik tabanlı yaklaşımda trafik işaretinin piksel bilgileri direkt kullanılmaz. Trafik işaret imgelerinin piksel bilgileri imge tanımlayıcıları ile işlenerek öznitelikler bulunur. Elde edilen bu öznitelikler ile eğitim ve sınıflandırma yapılır. Buradaki temel amaç trafik işaretlerinin daha iyi ayırt edebilen öznitelikleri kullanarak veri boyutu küçültüp daha başarılı sınıflandırma yapmaktır. Bu yaklaşımda öznitelik çıkarıcı imge tanımlayıcıları örnek olarak; Gabor (Koncar et al., 2007; Mariut et al., 2011; Özdamar ve Edizkan, 2014), HAAR dalga (Chen and Hsieh, 2008; Bahlmann et al., 2005), YGH (Can Kuş, 2008; Gao et al., 2006; Gündüz, 2013; Sun et al., 2014; Zaklouta and Stanciulescu, 2014; Özdamar ve Edizkan, 2014), uzaklık transformu (Chen and Hsieh, 2008), CDT (Ruta et al., 2007; Ruta et al., 2010), LESH (Zakir et al., 2010), Zernike momentleri (Shi, 2006) ile SIFT (Ren et al., 2009; Can Kuş, 2008) ve SURF (Ren et al., 2009) verilebilir. Yayınlanmış çalışmalarda genelde tek bir öznitelik kullanılırken (Ruta et al., 2007; Ruta et al., 2010) bazı çalışmalarda başarıyı artırmak için birkaç tane öznitelikte kullanılmıştır (Can Kuş, 2008). (Can Kuş, 2008)'de SIFT öznitelikleri ile birlikte başarı oranı artırmak için renk bilgisi ve YGH öznitelikleri beraber kullanılmıştır. Öznitelik tabanlı yaklaşımda sınıflandırıcı olarak yine şablon eşleştirme (Chen and Hsieh, 2008; Mariut et al., 2011), yapay sinir ağları (Lim, 2010), Bayes sınıflandırıcı (Bahlmann et al., 2005), K-means sınıflandırıcı (Koncar et al., 2007), AdaBoost sınıflandırıcı (Chen and Hsieh, 2008), Maksimum Benzerlik Teorisi (MBT) yöntemi (Gao et al., 2006) ile Destek Vektör Makineleri (DVM) yöntemi (Shi, 2006; Zakir et al., 2010; Gündüz et al., 2013; Zaklouta and Stanciulescu, 2014) kullanılmıştır.

Örüntü tanıma sistemlerinin sınıflandırma aşamasında öznitelik vektörlerinin boyutları azaltmak , gereksiz verileri atmak ve daha ayırıcı öznitelikleri öne çıkarmak için altuzay yöntemleri kullanılmıştır (Sadıç, 2007; Gündüz, 2010; Koç and Barkana, 2011; Edizkan et al., 2013; Özdamar ve Edizkan, 2014). Örüntü tanıma uygulamalarından biri olan Trafik İşareti Tanıma’da altuzay temelli yöntemler kullanılmıştır (Fleyeh and Davami, 2011; Lim, 2010; Özdamar ve Edizkan, 2014). Bu çalışmalarda TBA ve DAA yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada trafik işaret tanımada kullanılmayan ama literatürde görüntü tanımada az veri durumunda başarılı sonuçlar veren AEOV altuzay yöntemi de kullanılmıştır. Altuzay yöntemleri haricinde öznitelik seçimi başka çalışmalarda da kullanılmıştır (Bahlmann, 2005; Ruta et al., 2010). (Bahlmann, 2005)’de işaret renklerinden Haar dalgacık öznitelikleri elde edilerek trafik işareti detektörleri eğitmiştir. Bu Haar dalgacıkları, normalize edilmiş RGB kanalları ve griseviye kanalları oluşturulmuş 7 ayrı renk katmanlarından oluşan birbirine seri bağlanmış AdoBoost çerçeveleri ile en iyi öznitelikler seçilmeye çalışılmıştır.

Bazı çalışmalarda yazarlar test için düzgün ve sorunsuz trafik işaretlerini kullanarak sınıflandırmayı kolaylaştırarak tanıma başarımını artırmışlardır (Shojania, 2003). Fakat gerçekte dış etmenler ve kamera çekimi nedeniyle trafik işareti imgeleri düzgün ve sorunsuz olmaya bilir. Trafik İşaret Tanıma sistemlerinde işaret levhalarının ötelenmiş, dönmüş, engellenmiş ve bütünleşik olması sınıflamayı zorlaştırmaktadır. Ayrıca işaret levhaları üzerindeki günün zamanına bağlı gölge etkisi ve farklı hava koşullarına ile günün zamanına bağlı trafik işareti renklerinin değişimi (aydınlanma veya ışık şiddeti sorunu) sınıflandırmayı zorlaştırmaktadır. Tüm bu sorunlara ilaveten kamera çekimi nedeniyle oluşan uzaklık yakınlık sorunu, poz farklılıkları ve gürültü etkisi de sınıflandırmaya zorlaştırmaktadır. Trafik işaret tanımada karşılaşılabilecek bu tür sorunlara önceki yapılan çalışmalarda nispeten değinilmiştir (Ren et al., 2009; Zakir et al., 2010; Aydın, 2009; Can Kuş, 2008; Gürbüz, 2010; Gao et al., 2006; Koncar et al., 2007). Birçok çalışmada bu tür sorunlar görmezden gelinmiştir (Lim, 2010). Fakat bazı çalışmalarda bu sorunlara çözüm yolları aranmıştır. Örneğin; engellenmiş ve kırılmış trafik levhalarının gözükmeyen parçaları tamamlanılmaya çalışılmıştır (Ren et al., 2009). Ötelenmiş ve dönmüş levhalar dönme açıları ve kayma miktarları şablon imgelerle tespit edilmeye çalışılmıştır (Aydın, 2009; Gürbüz, 2010). Gürültü sorunları düzeltilmeye

çalışılmıştır (Aydın, 2009; Gao et al., 2006; Koncar et al., 2007). Fakat bazı çalışmalarda gürültü bilgisayar ortamında yapay olarak üretilmiştir (Aydın, 2009; Gürbüz, 2010; Gao et al., 2006).

Birçok çalışmada yazarlar, tanıma sonuçlarını yüksek gösterebilmek için endüstriyel grupların ilgisini çeken hız sınırlayıcı işaretler gibi dar ve tek bir semantik kategoriye odaklanmışlardır. Ayrıca çoğunlukla sınıflama başarısını artırmak için çoklu kategoriden birbirlerine hiç benzemeyen işaretler kullanmışlardır. Bu çalışmalara; (Miura et al., 2000)'de sadece hız sınırlayıcı işaretlerin kullanılması, (Ren et al., 2009)'de çoklu kategoriden 20 işaretin kullanılması ve (Bahlmann et al., 2005)'de çoğunlukla hız sınırlayıcı işaretlerden oluşan 23 trafik işareti kullanılması bu çalışmalara örnek olarak verilebilir.

Nispeten farklı kategoriden çok sayıda resim barındıran geniş trafik işareti veri tabanları da (Ruta et al., 2007; Aydın, 2009; Can Kuş, 2008; Gürbüz, 2010; Ruta et al., 2010; Gao et al., 2006) çalışmalarında kullanılmıştır. Örneğin (Gao et al., 2006) çalışmasında farklı kategoriden 87 trafik işareti, (Gündüz et al., 2013) çalışmasında 43 trafik işareti ve bu tez çalışmasında da kullanılan (Aydın, 2009; Gürbüz, 2010) çalışmalarındaki veri tabanında 70 trafik işareti vardır.

2.2.3 Renk Analizi

Renk analizi sonucu elde edilen renk bilgisi şekil bilgisinin aksine uzaklık yakınlık sorununa, dönmeye ve bakış açısı problemlerine karşı değişmeyen bilgiler içerir (Shojania, 2003). Bu bakımdan renk bilgisi hem trafik işaretinin tespiti aşamasında, hem de trafik işaretinin sınıflandırma aşamasında kullanılabilir (Lim et al., 2010). Renk analizi trafik işaretinin tespiti aşamasında genellikle segmentasyon amacıyla kullanılır. Sınıflandırma aşamasında ise farklı semantik grupları birbirinden ayırmak için özellik olarak kullanılır. Yapılan birçok çalışmada RGB renk uzayı çok kullanılmıştır (Gürbüz, 2010; Ruta et al., 2010; Galyamichev, 2010). RGB renk uzayında her piksel kırmızı, yeşil ve mavi bileşenlerden oluşur. Trafik işaretini tespit etmek için ayrıca HSV, CIECAM, YUV gibi renk uzayları da kullanılmıştır. HSV ve YUV gibi renk uzayları RGB'den daha başarılı olsalar da RGB'den dönüşüm yapılırken çok fazla işlem ve hafıza

gücü gerektirirler. YUV renk uzayı; RGB gibi hem hesaplama yükünü azaltmak, hem de aydınlanma sorununa daha dayanıklı olduğu için önceki çalışmalarda kullanılmıştır (Broggi et al., 2007). Trafik işaret tanımda RGB olmayan renk uzayları arasında insan algısına odaklanmış HSV en popüler olandır (Ren et al., 2009; Aydın, 2009; Fang et al., 2010; Mariut et al., 2011). Çünkü RGB ile karşılaştırıldığında HSV renk uzayı aydınlanma sorununa karşı çok dayanıklıdır. (Gao et al, 2006)'da farklı görünüş veya görüntüleme şartları altında gerçek yaşam görüntülerinden bağımsız olarak işaretin karakteristik renklerinin görünüşünü tahmin etmeyi daha uygun olan CIE XYZ renk uzayı kullanılmıştır.

Trafik işaretindeki renkler aydınlanma sorunu, gölge etkisi ve hava şartları nedeniyle farklılaşabilir. Bu nedenle bazı çalışmalarda yazarlar trafik işaretinin tanımının tespit aşamasında renk segmentasyonu kesinlikle güvenilir bulmadıklarından renksiz yaklaşımları tercih etmişlerdir. Renk segmentasyonu yapılmayan çalışmalara genetik algoritma ve uzaklık dönüşümü örnek olarak verilebilir (Aoyagi and Asakura, 1996; Chen and Hsieh, 2008). Renk bilgisini kullanmamak belirgin işaret tiplerini ayırtmada başarıyı engellemez. Fakat farklı semantik kategoriden birçok trafik işaretinin tanınmasında renk bilgisi mutlaka gereklidir (Ruta et al., 2010). Bunun temel nedeni renk bilgisini kullanılmadığında bu trafik işaretlerinin özellikle piktogram bakımından birbirlerine çok benzemesidir. Ayrıca Japonya gibi bazı ülkelerde otoyollarda farklı işaret kodları vardır ve bunları griseviye renk uzayına çevirdiğimizde tamamen aynı olurlar.

2.2.4 Şekil Analizi

Renk bilgisi ile birlikte trafik işaretlerinin çerçevelerini ve piktogramlarını temsil eden şekil bilgisi de trafik işaretlerinin karakteristik özellikleridir. Şekil analizi trafik işareti tanıma uygulamalarında hem tespit, hem de sınıflandırma aşamasında kullanılabilir (Lim et al., 2010). Şekil analizinden önce genellikle tespit edilmeye çalışılan trafik işareti semantik kategorisinin çerçeve rengine dayanan renk filtrelemesi yapılır. Renk filtrelemesi ile ilgi bölgesi imgesi siyah-beyaz imgeye dönüştürülür. Daha sonra şekil analizine geçilir (Aydın, 2009, Gürbüz, 2010). Trafik işaretinin tespit aşamasında trafik işaretinin iç kısımlardaki şekil bilgisini temsil eden piktogramlardan

ziyade dış kısmını temsil eden daire, üçgen, dörtgen ve altıgen gibi çerçeve şekillerinin kendileri, kenar ve köşe bilgileri kullanılmıştır. Tespit aşamasında genelde kenar analizi (Ruta et al., 2007; Gao et al., 2006), köşe analizi (Aydın, 2009), direkt şekli tespit etmek için işaret şablonları kullanıldığı görülmektedir (Broggi et al., 2007; Ruta, 2007). Bu analizler tek tek kullanılabildikleri gibi birbirini takip edebilirler (Gürbüz, 2010). Kenar ve köşe analizinde Canny, Sobel, Harris gibi algortimalar sık kullanılmıştır. Ayrıca trafik işaretlerinin çerçeve şekil bilgileri olan dikdörtgenleri, kareleri, daireleri ve üçgenleri tespit etmek için Hough Dönüşümü (HD) ve Dairesel Hough Dönüşümü (DHD) yaygın olarak kullanılmıştır (Ren et al., 2009). Bu yöntemlerin dezavantajı, işlem süresinin oldukça uzun olmasıdır. Bazı çalışmalarda işlem süresini kısaltmak amacıyla griseviye bir imge içindeki dairelerin ve dairesel elipslerin bulunması için tasarlanmış gerçek zamanlı ve parametresiz çalışan bir daire bulma algoritması olan EDCircles gibi özel algoritmalar kullanılmıştır (Gündüz et al., 2013).

Bazı çalışmalarda yine renk filtresi ile aday imgeler siyah-beyaz resme dönüştürülerek aday imgelerin çerçeve kısımları beyaz renk ile gösterilir. Daha sonra bu çerçevelerin içi doldurularak hazır şablonlarla eşleştirme yapılarak ilgi bölgesinde eşkenar üçgen, daire gibi şekillerin olup olmadığı tespit edilir (Gürbüz, 2010; Lim et al., 2010). Bu eşleştirme ile işaret levhalarının sınıflandırma başarımına etki eden dönme miktarları tespit edilir (Gürbüz, 2010).

Sınıflandırma aşmasında 2 ayrı şekil bilgisi kullanılır. Bunlar çerçeve şekil bilgisi ve piktogram şekil bilgileridir. İlk olarak tespit aşamasında da kullanılan yöntemler ve algoritmalar kullanılarak aday trafik işaretinin çerçeve veya genel işaret şekil bilgisi belirlenir. Bu belirlemeye takiben trafik işaretleri çerçeve şekillerine göre sınıflandırılır (Gürbüz, 2010; Lim et al., 2010). Genellikle bu kısımda şekil analizi ile işaret çerçevelerinin sınırları tespit edilerek aday trafik işaretlerinin gereksiz arka planları süzgeçlenir (Gürbüz, 2010; Gündüz et al., 2013).

İkinci olarak işaret çerçeveleri süzgeçlenerek örüntü tanımada kullanılan imge tanımlayıcıları ile piktogram bilgisinden öznitelik vektörleri elde edilir. Bu öznitelik vektörleri ile aday trafik işaretleri sınıflandırılır (Koncar et al., 2007; Gürbüz, 2010; Lim et al., 2010).

2.3 Trafik İşaretini Tanımının Zorlukları

Trafik işareti tanıma sistemlerinde kullanılan imgeleri normal çevre şartlarında kusursuz olarak elde edemeyebiliriz. Trafik işaretinin tespiti ve sınıflandırma aşamalarında bazı zorluklar ile karşılaşılabilir. Tanıma işlemini zorlaştıran nedenler şunlardır;

1. **Trafik işaretlerinin ülkeden ülkeye farklılık göstermesi:** Trafik işaretleri ülkeden ülkeye farklılık gösterebilir (Şekil 2.7).
2. **Trafik işaretlerinin benzer olması:** Trafik işaretleri benzer şekillere ve renklere sahip olabilirler (Şekil 2.8).
3. **Trafik işaretinin hasarlı olması:** Trafik işareti; eğilmiş, bükülmüş, üzeri boyanmış, rengi solmuş veya yazıları silinmiş olabilir (Şekil 2.9).
4. **Trafik işaretinin dönmüş olması:** Trafik işareti; zeminden, monte edilmiş açısından, imgenin içerisindeki bakış açısından (poz farkından) veya herhangi bir dış faktörden dolayı yolun doğrultusundan farklı bir açıda görünebilir (Şekil 2.10).
5. **Trafik işaretlerinin aydınlanma ve gölge etkisi sorunu:** İmge içerisindeki trafik işaretlerinin renklerinin parlaklığı; güneşli hava, bulutlu hava, sisli hava, yağmurlu hava, sokak lambası, araç camı, araç farı sebebi ile olması gerekenden daha parlak veya daha az parlak olabilir. Ayrıca trafik işareti üzerinde ağaç, bina veya başka bir dış faktör nedeniyle günün zamanı bağlı olan gölge etkisi renk farklılığına sebebiyet verir (Şekil 2.11 ve Şekil 2.12).
6. **Trafik işaretinin engellenmiş olması:** İmge içerisinde tespit etmek veya tanımak istediğimiz trafik işareti başka bir trafik işareti, ağaç dalları, trafik lambaları, sokak lambaları, direkler veya herhangi bir dış obje tarafından engellenmiş olabilir (Şekil 2.13).

- 7. Trafik işaretlerinin bütünleşik olması:** İmge içerisinde birden fazla trafik işareti bulunabilir ve bu işaretlerde bütünleşik olabilir. Sınıflandırma için bu tür imgelerdeki trafik işaretlerini birbirinden ayırmak gerekir (Şekil 2.14).
- 8. Kamera çekimi sorunları:** Hareketli bir arabadan kamera ile resim çekmek istediğimizde kamerayı sabit tutamadığımız, rüzgâr ve araba titreşimi nedeniyle çektiğimiz resim bulanık gözükebilir. Bu tür bulanıklaşma “Motion Blur” adı ile anılır. Bu bulanıklaşma gürültü olarak adlandırılır ve bu trafik işaretlerinin sınıflandırılmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca kamera çekiminde bakış açısı ve çekim mesafesi sorunları ile kamera çözünürlüğünün az olması sebepleri de trafik işaretlerinin sınıflandırılmasını güçleştirmektedir (Şekil 2.15).



Şekil 2.7 Trafik işaret levhalarının ülkeden ülkeye farklılık göstermesi örnekleri
(Gürbüz, 2010)



Şekil 2.8 Birbirine renk ve şekil olarak benzeyen trafik işaret levhaları örnekleri



Şekil 2.9 Hasar görmüş trafik işaret levhaları



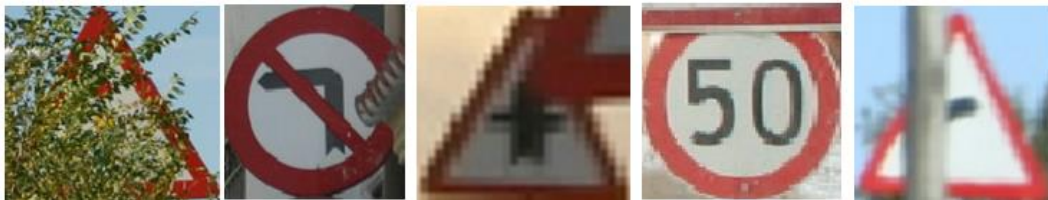
Şekil 2.10 Dönmüş trafik işaret levhaları



Şekil 2.11 Kötü aydınlatılmış trafik işaret levhaları



Şekil 2.12 Gölge etkisine maruz kalmış trafik işaret levhaları



Şekil 2.13 Engellenmiş trafik işaret levhaları



Şekil 2.14 Bütünleşik trafik işaret levhaları



Şekil 2.15 Kamera çekimi sorunlu trafik işaretleri

BÖLÜM 3

VERİ TABANI VE GELİŞTİRİLEN UYGULAMADA

KULLANILAN YÖNTEMLER

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan veri tabanları, öznelik ve altuzay yöntemleri ile diğer işlemler hakkında bilgi verilmektedir.

Trafik işaret tanıma uygulaması için MATLAB 2011b programı kullanılmıştır.

3.1 Veri Tabanı

Tez çalışmasında bilgisayar ortamında üretilmiş resimlerden oluşan bir veri tabanı kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan veri tabanı 36 üçgen trafik işareti sınıfı (Şekil 3.1) ve 34 dairesel trafik işareti sınıfından (Şekil 3.2) oluşmaktadır (Aydın, 2009; Gürbüz, 2010; Becer, 2011). Veri tabanında her bir trafik işareti sınıfı için 135 şablon imge bulunmaktadır. 135 şablon imge; 45 imgeden oluşan 3 ayrı alt kümeden oluşmaktadır. İlk 45'lik dilim gürültü içermeyen imgelerden oluşmaktadır. Sonraki 45'lik 2 bölüm ise trafik imgelerinin gürültü eklenmiş şablonlarından oluşmaktadır. Veri tabanının 45 imgeden oluşan bölümlerinde (üçgen işaretler için 36×45 lik ve dairesel işaretler için 34×45 lik) ;

- a) Üçgen işaretler için orijinal 36 trafik işareti imgesi ve dairesel işaretler için orijinal 34 trafik işareti imgeleri,
- b) ± 3 ve ± 6 dereceli dönmüş trafik işareti imgeleri (Şekil 3.3),
- c) 8 farklı yönde 3 piksel kaymış trafik işareti imgeleri bulunmaktadır (Şekil 3.4).

Sonuç olarak, veri tabanının gürültü içermeyen bölümü her bir trafik işareti için $(4+1) \times (8+1) = 45$ şablon imgeden oluşmaktadır. Bu bölümdeki toplam imge sayısı üçgen işaretler için $36 \times 45 = 1620$ ve dairesel işaretler için $34 \times 45 = 1530$ 'dur.

Veri tabanının gürültülü kısmında ortalaması $\mu = 0,0$ ve standart sapması sırasıyla $\sigma = 0,01$ ve $0,02$ olan normal rastgele dağılımlı gürültü kullanılmıştır (Şekil 3.5). Bu gürültüler tamamen yapay olarak bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. Veri tabanımızda her bir trafik işareti sınıfı için $(4+1) \times (8+1) \times (2+1) = 135$ şablon imge bulunmaktadır. Veri tabanında bulunan toplam imge sayısı üçgen işaretler için 4860 ve dairesel işaretler için 4590'dır. Veri tabanındaki imgelerin uzantısı PNG "Portable Network Graphics"dir.



Şekil 3.1 Üçgen trafik işaretleri (Aydın, 2009; Gürbüz, 2010; Becer, 2011)



Şekil 3.2 Dairesel trafik işaretleri (Aydın, 2009; Gürbüz, 2010; Becer, 2011)



a)

b)

c)

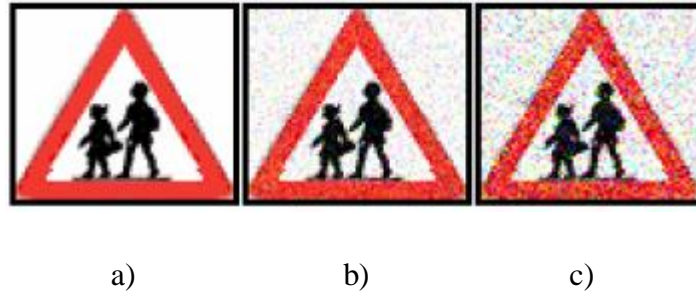
d)

e)

Şekil 3.3 “Okul Geçiti” trafik işaretinin dönme imge şablonları (Aydın, 2009; Gürbüz, 2010; Becer, 2011): a) sola 6 derece b) sola 3 derece c) orjinal d) sağa 3 derece e) sağa 6 derece



Şekil 3.4 “Okul Geçiti” trafik işaretinin 8 farklı yöne +3 piksellik kayma imge şablonları (Aydın, 2009; Gürbüz, 2010; Becer, 2011)



Şekil 3.5 “Okul Geçiti” trafik işaretinin ortalaması $\mu = 0,0$ ve normal rastgele dağılımlı gürültü eklenmiş imge şablonları (Aydın, 2009; Gürbüz, 2010; Becer, 2011) : a) orijinal işaret b) $\sigma = 0,1$ standart sapmalı ve c) $\sigma = 0,2$ standart sapmalı.

3.2 Gerçek Resimlerle Oluşturulmuş Test Seti

Geliştirilen uygulamada test seti olarak (Gürbüz, 2010) çalışmasında kullanılmış olan gerçek resimlerden oluşturulmuş veri tabanı kullanılmıştır.

Bu veri tabanı, değişik hava koşullarında ve günün değişik saatlerinde çekilmiş farklı resimlerden oluşmaktadır. Veri tabanı tez çalışmasında test seti olarak kullanılmaktadır. Test setinde 5 (beş) farklı grup vardır ve gruplardaki imge sayıları Çizelge 3.1’de gösterilmektedir. Şekil 3.6’da bu test setinde bulunan üçgen işaretlerden, Şekil 3.7’de ise bu test setinde bulunan dairesel işaretlerden örnek resimler gerçek boyutları ile gösterilmektedir. Gruplar içerisinde eğitim setine uygun olmayan resimler çıkarılmıştır. 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 grubu değişik hava koşullarından, dış objelerden veya herhangi bir dış etkenden bağımsız net bir açıdan görülebilen trafik işareti resimleri içermektedir.

2) Hasarlı Grup (Deformed)

Bu test grubu eğilmiş, bükülmüş, üzeri boyanmış, rengi solmuş veya yazıları silinmiş trafik işareti resimleri içermektedir.

3) Kötü-Aydınlanmış Grup (Badly-Illuminated)

Bu test grubu güneş, bulutlu hava, ağaç veya bina gölgesi, sokak lambası, araç camı, araç farı sebebi ile işaretler üzerindeki parlaklığın çok fazla veya çok az olduğu trafik işareti resimleri içermektedir.

4) Engellenmiş Grup (Occluded)

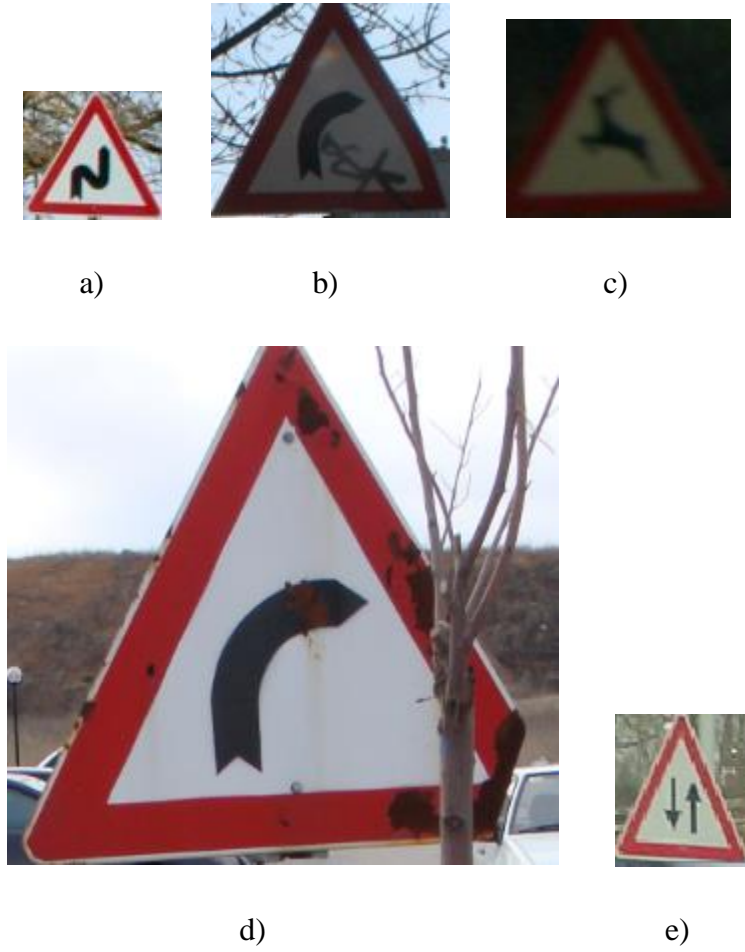
Bu test grubu başka bir trafik işareti, ağaç dalları, trafik lambaları, sokak lambaları, direkler veya herhangi bir dış obje tarafından engellenmiş trafik işareti resimleri içermektedir.

5) Dönmüş Grup (Rotated)

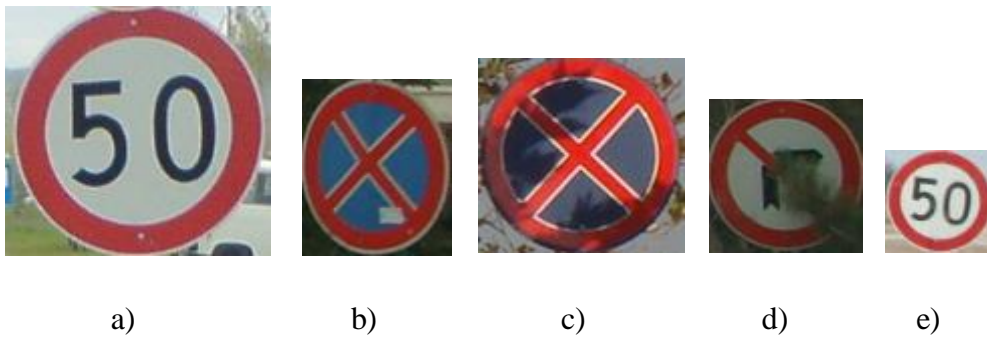
Bu test grubu zeminden, monte edilmiş açısından, resmin içerisindeki bakış açısından veya herhangi bir dış sebepten dolayı doğrultusu yolun doğrultusundan farklı bir açıda olan trafik işareti resimleri içermektedir.

Çizelge 3.1 Gerçek Resimlerle Oluşturulmuş Test Setleri İmge Sayıları

	Üçgen	Daire
Düzgün	57	21
Hasarlı	19	8
Kötü Aydınlatılmış	53	35
Engellenmiş	39	36
Dönmüş	45	16
Toplam	213	116



Şekil 3.6 Üçgen işaret resim örnekleri (Gürbüz, 2010); a) düzgün, b) deforme olmuş, c) aydınlatma sorunlu, d) engellenmiş ve e) dönmüş.



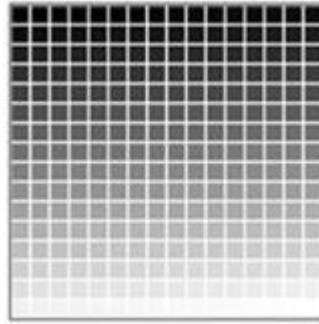
Şekil 3.7 Dairesel işaret resim örnekleri (Gürbüz, 2010); a) düzgün, b) deforme olmuş, c) aydınlatma sorunlu, d) engellenmiş ve e) dönmüş.

3.3 Öznitelikler ve Öznitelik Çıkarımı

Bu bölümde, trafik işareti tanımada kullanılan öznitelikler (imge tanımlayıcıları) ve bunların özellikleri verilecektir.

3.3.1 Griseviye

Griseviye piksel değerleri, renklerin 0 ile 255 arasında değiştiği, siyah rengin 0, beyaz rengin ise 255 ile gösterildiği bir renk skalasıdır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 256 griseviye renk skalası (Gündüz, 2010)

Siyah ve beyaz arasında kalan renkler gri rengin tonları olarak gösterilir (Şekil 3.9 ve Şekil 3.10).

Kırmızı (8)	Yeşil (8)	Mavi (8)	
0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	= 0 : 0 : 0 = Siyah
0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 1	= 1 : 1 : 1 = Çok çok koyu gri
0 0 0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 0 0 1 0	= 2 : 2 : 2 = Çok koyu gri
...	
1 1 1 1 1 1 0 1	1 1 1 1 1 1 0 1	1 1 1 1 1 1 0 1	= 255 : 255 : 255 = Çok açık gri
1 1 1 1 1 1 1 0	1 1 1 1 1 1 1 0	1 1 1 1 1 1 1 0	= 254 : 254 : 254 = Çok çok açık gri
1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1	= 255 : 255 : 255 = Beyaz

Şekil 3.9 24 Bit griseviye renk tonları (Akın, 2007)



Şekil 3.10 Örnek trafik işareti: a) orijinal işareti ve b) griseviye dönüştürülmüş işareti.

İmge üzerindeki bütün piksellerin griseviye değerleri yani yoğunlukları, satırlar ya da sütunlar alt alta gelecek şekilde dizilerek özellik vektörü oluşturulur. Oluşturulan bu özellik vektörü sınıflandırma aşamasında kullanılır. Fakat griseviye piksel değerleri ışık şiddetinden çok etkilenmektedir (Gürbüz, 2010). Tez çalışmasındaki özellik vektörümüzün boyutu her bir trafik işareti için $50 \times 50 = 2500$ 'dür.

3.3.2 Yönlü Gradyan Histogramı

Birçok araştırmacı tarafından oldukça ilgi gören imgedeki piksellerin yönelim ve büyüklük değerlerinin karakteristiği olarak da adlandırılabilen olan YGH yöntemindeki temel amaç, imgeyi bir grup yerel histogramlar olarak tanımlamaktır. Bu histogramlar, imgenin yerel bir bölgesindeki yöntürev yönelimlerini (gradyanlarını) ve gradyanların büyüklüklerini içermektedir (Alparslan, 2013).

f_x , imge gradyanının x bileşeni; f_y , imge gradyanının y bileşeni; m , imge gradyanı büyüklüğü (şiddeti); θ , imge gradyan yönelimi; ve $I(x, y)$, imgenin (x, y) noktasındaki griseviye piksel yoğunluğunu gösterir.

YGH histogramları bir imgeden aşağıdaki gibi çıkarılır;

- RGB imge, griseviye imgeye dönüştürülür ve griseviyeli imgenin türev maskeleri kullanılarak yatay ve dikey gradyan değerleri denklem 3.1 ve denklem 3.2'deki gibi elde edilir (Şekil 3.11).

$$f_x(x, y) = I(x + 1, y) - I(x - 1, y) \quad \forall x, y \quad (3.1)$$

$$f_y(x, y) = I(x, y + 1) - I(x, y - 1) \quad \forall x, y \quad (3.2)$$



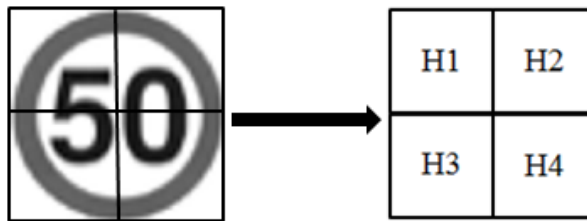
Şekil 3.11 Örnek resmin gradyan gösterimleri: a) yatay gradyan ve b) dikey gradyan

- Yatay ve dikey gradyan değerleri kullanılarak gradyan yönelimi ve gradyan büyüklüğü değerleri denklem 3.3 ve denklem 3.4'deki gibi elde edilir.

$$m(x, y) = \sqrt{f_x(x, y)^2 + f_y(x, y)^2} \quad (3.3)$$

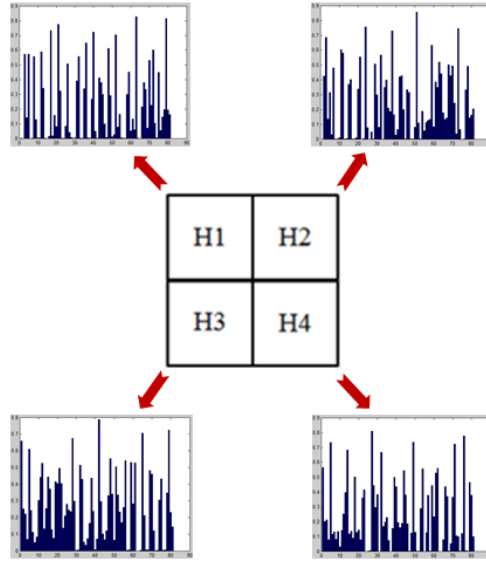
$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{f_y(x, y)}{f_x(x, y)} \right) \quad (3.4)$$

- Gradyan yönelimleri 45'şer derecelik 8 farklı durumla etiketlenir ve histogram oluşturulur. Bölütleme işlemi de yapılabilir. Tez çalışmasında imgeler her birinin boyutu $[24 \times 24]$ olan 4 bloğa ayrılmıştır (Şekil 3.12).



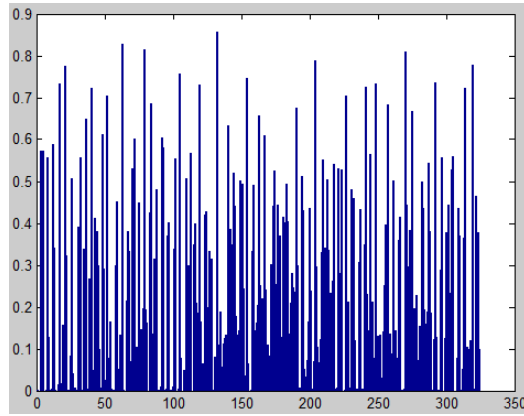
Şekil 3.12 Örnek resmin bölütlenmesi.

- Belirlenen her bir blok için gradyan büyüklüğü ve gradyan yönelimleri kullanılarak yerel histogramlar oluşturulur (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Örnek resmin her bir bölütün YGH öznitelikleri çıkarımı.

- Oluşturulan yerel histogramlar birleştirilip normalize edilir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Örnek resmin normalize edilmiş Yönlü Gradyan Histogramı (YGH).

YGH, işlem maliyetinin düşük olmasından dolayı gerçek zamanlı uygulamalar için kullanımı uygundur. YGH'nin dezavantajları ise;

- Renkli görüntülerde çalışmaması,
- Nesnenin şekil ve doku bilgisini dikkate almaması ve
- Üst üste gelme durumundan dolayı gereksiz bilgi tekrarının olmasıdır (Alparslan, 2013).

Tez çalışmasında YGH yöntemi ile her bir trafik işareti için 288 boyutlu öznitelik vektörü oluşturulmuştur.

3.3.3 Yerel İkili Örüntü

Işık şiddeti değişimleri karşı dayanıklı olan ve hesaplamalarda kolaylık sağlayan YİÖ yöntemi özellikle doku analizlerinde ve yüz tanıma uygulamalarında kullanılır.

YİÖ yöntemi herhangi bir piksel koordinatı çerçevesindeki sekiz komşulukta kurallı ikili yoğunluk karşılaştırması yapar. Komşuluğunda olan 8 noktayı değerlendirirken merkezdeki piksel değeri kesim noktası kabul edilir ve bu değerden büyük veya eşit olanlara 1, küçük olanlara ise 0 değeri verilerek 8 komşuluk için 8-bitlik ikili bir kod elde edilir. Oluşturulan 8-bitlik ikilik kodun onluk (decimal) değeri, verilen piksel etrafında yerel yapısal bilgileri temsil eder (Şekil 3.15). Tüm pikseller için hesaplanan YİÖ kodlarıyla oluşturulan imgenin histogramı, bu kodların hangi sıklıkla kendilerini tekrar ettiğini belirtir (Gündüz, 2010, Akarslan ve Edizkan, 2013). YİÖ değerleri denklem 3.5 ve denklem 3.6'daki gibi hesaplanır;

$$YİÖ(x) = \sum_{i=1}^8 s(G(x_i) - G(x)) 2^{i-1} \quad (3.5)$$

$$s(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (3.6)$$

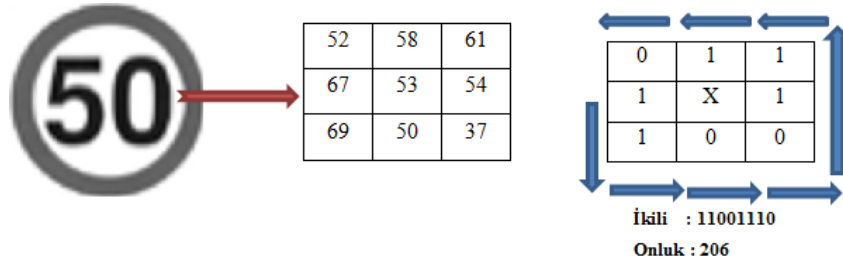
Burada;

x , merkez pikselin konumunu;

x_i , i indisli komşu pikselin konumunu;

$G(x)$, piksel yoğunluk değerini ve

$s(t)$, ikili kod üreten fonksiyonu ifade etmektedir.



Şekil 3.15 Trafik İşareti için YİÖ Uygulaması.

Tez çalışmasında YİÖ yöntemi ile 50×50 boyutlu her bir trafik işareti imgesi için 256 boyutlu bir histogram vektörü elde edilir. Bu histogram vektörü çalışmamızda öznitelik vektörü olarak kullanılır.

3.3.4 Yerel Faz Kuantalama

YFK gürültüye karşı dayanıklı doku tanımlayıcısıdır (Ojansivu and Heikkila, 2008). YFK yönteminde resimler bölütlenir. Akabinde her bölütün faz bilgisinden önce histogramlar sonra öznitelik vektörleri elde edilir.

YFK öznitelikleri bir imgenin gürültüye (bulanıklaşmaya) karşı dayanıklı fourier faz spektrumundan elde edilir. YFK imge tanımlayıcısı herhangi bir piksel koordinatı çerçevesindeki sekiz komşulukta kurallı ikili fourier faz karşılaştırması yapar (Ojansivu and Heikkila, 2008). YFK değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır; resimlerin her bir pikseli için yerel komşuluk faz değerleri hızlı fourier dönüşümü kullanılarak denklem 3.7'den hesaplanır.

$$F(u, x) = \sum_{y \in N_x} f(x - y) e^{-j2\pi u^T y} = w_u^T f_x \quad (3.7)$$

Burada;

x , merkez pikselin konumu; N_x , $M \times M$ (8×8) boyutundaki yerel bölgenin komşu piksellerin koordinatlarını; ve $f(x)$, Fourier transformunu temsil etmektedir.

İmgemize temsil eden matrisin satır ve sütunlarına basit bir boyutlu katlama uygulanarak bir imgenin tüm pikselleri $x \in \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ için fourier faz katsayıları elde edilir.

Bu katsayılar 2 boyutlu frekanslara karşılık gelen 4 farklı kompleks katsayıya denklem 3.8 ve 3.9'daki gibi kuantalanır. Bu katsayılar; $u_1 = [a, 0]^T$, $u_2 = [0, a]^T$, $u_3 = [a, a]^T$ ve $u_4 = [a, -a]^T$ 'dir.

$$F_x^c = [F(u_1, x), F(u_2, x), F(u_3, x), F(u_4, x)] \quad (3.8)$$

$$F_x = [Re\{F_x^c\}, Im\{F_x^c\}]^T \quad (3.9)$$

Kompleks sayıların $Re\{\dots\}$ (gerçek) ve $Im\{\dots\}$ (sanal) kısımları sırasıyla katsayıların gerçek ve sanal kısımlarını temsil eder. Sonuç olarak $8 \times M^2$ boyuntunda bir dönüşüm matrisi (W) denkelem 3.10'daki gibi elde edilir.

$$W = [Re\{w_{u1}, w_{u2}, w_{u3}, w_{u4}\}, Im\{w_{u1}, w_{u2}, w_{u3}, w_{u4}\}]^T \quad (3.10)$$

$$F_x = W f_x \quad (3.11)$$

Böylece katsayılar denklem 3.11 ve 3.12'den hesaplanır. Bu katsayıların istatiksel olarak birbirinden bağımsız ve Gaussian dağılıma sahip olduğu varsayılır.

$$G_x = V^T F_x \quad (3.12)$$

Burada V denklem 3.13'deki D matrisinden TDA yöntemi ile elde edilen ortonormal matrisi ifade eder.

$$D = U \Sigma V^T \quad (3.13)$$

Tüm piksellerin foruier dönüşümlerindeki faz bilgilerini ihtiva eden g_j katsayıları kaydedilir. Sonrasında bu katsayılar denklem 3.14'deki gibi eşiklenir.

$$q_j = \begin{cases} 1, & g_j \geq 0 \\ 0, & g_j < 0 \end{cases} \quad (3.14)$$

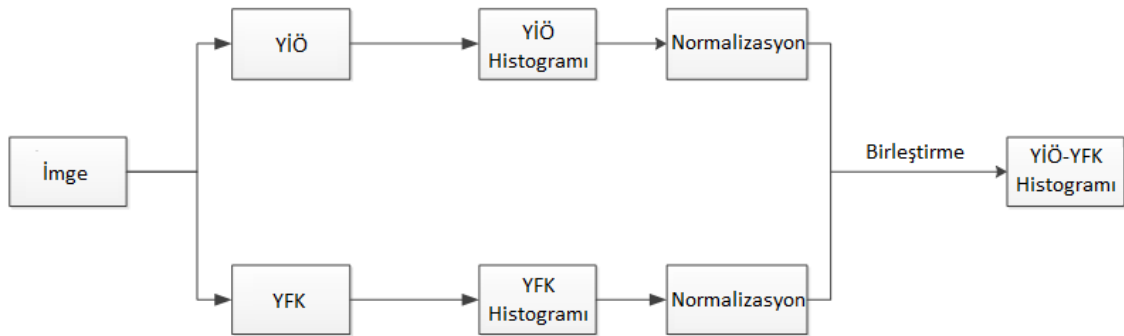
Her bir pikselin 8 komşuluğu için 8-bitlik ikili bir kod denklem 3.15'deki gibi elde edilir. Oluşturulan 8-bitlik ikilik kodun onluk (decimal) değeri, verilen piksel etrafında yerel yapısal bilgileri temsil eder.

$$f_{LPQ}(x) = \sum_{j=1}^8 q_j 2^{j-1} \quad (3.15)$$

Tez çalışmasında YİÖ yöntemi ile 50×50 boyutlu her bir trafik işareti imgesi için 256 boyutlu bir histogram vektörü elde edilir ve bu histogram vektörü uygulamada öznitelik vektörü olarak kullanılmıştır.

3.3.5 YİÖ ve YFK

Tez çalışmasında, YİÖ yönteminin aydınlanmaya ve YFK yönteminin ise gürültüye karşı dayanıklı olmasından dolayı bu iki öznitelik vektörü normalize edilip birleştirilerek 512 boyutlu bir öznitelik vektörü de kullanılmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 YİÖ ve YFK histogramı çıkarımı.

3.3.6 Gabor

Gabor öznitelikleri, imgelerin griseviye değerlerinin iki boyutlu karmaşık Gabor filtreleri ile filtrelenmesiyle oluşturulan özniteliklerdir. İki boyutlu Gabor filtresi; karmaşık üstel fonksiyon ile eliptik Gauss fonksiyonunun çarpımından oluşan bir fonksiyonla temsil edilir. Üstel fonksiyon dönme dayanımı elde etmek için eliptik Gauss fonksiyonunu ise ölçek dayanımı elde etmek için kullanılır. Sayısal görüntüdeki bir pikselin konum bilgisi (x, y) koordinatı biçiminde gösterildiğinde, x -ekseni yönündeki Gauss fonksiyonu şekil parametresi α , y -ekseni yönündeki Gauss fonksiyonu şekil parametresi β olarak tanımlanıp, bu değerlerin harmonik sinyalin frekans değerleriyle (f) oranları sırasıyla $\gamma = \frac{f}{\alpha}$ ve $\eta = \frac{f}{\beta}$ biçiminde tanımlandığında Gabor öznitelikleri denklem 3.16'daki Gabor fonksiyonundan elde edilir.

$$\varphi(x, y) = \frac{f^2}{\pi\gamma\eta} \exp\left(-\left(\frac{f^2}{\gamma^2}x_r^2 + \frac{f^2}{\eta^2}y_r^2\right)\right) \exp(j2\pi f x_r) \quad (3.16)$$

$$x_r = x\cos\theta + y\sin\theta, y_r = -x\sin\theta + y\cos\theta$$

Burada θ , eliptik Gauss fonksiyonun temel eksenini döndürme açısıdır. Tez çalışmasında Gabor öznitelikleri 5 farklı ölçek ve 8 farklı yön için elde edilmiştir.

3.4 Altuzay Yöntemleri

Tez çalışmasında öznitelik vektörlerinin boyutları azaltmak, gereksiz verileri atmak ve daha ayırıcı öznitelikleri öne çıkarmak için altuzay yöntemleri kullanılmıştır. Altuzay yöntemleri öznitelik uzayında boyut indirgeme yapmakta ve ayrıca sınıflama için ayırt edici özellikleri seçmektedir. Bu tez için geliştirilen uygulamada “Temel Bileşenler Analizi (TBA)”, “Doğrusal Ayırıcı Analiz (DAA)” ve “Ayırt Edici Ortak Vektör (AEOV)” altuzay yöntemleri kullanılmıştır.

Altuzay yöntemlerini açıklamadan önce bazı istatistiksel tanımlamaları açıklamak gerekmektedir. Eğitim setinin C sınıftan oluştuğu ve i 'nci sınıfın N_i tane öznitelik vektöründen (örnek şablon imgeden) oluştuğu düşünülürse, toplam öznitelik vektörü sayısı olan M denklem 3.17'deki gibi hesaplanır.

$$M = \sum_{i=1}^C N_i \quad (3.17)$$

Sınıfı i olan m 'ninci imge öznitelik vektörünü d boyutlu uzayda x_m^i ile gösterirsek, sınıf-içi saçılım matrisi S_W , sınıflar-arası saçılım matrisi S_B ve toplam saçılım matrisi S_T denklemler 3.18, 3.19 ve 3.20'deki gibi hesaplanır (Gündüz, 2010);

$$S_W = \sum_{i=1}^C \sum_{m=1}^{N_i} (x_m^i - \mu_i)(x_m^i - \mu_i)^T = A_W A_W^T \quad (3.18)$$

$$S_B = \sum_{i=1}^C N_i (\mu_i - \mu)(\mu_i - \mu)^T = A_B A_B^T \quad (3.19)$$

$$S_T = \sum_{i=1}^C \sum_{m=1}^{N_i} (x_m^i - \mu)(x_m^i - \mu)^T = A_T A_T^T = S_W + S_B \quad (3.20)$$

Bu denklemlerde μ , eğitim setindeki tüm şablon imgelerin ortalama öznitelik vektörünü, μ_i ise i 'nci sınıfın ortalama vektörünü ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan matrisler $A_W \in R^{dxM}$, $A_B \in R^{dxC}$, $A_T \in R^{dxM}$ sırasıyla denklem 3.21'deki gibi hesaplanır (Gündüz, 2010);

$$\begin{aligned} A_W &= [x_1^1 - \mu_1 \dots x_{N_1}^1 - \mu_1 \quad x_1^2 - \mu_2 \dots x_{N_2}^2 - \mu_2 \dots x_{N_C}^C - \mu_C], \\ A_B &= [\sqrt{N_1}(\mu_1 - \mu) \dots \sqrt{N_C}(\mu_C - \mu)], \\ A_T &= [x_1^1 - \mu \dots x_{N_1}^1 - \mu \quad x_1^2 - \mu \dots x_{N_2}^2 - \mu \dots x_{N_C}^C - \mu], \end{aligned} \quad (3.21)$$

3.4.1 Temel Bileşenler Analizi

TBA standart boyut indirgeme yöntemidir. Bu yöntemle, büyük boyutlu trafik işareti uzayından doğrusal olarak daha düşük boyutlu bir özellik altuzayına dönüşüm gerçekleştirir (Özdamar ve Edizkan, 2014).

TBA yönteminde amaç, eğitim setindeki tüm şablon imge özniteliklerinin gösterildiği uzayda en iyi iz düşüm yönlerini bularak $J_{TBA}(W_{opt}) = \max |W^T S_T W|$ sütun matrisi W 'nin birimdik olduğu kısıt için ölçütü en iyilemektir (en büyükmektir). Formüledeki W , iz düşüm matrisini ifade etmektedir. Özellik çıkarımında iz düşüm vektörü olarak en büyük öz değerlere karşılık gelen öz vektörler seçilirse J_{TBA} en iyilenmiş olur. S_T matrisinin öz vektörleri temel bileşenler olarak adlandırılırlar. Bunun yanında S_T 'nin bütün öz vektörleri birimdik ve sıfıra eşit veya sıfırdan büyüktür. Öz değerler $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_{rt}$ şeklinde sıralandığında rt ($rt \leq d$) S_T 'nin rankını ifade eder (Gündüz, 2010).

S_T 'nin en büyük N adet öz değeri alınır. W matrisinin sütunları $[w_1 \ w_2 \ \dots \ w_N]$ bu öz değerlere karşılık gelen öz vektörlerden oluşturulur. Yeni özellik vektörleri denklem 3.22 kullanılarak hesaplanır.

$$y_m^i = W^T (x_m^i - \mu), \quad i = 1, 2, \dots, C, \quad m = 1, 2, \dots, N_i \quad (3.22)$$

Eğitim setindeki tüm şablon imgelerin öznitelik vektörlerinin bulunduğu uzayın boyutu olan d büyük olursa, saçılım matrisinin boyutu $S_T \in R^{d \times d}$ çok büyük olacaktır. Örneğin trafik tanıma işleminde bir imgenin boyutunu 50×50 seçtiğimiz için saçılım matrisinin boyutu 2500×2500 olacaktır. $S_T \in R^{d \times d}$ sayısal kararsızlık içerir. Fakat öz değerlere karşılık gelen öz vektörler daha küçük boyutlu olan $M \times M$ matrisinin öz vektörleri hesaplanarak bulunabilir. $S_T = A_T A_T^T$ olarak tanımlanır ve A_T denklem 3.23'deki gibi hesaplanır. verildiği gibidir. λ_k, ϑ_k 'nin sıfırdan farklı $A_T^T A_T \in R^{M \times M}$ olarak verilen, k 'nci öz değer ve o öz değere karşılık gelen öz vektörü olduğunu kabul edilir.

$$(A_T^T A_T) \vartheta_k = \lambda_k \vartheta_k, \quad k = 1, 2, \dots, rt \quad (3.23)$$

Denkleminin her iki tarafı A_T ile çarpılırsa denklem 3.24 elde edilir,

$$(A_T A_T^T) A_T \vartheta_k = \lambda_k A_T \vartheta_k, \quad k = 1, 2, \dots, rt \quad (3.24)$$

Denklem 3.24'de görüldüğü üzere $w_k = A_T \vartheta_k$, S_T 'nin sıfırdan farklı öz değerlere karşılık gelen k 'nci öz vektörüdür. Bu durumda optimal (en uygun) iz düşüm vektörleri 2500×2500 boyutlu büyük bir matris yerine üçgen işaretler için 1620×1620 boyutlu ve dairesel işaretler için ise 1530×1530 boyutlu daha küçük bir matris kullanılarak bulunmuş olur. Daha sonra optimal projeksiyon matrisleri W ler kullanılarak her bir sınıf için ayırt edici ortak vektörler (iz düşüm vektörleri) elde edilir. Böylece üçgen işaretler için 35 şablon iz düşüm vektörü ve dairesel işaretler için 33 şablon iz düşüm vektörü elde edilir. Sınıflandırmada bütün resimlerin ve sınıfların altuzaya izdüşümü saçılım matrisinden elde edilen W_{opt}^T matrisi kullanılarak bulunur.

Test imgesinin de aynı şekilde altuzaya izdüşümü alınır. Daha sonra test imgesi iz düşüm vektörleri ve sınıfları temsil eden iz düşüm vektörleri aralarındaki Öklid uzaklıklar bulunur ve test imgesi en küçük uzaklığı veren sınıfa atanır. Bu kısma ilişkin denklemler 3.34, 3.35 ve 3.36'da verilmektedir.

3.4.2 Doğrusal Ayırtaç Analizi

DAA yöntemi de TBA yöntemine benzer olarak ayırt edici öz nitelikleri seçen bir boyut indirgeme yöntemidir. Veri tabanının çok büyük olduğu durumda TBA yönteminden daha iyi tanıma sonucu vermektedir. (Lim et al., 2010). Bu yöntemde, iz düşüm yönleri, aynı sınıfa ait örneklerin birbirlerine uzaklıklarını en küçükleyecek, farklı sınıflara ait örneklerin birbirlerine uzaklıklarını ise en büyükleyecek şekilde belirlenir. Yani seçilen iz düşüm yönleri sayesinde sınıflar arası saçılım matrisi S_B büyültülmeye

çalışılırken, sınıf içi saçılım matrisi S_W küçültülmeye çalışılır (Gündüz,2010). DAA yönteminde W_{opt} denklem 3.25'deki gibi bulunur.

$$W_{opt} = \underset{W}{argmax} \frac{|W^T S_B W|}{|W^T S_W W|}, = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_m] \quad (3.25)$$

şeklinde olur. Burada $\{w_i \ i = 1, 2, \dots, m\}$, S_W ve S_B saçılım matrisleri için $\lambda_i \ i = 1, 2, \dots, m$ genelleştirilmiş öz değerlerine karşılık gelen m tane genelleştirilmiş öz vektörlerdir.

$$S_T w_i = \lambda_i S_W w_i, \ i = 1, 2, \dots, m \quad (3.26)$$

W_{opt} saçılım matrisi denklem 3.26'da verilen genelleştirilmiş öz değer problemi çözümlenerek bulunur ve m değerinin en üst sınırı da $C - 1$ 'dir. S_W matrisi, yetersiz veri olduğu durumlarda tekil olacaktır. Bu nedenle S_W matrisinin tersi alınamaz ve problem çözülemez. S_W matrisinin tekil olmasından kaynaklanan problem verilerin daha düşük boyuta indirgenmesiyle ortadan kaldırılabilir (Gündüz, 2010). Boyut indirgeme için TBA kullanılır, veriler öncelikle S_W matrisinin tekil olmadığı bir uzaya indirgenir. Ardından DAA uygulanır ve optimal projeksiyon matrisleri W 'ler kullanılarak her bir sınıf için ayırt edici ortak vektörler (iz düşüm vektörleri) elde edilir. En fazla $C - 1$ tane optimal iz düşüm vektörü elde edilir. Böylece üçgen trafik işaretleri için 35 tane ve dairesel trafik işaretleri için 33 tane optimal izdüşüm matrisi elde edilir. Sınıflandırmada bütün resimlerin ve sınıfların altuzaya izdüşümü saçılım matrisinden elde edilen ve matematiksel ifadesi denklem 3.27'de gösterilen W_{opt}^T matrisi kullanılarak bulunur.

$$W_{opt}^T = W_{DAA}^T W_{TBA}^T \quad (3.27)$$

olur. Burada W_{TBA}^T ve W_{DAA}^T denklemler 3.28 ve 3.29'dan elde edilir.

$$W_{TBA}^T = \underset{W}{argmax} |W^T S_T W| \quad (3.28)$$

$$W_{DAA}^T = \underset{W}{argmax} \frac{|W^T W_{TBA}^T S_B W_{TBA} W|}{|W^T W_{TBA}^T S_W W_{TBA} W|} \quad (3.29)$$

Test imgesinin de aynı şekilde altuzaya izdüşümü alınır. Daha sonra test imgesi iz düşüm vektörleri ile sınıfları temsil eden iz düşüm vektörleri aralarındaki Öklid uzaklıklar bulunur ve test imgesi en küçük uzaklığı veren sınıfa atanır. Bu kısma ilişkin denklemler 3.34, 3.35 ve 3.36'da verilmektedir.

3.4.3 Ayırt Edici Ortak Vektör Yaklaşımı

Bu yöntemde bir sınıfa ait ortak özellikler ortaya çıkarılırken, birbirinden farklı özellikler yok edilir. Ortak vektörler her bir sınıf için hesaplanırken sıfır olmayan öz vektörlerin doğrultuları o sınıfı temsil eden saçılım matrisinden çıkartılır. Bu bakımdan TBA yönteminden ayrılır. Bu yaklaşımın kullanılabilmesi için her sınıfta bulunan şablon imge öznitelik vektörü (örnek) sayısının bu imgelerin bulunduğu uzay boyutlarından küçük olması gerekir. AEOV yöntemi örnek sayısının yeterli olmadığı durumlarda kullanılır ve sınıf içi saçılım matrisinin sıfır altuzayını kullanır. Sınıf içi saçılım matrisi boyutların büyümesi ile birlikte S_W matrisi sıfır altuzayını doğuran birimlik vektör setini bulmak oldukça zordur. Fakat, S_W matrisinin sıfır altuzayındaki izdüşümlerini bulmak için, S_W matrisinin erim altuzayını doğuran vektör setinden yararlanılabilir (Gündüz, 2010).

S_W matrisinin erim altuzayı (range space) V , sıfır altuzayı (null space) ise V^\perp ile ifade edilir. Bu iki uzayın toplamı d -boyutlu örnek uzayı verir.

$$V \oplus V^\perp = R^d \quad (3.30)$$

Bu yöntemde eğitim setinden alınan her bir şablon imge öznitelik vektörü S_W matrisinin sıfır altuzayına gönderilir. Bu altuzaya indirgeden sonra, her bir sınıfın tüm resimleri o sınıfının ortak özelliklerini gösteren tek bir vektörle temsil edilir.

$$x_{com}^i = x_m^i - Px_m^i = Px_m^i, m = 1, 2, \dots, N, i = 1, 2, \dots, C \quad (3.31)$$

Diğer bir ifade ile denklem 3.31 gösterildiği gibi her sınıftaki öznitelik vektörleri, o sınıfı temsil eden ortak bir vektör üretir (Gündüz, 2010). Bu denklemdeki P matrisi V uzayının, P matrisi ise V^\perp uzayının izdüşümleridir.

Optimal iz düşüm vektörleri denklem 3.32'de verilen ifadenin en büyüklenmesinden elde edilir. Buna göre optimal iz düşüm vektörleri ortak vektörlerin toplam saçılımını en büyükleyen vektörler olacaktır.

$$J_{AEOV}(W_{opt}) = \underset{|W^T S_W W|=0}{argmax} |W^T S_B W| = \underset{|W^T S_W W|=0}{argmax} |W^T S_T W| \quad (3.32)$$

Ortak vektörlere ait saçılım matrisi S_{com} ise denklem 3.33 yardımıyla bulunur.

$$S_{com} = \sum_{i=1}^C (x_{com}^i - \mu_{com})(x_{com}^i - \mu_{com})^T, i = 1, 2, \dots, C \quad (3.33)$$

Bu denklemde x_{com}^i i 'nci sınıfın ortak vektörü, μ_{com} ise her sınıftan elde edilen ortak vektörlerin ortalamasıdır. Bu durumda S_{com} matrisinin sıfırdan farklı öz değerlerine karşılık gelen öz vektörler, optimal iz düşüm vektörlerini verir. Bu vektörlerin sayısı $r \leq C - 1$ 'dir ve S_{com} matrisinin kertesine eşittir (Gündüz, 2010). Daha sonra optimal projeksiyon matrisleri W ler kullanılarak her bir sınıf için ayırt edici ortak vektörler denklem 3.34'deki gibi bulunur. Böylece en fazla $C - 1$ tane optimal iz düşüm vektörü elde edilir. Deneysel çalışmalarda üçgen trafik işaretleri için 35 tane ve dairesel trafik işaretleri için 33 tane optimal izdüşüm matrisi elde edilir. Diğer bir ifade ile saçılım matrisinden elde edilen W matrisi kullanılarak sınıflandırma sırasında bütün resimlerin ve sınıfların altuzaya izdüşümleri bulunur.

$$\Omega_i = W^T x_m^i \quad \forall m \quad (3.34)$$

Test setindeki trafik işaret resimlerini ayırt edebilmek için bu örneklere ait öznitelik vektörleri denklem 3.35'deki gibi bulunur.

$$\Omega_{test} = W^T x_{test} \quad (3.35)$$

En sonunda öklid uzaklığı ile denklem 3.36'daki gibi test imgesi en küçük uzaklığı veren sınıfa atanır (Edizkan et al., 2013).

$$c^* = \operatorname{argmin}_i \|\Omega_i - \Omega_{test}\| \quad (3.36)$$

3.5 Ön İşlemler

Gerçek resimlerle yapılan çalışmalarda sınıflandırma aşmasından önce aday trafik işaretleri üzerine sınıflandırma başarımını artırmak için ön işlemler uygulanmıştır. Bu ön işlemler; renk filtrelemesi, aydınlatma etkisinin azaltımı (kontrast yayma veya dengeleme), morfolojik işlemler ve şekil analizidir.

3.5.1 Renk Filtrelemesi

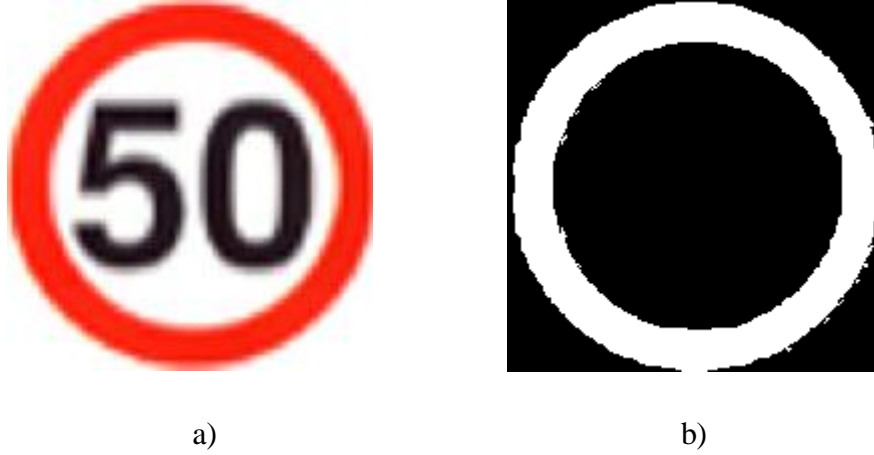
Renk filtrelemesi (analizi) çalışmamızda gerçek resimleri test etme aşmasında kullanılmıştır. Renk filtrelemesi çalışmamızda aday trafik imgelerinin arka planlarını süzgeçlemek ve çerçeve şekil bilgisi elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Renk filtrelemesi ile segmentasyon yapılarak işaretimizin çerçeve kısımlarının şekilleri belirlenmeye çalışılır. Böylelikle üçgen çerçeveli ve dairesel çerçeveli işaretler birbirinden ayrılır. Trafik işaretlerimiz kırmızı renkli çerçevelere sahip olduğu için kırmızı renk filtrelemesi yapılır (Şekil 3.17). Çalışmalarımız da renk filtrelemesinde RGB renk uzayı kullanıldığı gibi HSV renk uzayı da kullanılmıştır.

RGB renk uzayında her piksel kırmızı, yeşil ve mavi bileşenlerden oluşur. Buna bağlı olarak renk eşikleme denklem 3.37'deki gibi hesaplanır (Escalera et al., 1997);

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

$$g(x, y) = k_2 \quad \text{diğer durumlarda} \quad (3.37)$$

Denklem 3.30 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_α ve R_b trafik işaretleri içerisinde kırmızı olarak değerlendirilecek bölgeleri oluşturan piksellerin değer aralığını göstermektedir (Gürbüz, 2010).



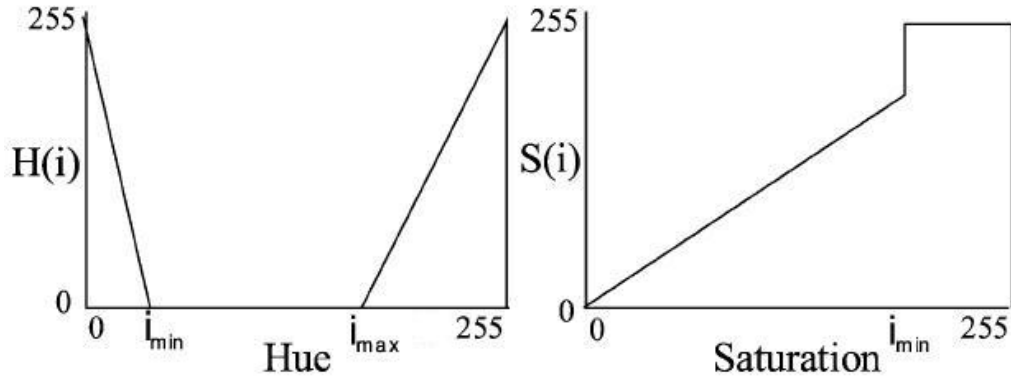
Şekil 3.17 RGB renk modeli ve kırmızı renk filtrelemesi: a) imgenin RGB uzayındaki görüntüsü, b) kırmızı renk filtrelemesi sonucu görüntüsü.

RGB renk uzayında renk eşikleme yapmanın en büyük dezavantajı ışık değişimlerine karşı fazla duyarlı olmasıdır. Resim dosyaları içerisinde, çevresel koşullardan kaynaklanan parlaklık sorununa karşı daha dayanımlı olduğu için aday trafik işaret imgemiz RGB renk uzayından HSV renk uzayına dönüştürülebilir. Fakat HSV renk uzayına dönüşümün doğrusal olmaması sebebiyle işlem süreleri RGB renk uzayına göre daha uzun olmaktadır. HSV (Hue, Saturation, Value) renk uzayında, renkler sırayla renk özü (H), doygunluk (S) ve parlaklık (V) olarak tanımlanır.

Renk özü, rengin baskın dalga uzunluğunu belirler, örneğin sarı, mavi, yeşil, vb. Açısal bir değerdir ($0^\circ - 360^\circ$) ama bazı uygulamalarda 0-100 arası ölçeklenir.

Doygunluk, rengin "canlılığını" belirler. Yüksek doygunluk canlı renklere neden olurken, düşük doygunluk rengin gri tonlarına yaklaşmasına neden olur. Doymunluk değeri 0-100 arasında değişir. Parlaklık ise rengin aydınlığını yani içindeki beyaz oranını belirler. Bu da 0-100 arasında değişir.

Renk özü kanalının piksel değerleri 0-255 arasında değişen bir resim için; 0 kırmızı, 85 yeşil, 170 mavi, 255 kırmızıdır (Şekil-3.18).



Şekil 3.18 HSV renk sınıflandırma tabloları (Paclik and Novovicova, 2000).

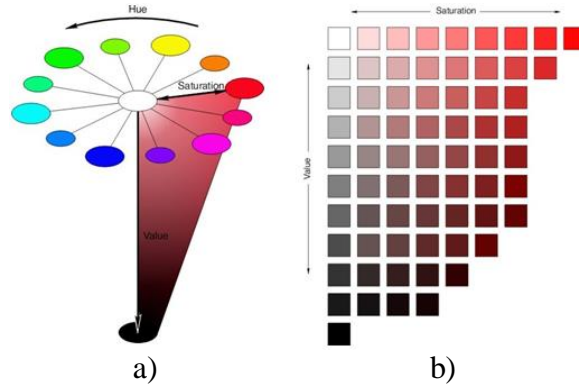
Renk özü kanalı için oluşturulan tablonun formülü denklem 3.38’de verilmiştir. Formülde i , eski renk özü (Hue) değerini ve $H(i)$, yeni renk özü değerini göstermektedir (Gürbüz, 2010);

$$H(i) = \begin{cases} 255 \frac{i_{min}-i}{i_{min}} & 0 \leq i \leq i_{min} \\ 0 & i_{min} \leq i \leq i_{max} \\ 255 \frac{i-i_{max}}{i_{max}} & i_{max} \leq i \leq 255 \end{cases} \quad (3.38)$$

Doygunluk kanalı için oluşturulan tablonun formülü denklem 3.39’da verilmiştir (Gürbüz, 2010);

$$S(i) = \begin{cases} i & 0 \leq i \leq i_{min} \\ 255 & i_{min} \leq i \leq 255 \end{cases} \quad (3.39)$$

Şekil-3.19’da HSV renk modelinde kırmızı rengin Renk Özü, Doygunluk ve Parlaklık kanallarındaki değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 3.19 HSV renk modeli (Piccioli et al., 1996): a) HSV modelinde belirli bir Hue değeri için Saturation/Value kesiti, b) kırmızı Hue değerinde örnek Saturation/Value değişimleri.

Matlab programında kırmızı renk filtrelemesi yapılırken aşağıdaki tabloda verilen HSV değerleri ve kuralları kullanılmıştır. Bu tabloda ayrıca ülkemizde ve yabancı ülkelerde trafik işaretleri için kullanılan; sarı, beyaz, siyah ve mavi renkleri için de HSV değerleri ve kuralları verilmiştir (Çizelge 3.1). Çizelge 'de uygulamamızda kullanılan kırmızı renk değerleri koyu ile gösterilmiştir. Örnek resme uygulanan kurallardan sonra ikili eşikleme yapılarak resimler kırmızı, mavi, sarı resimler olarak kolaylıkla ayrılabilir. Şekil 3.20-3.24'de örnek resmimizin HSV renk uzayının 3 kanalındaki görüntüleri ve kırmızı renk filtresinin uygulanması gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 HSV renk değerleri (Can Kuş, 2008)

Renk	Kural	
Sarı	$0,05 < H < 0,2$ $0,52 \leq S$ $0,27 \leq V$	
Kırmızı	$H \leq 0,036$ $0,45 \leq S$ $0,23 \leq V$	$0,93 \leq H$ $0,16 \leq S$ $0,23 \leq V$
Siyah	$H = 0$ $S = 0$ $V = 0$	$0,54 \leq H \leq 0,66$ $0,135 \leq S \leq 0,48$ $0,23 \leq V \leq 0,47$
	$0,54 \leq H \leq 0,61$ $0,507 \leq H \leq 0,725$ $0,155 \leq H \leq 0,245$	$0,5 \leq H \leq 0,7$ $V \leq 0,01$
Beyaz	$S \leq 0,61$ $0,25 \leq V$	
Mavi	$0,5 \leq H \leq 0,68$ $0,23 \leq V$ $0,22 \leq V$	



Şekil 3.20 Örnek resmin HSV renk uzayında görüntüsü.



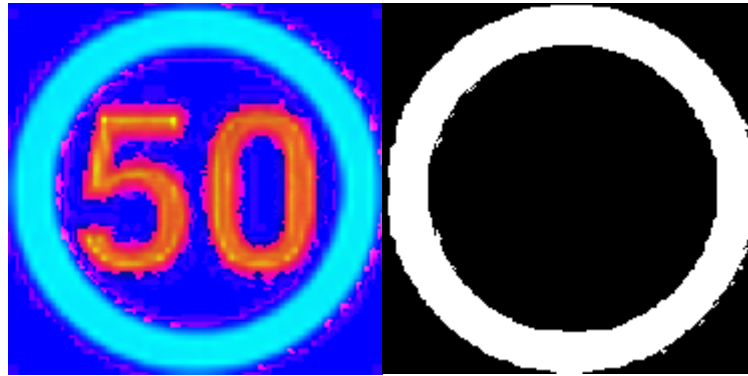
Şekil 3.21 Örnek resmin Hue kanalının görüntüsü.



Şekil 3.22 Örnek resmin Saturation kanalının görüntüsü.



Şekil 3.23 Örnek resmin Value kanalının görüntüsü.



Şekil 3.24 HSV renk modeli ve kırmızı renk filtrelemesi: a) imgenin HSV uzayındaki görüntüsü, b) kırmızı renk filtrelemesi sonucu görüntüsü.

3.5.2 Aydınlatma Etkisinin azaltılması

Aydınlatma etkisinin azaltılması çalışmamızda gerçek trafik işareti resimlerini test ederken kullanılmıştır. Aydınlanma etkisini azaltılmak için iki kez kontrast yayma (dengeleme) işlemi yapılır. İlk olarak kontrast yayma işlemi aday trafik işaretinin RGB kanallarının her birine uygulanır (Şekil 3.25 ve Şekil 3.26). İkinci olarak kontrast yayma

işlemi renk filtrelemesi ve arka plan çıkartımı ve morfolojik işlemler sonucunda elde edilen griseviye imgelere uygulanır (Şekil 3.27).

Kontrast imgedeki açık ve koyu renkler arasındaki farkların daha çok veya az olması şeklinde ifade edilebilir. Kontrast (karşıtlık) yayma amacı, bir görüntü üzerindeki renk tonlarını daha belirgin hale getirmek ve görüntünün görsel yorumlana birliğini artırmaktır. Tek ve çok kanallı görüntülere uygulanabilen bu yöntem, görüntü yorumlamayı içeren birçok bilim dalında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kontrast yaymanın kontrast artırmadan farkı dinamik olmasıdır. Yayma hesaplanırken; her noktanın değeri sabit bir sayı ile çarpılmak yerine, her noktanın histogramdaki yerine göre farklı bir sayı ile çarpılarak hesaplanır. Bu işlem sonucunda, mevcut histogram fazla bozulmaz, sadece iki yana doğru esnetilmiş olur. Matlab’da bunun için `imadjust` fonksiyonu kullanılır.

Matlab’da `imadjust` komutu orjinal resimdeki kontrastın yayılması sağlamaktadır. Diğer bir ifade ile renklerin açıklık koyuluk farkı artırılır ve daha belirgin (renk farklarının daha belirgin olduğu) resimler elde edilir.

$$J = \text{imadjust}(I, [\text{low_in}; \text{high_in}], [\text{low_out}; \text{high_out}], \text{gamma});$$

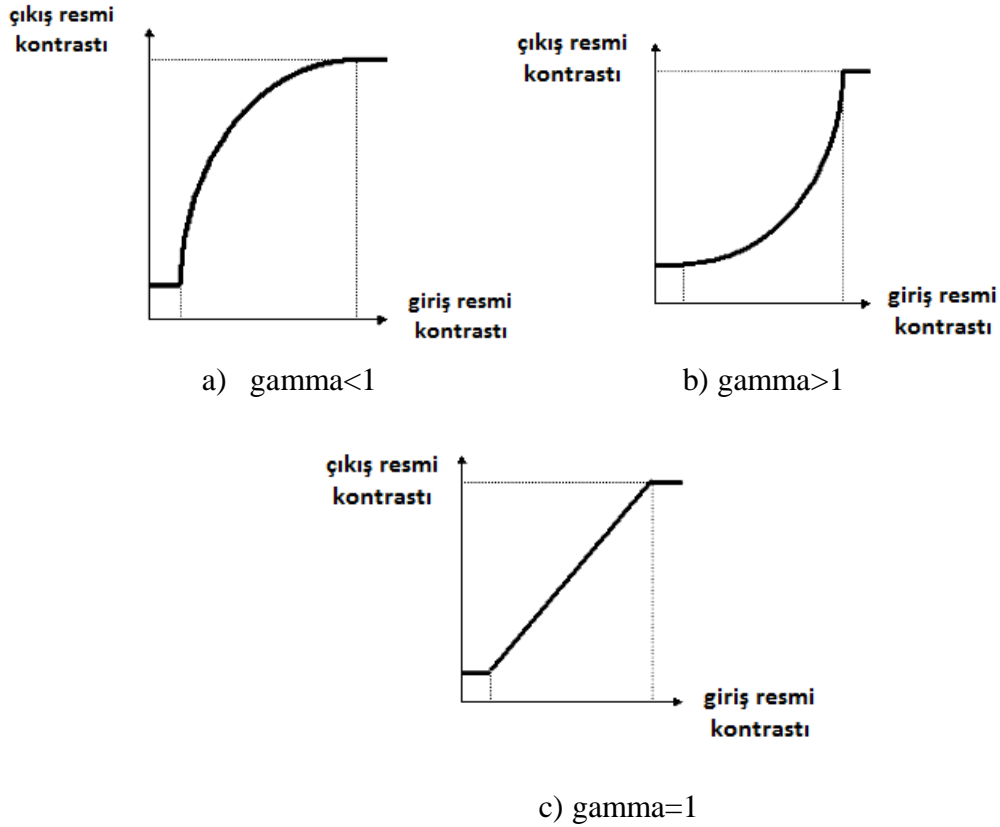
J : çıkış resmini,

I : giriş resmini,

`low_in` veya `low_out`: imgedeki kontrastın en küçük değerlerini,

`high_in` veya `high_out`: imgedeki kontrastın en büyük değerlerini göstermektedir.

Gamma ise giriş çıkış resimleri arasındaki kontrast artırma ilişkisini tanımlayan bir parametredir. Gamma değeri büyüdükçe düşük, küçüldükçe yüksek kontrast ibaresi kullanılır. Gamma değeri varsayılan (default) olarak 1 seçilmektedir. Gamma değeri 1 seçilmesi giriş ve çıkış resimleri arasında lineer bir kontrast artırımını olduğunu gösterir. Gamma değeri 1’den küçükse daha parlak bir resim elde ederiz. Gamma değeri 1’den büyükse daha karanlık bir resim elde ederiz.



Şekil 3.25 Farklı gamma değerleri için iletim seviyesi (kontrast artırımı) özellikleri (Galyamichev, 2010) : a) $\gamma < 1$, b) $\gamma > 1$, ve c) $\gamma = 1$.

Tez çalışmasında (Galyamichev, 2010) çalışmasında kullanmış olan doğrusal kontrast yayma ($\gamma = 1$) kullanılmıştır. Doğrusal kontrast yaymada resimde ortaya çıkan en düşük ve en yüksek parlaklık değerleri 0 ile 255 arasına doğrusal olarak yayılır. Bu amaçla önce görüntüdeki alt ve üst sınır parlaklık değerleri seçilir. Alt sınır 0 (siyah) ve üst sınır 255 (beyaz) parlaklık değerlerine eşit alınarak ara değerler ölçeklendirilir. Kontrast yaymada öncelikle giriş resmindeki en büyük ve en küçük piksel değerleri bulunur. Daha sonra denklem 3.40'deki formül uygulanılarak imge (resim) üzerinde kontrast yayma işlemi yapılır (Galyamichev, 2010).

$$PDO = \frac{(PD1-AD) \times 255}{UD-AD} \quad (3.40)$$

PDO: çıkış resmindeki pikselin parlaklık değerini,

PD1: giriş resminde seçilen pikselin parlaklık değerini,

UD : giriş resmindeki en yüksek parlaklık değerini,

AD : giriş resmindeki en düşük parlaklık değerini göstermektedir.



a) orijinal resim,

b) gamma=1



a) gamma<1 (0,5)

b) gamma>1(2,5)

Şekil 3.26 RGB formatında aydınlanma etkisinin azaltılması (Galyamichev, 2010): a) orijinal resim, b) gamma=1 değerinde aydınlanmış resim, c) gamma=0,5 değerinde aydınlanmış resim ve d) gamma=2,5 değerinde aydınlanmış resim.

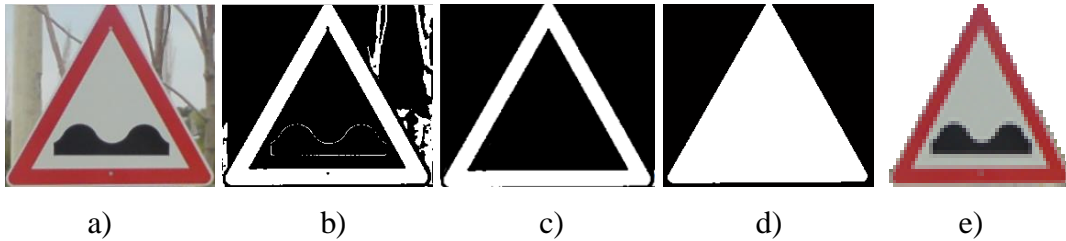


Şekil 3.27 Kontrast yayma: a) orijinal resim, b) griseviye resim ve c) kontrastı yayılmış resim.

3.5.3 Morfolojik İşlemlerin Uygulanması

Morfolojik işlemler, bir imge içerisindeki çıkarmak veya ayırt etmek istediğimiz nesnelere veya bölgeyi imge içerisindeki diğer bölgelerden veya nesnelere ayırt etmek veya çıkarmak için kullanılmaktadır. Uygulamamızda morfolojik işlemlerden önce açma işlemi uygulanır. Açma işlemi resim üzerindeki küçük nesnelere yani gürültüyü kaldırmak için kullanılır. Daha sonra kapama işlemi uygulanmaktadır. Kapama işlemi ile bir imge içerisindeki birbirine yakın iki nesne imgede fazla değişiklik yapılmadan birbirine bağlanmış olur. Açma ve kapama işlemlerine ait matematiksel ifadeler (Karhan et al., 2011)'de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

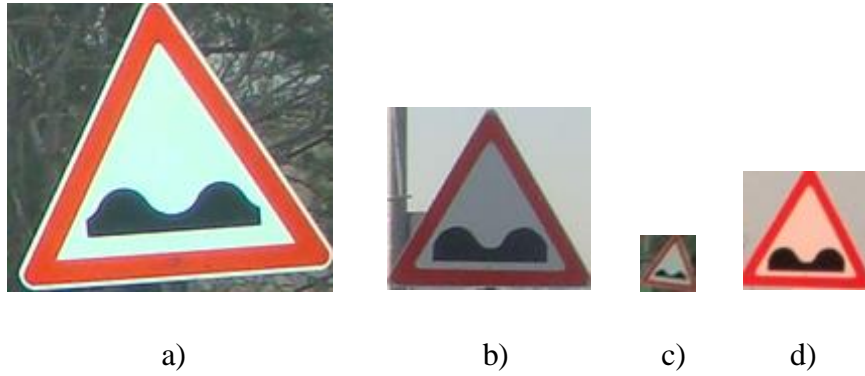
Matematiksel morfoloji hem renk filtrelemesinde, hem de arka plan çıkarımında kullanılmaktadır (Şekil-3.28.c).



Şekil 3.28 “Kasisli Yol” trafik işaretine morfolojik işlemler uygulanması ve arka plan çıkarımı: a) orijinal, b) kırmızı renk filtreli, c) morfolojik işlem uygulanmış, d) çerçeve içi doldurulmuş ve e) arka plan çıkarılmış.

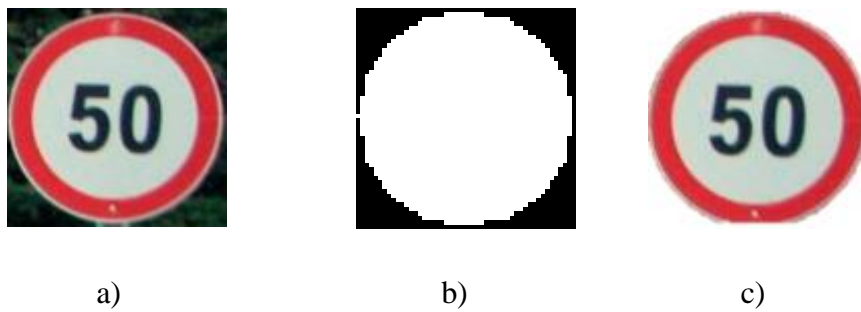
3.5.4 Şekil Analizi

Gerçek resimlerle yapılan deneylerde şekil analizi sınıflandırma aşamasından önce hem üçgen, hem de dairesel trafik işaretleri arka plandan kurtarmak için kullanılmıştır. Trafik işaretlerini arka plandan kurtarmak için öncelikle farklı ölçekteki trafik işareti imgeleri 50×50 piksel boyutundaki karesel imgelere çevrilir. Aynı sınıftan orijinal trafik işaret imgelerinin karesel boyutlu olmamaları önemli bir sorundur (Şekil 3.29). Aynı boyuta normalize etme nedeniyle resimlerde kayma ve bozulma meydana gelmektedir.

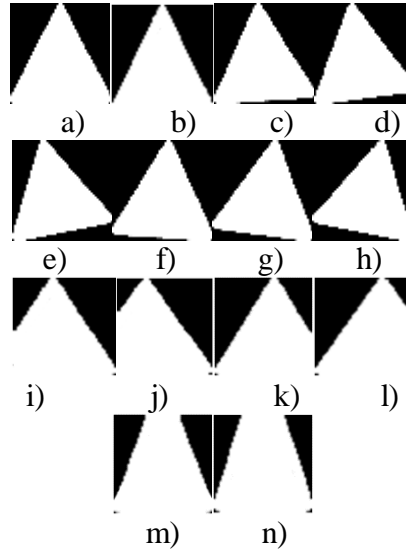


Şekil 3.29 “Kasisli Yol” trafik işareti a) 162x144 boyutlu, b) 101x91 boyutlu, c) 28x28 boyutlu ve d) 64x59 boyutlu.

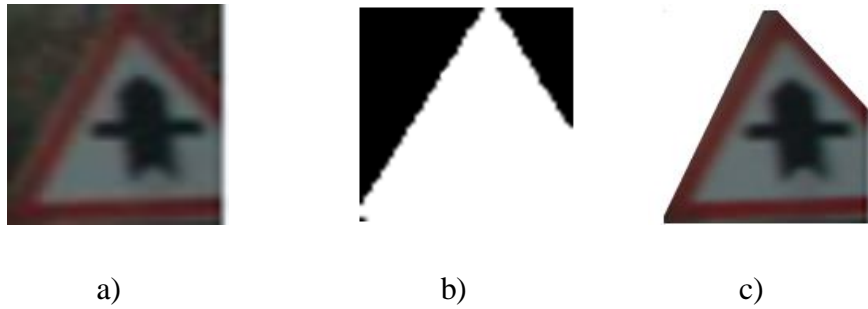
50 × 50 piksel boyutundaki dairesel aday trafik işareti imgeleri Şekil 3.30.b’deki maske ile karşılaştırılır ve Şekil 3.30.c’deki gibi arka plan atılır. Üçgen trafik işaretleri aday imgeleri ise Şekil 3.31’deki 50 × 50 piksel boyutundaki her bir maske ile karşılaştırılır ve Şekil 3.32’deki gibi arka planından kurtarılmış olur. Üçgen maskeleri aday trafik imgesi ile karşılaştırma işleminde kullanılan yöntem şablon eşlemedir. Şablon eşleme işlemi Normalize Edilmiş Çapraz Korelasyon (NEÇK) yöntemi ile yapılır. NEÇK yönteminin matematiksel olarak hesaplanması denklem 3.41’de gösterilmektedir (Gürbüz,2010).



Şekil 3.30 Seçilen imge: a) orjinal işaret, b) dairesel maske ve c) maskelenmiş işaret.



Şekil 3.31 Binary üçgen 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) sağa 15 piksel, l) sağa 15 piksel, m) yukarı 15 piksel ve n) yukarı 20 piksel.



Şekil 3.32 Seçilen imge: a) orijinal işareti, b) üçgen maske ve c) maskelenmiş işaret.

Sırasıyla aday imgelerinin her bir maske imgesi ile eşleştirilmesi sonucu en yüksek değeri veren karşılaştırma sonucu, dikdörtgen içerisindeki trafik işaretinin çerçevesinin üçgen mi yoksa daire mi olduğuna karar verilir.

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

$$R_{ccor_normed}(x, y) = \frac{R_{ccorr}(x, y)}{Z(x, y)} \quad (3.41)$$

3.6 Şablon Eşleme

Şablon eşleme yöntemi altuzay yöntemlerinin sınıflandırma başarımlarını karşılaştırmak için sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır. Test yaptığımız bilinmeyen 50×50 piksel boyutundaki aday trafik işaret imgesi, eğitim seti veri tabanındaki 50×50 piksel boyutundaki sınıfları belli olan her bir trafik işaret şablonu ile karşılaştırılır ve bu işlem sonucunda benzerlik oranı en iyi olan şablon trafik işaretinin sınıf adı bilinmeyen imgemize sınıf adı olarak atanır ve böylelikle tanıma işlemi sonuçlandırılmış olur. Bu karşılaştırma denklem 3.42'de gösterilen Normalize Edilmiş Kareler Farkı (NEFK) yöntemi ile yapılır (Gürbüz, 2010). Veri tabanında en düşük eşleme değerine karşılık gelen resim aradığımız trafik işareti olarak kabul edilir.

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

$$R_{sq_diff}(x, y) = \sum_{x', y'} [T(x', y') - I(x + x', y + y')]^2 \quad (3.42)$$

$$R_{sq_diff_normed}(x, y) = \frac{R_{sq_diff}(x, y)}{Z(x, y)}$$

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmalarda yapay trafik işaretleri ve gerçek resimlerden oluşan 2 farklı deney seti kullanılmıştır. Veri tabanlarındaki imgelerden Griseviye, YGH, YİÖ, YFK ve Gabor yöntemleri ile öznitelik vektörleri elde edilmiştir. Öznitelik vektörleri; TBA, DAA ve AEOV altuzay yöntemleri ile işlenerek trafik işaret tanıma yapılmıştır. Altuzay yöntemlerinin tanıma performansları ŞE yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

4.1 Yapay Trafik İşaretleri İle Yapılan Deneysel Çalışmalar

Yapay veri tabanından rastgele 10 farklı eğitim ve test setleri elde edilmiştir. Test setindeki herhangi bir imge eğitim setinde bulunmamaktadır. Deneysel çalışmalarda Çizelge 4.1’de gösterilen 8 farklı veri grubu kullanılmıştır. Çizelge 4.1’de deney gruplarında her bir sınıftan alınan eğitim ve test imge sayıları gösterilmiştir. Deneysel çalışmalarda trafik işaretlerini betimlemek için Griseviye, YGH, YİÖ, YFK ve Gabor imge tanımlayıcıları (öznitelikler) kullanılmıştır. İmge tanımlayıcıları ile veri tabanındaki her bir imge için öznitelik vektörleri elde edilmiştir. Uygulanmada imge betimleyicilerin nasıl elde edildiği bölüm 3.3’de anlatılmıştır. Öznitelik vektörleri; bölüm 3.4’de anlatılan TBA, DAA ve AEOV altuzay yöntemleri ile işlenerek trafik işareti tanıma yapılmıştır. Her bir veri grubu için 10 kez rastgele oluşturulmuş eğitim ve test seti tanıma sonuçlarının varyansları, standart sapmaları ve ortalamaları hesaplanmıştır. Altuzay yöntemlerinin tanıma performansları, şablon eşleme yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

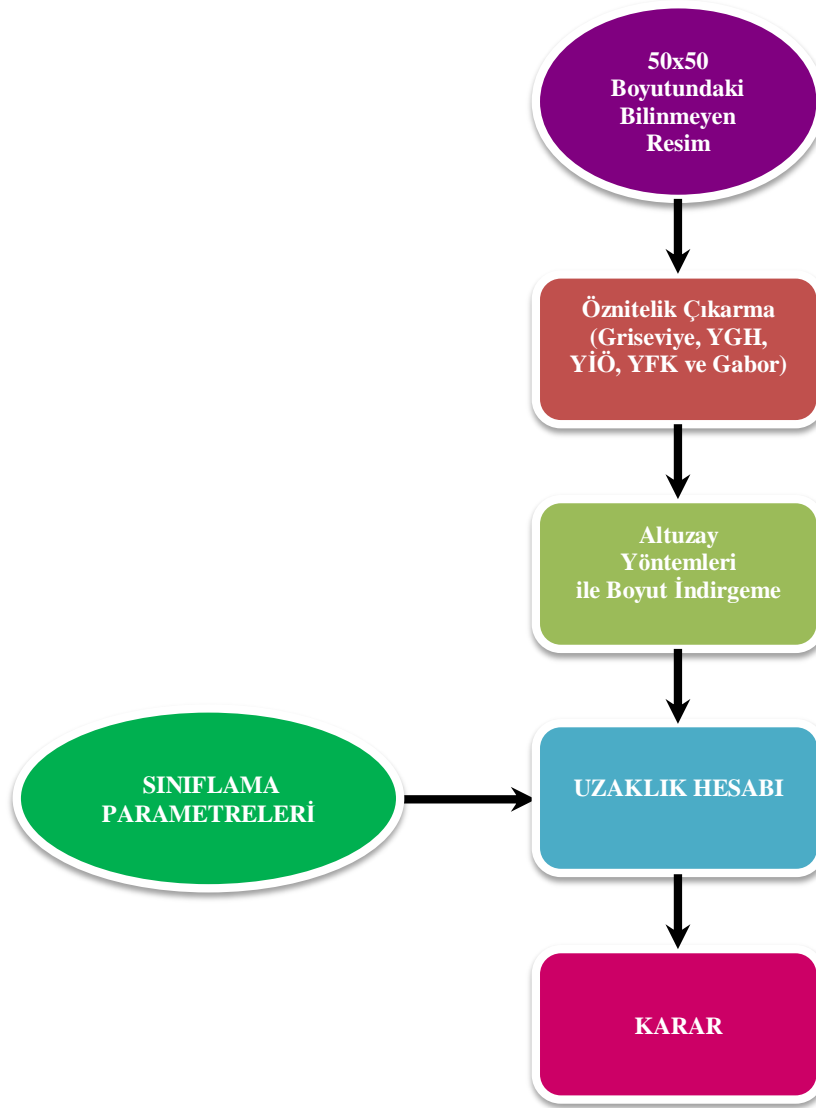
Çizelge 4.1 Deneyleerde Kullanılan Veri Grubu

Grup No	VERİ GRUBU	
	Eğitim	Test
1	4	2
2	8	4
3	12	6
4	16	8
5	20	10
6	24	12
7	28	14
8	30	15

Geliştirilen uygulamada sınıflandırma başarımı etkileyecek parametrelerden biri olan $k = \frac{\text{Eğitim İmgesi sayısı}}{\text{Test İmgesi sayısı}}$ oranı belirlenmeye çalışılmıştır. $k = 2; 3; 5; 8; 21,5$ için deneyler yapılmıştır. Deneyleer sonucunda k değeri 2 (iki) seçilmiştir.

Geliştirilen uygulamada sınıflandırma başarımı etkileyecek parametrelerden biri olan temel bileşenlerin % kaçının kullanılacağını gösteren *PCA Oranı (PCARatio)* oranında belirlenmeye çalışılmıştır. $PCARatio = 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9$ ve $0,98$ için deneyler yapılmıştır. Deneyleer sonucunda *PCAOranı*'nin en uygun değeri $0,9$ seçilmiştir. TBA, AEOV ve DAA yöntemlerinde bu parametrenin küçük seçilmesi öznitelik vektör boyutunu küçültmekte ve böylelikle hız avantajına sebep olmaktadır.

Veri tabanı ile yapılan trafik işareti tanıma çalışmasına ait blok şeması Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Trafik İşaret Tanıma Blok Şeması

4.1.1 Gürültüsüz Eğitim ve Test Seti Uygulaması

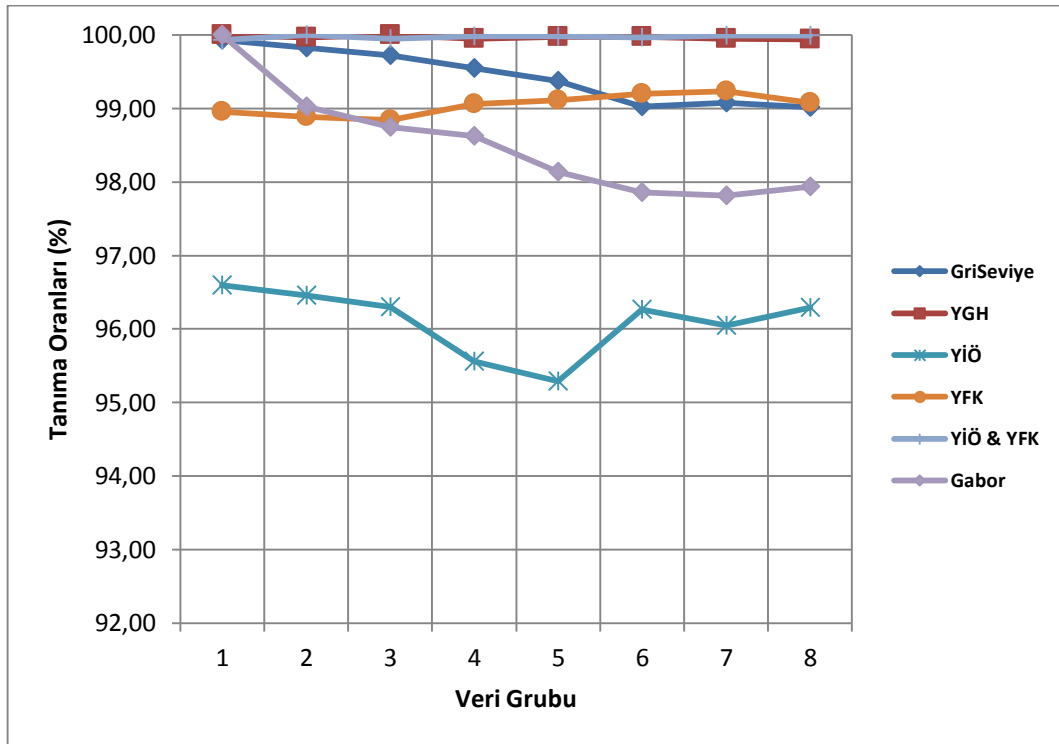
Yapılan deneylerde veri tabanının gürültü içermeyen bölümü kullanılmıştır. Bu deneylerde kullanılan trafik işaret imgelerinin kısmen dönmüş olma ve kısmen engellenmiş olma sorunları vardır. Bu deneylerde ışık etkisi ve gürültü sorunu göz ardı edilmiştir. Bu bölümdeki toplam imge sayısı üçgen işaretler için $36 \times 45 = 1620$ ve dairesel işaretler için $34 \times 45 = 1530$ 'dur. Çizelge 4.1'de gösterilen veri gruplarının her biri için rastgele 10 farklı seçimle veri tabanından eğitim ve test setleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.4 Üçgen İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları

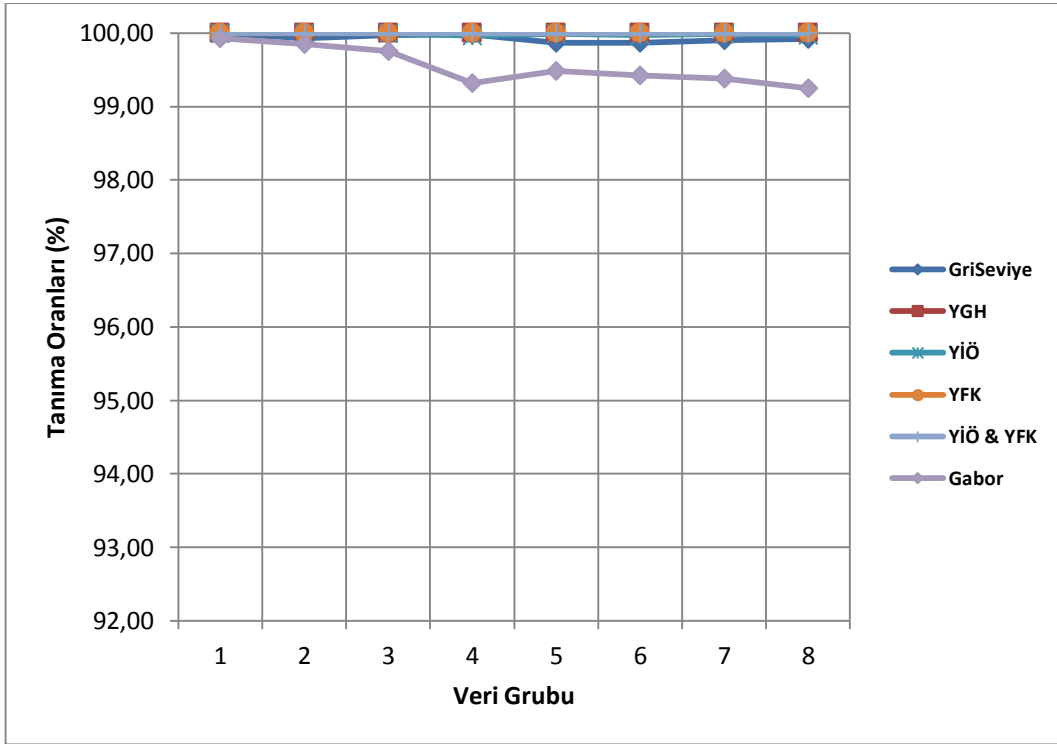
Altuzay Yöntemi	Öznitelik Çıkarma Yöntemleri					
	Griseviye	YGH	YİÖ	YFK	YİÖ-YFK	Gabor
AEOV	84,58	98,38	86,27	90,01	93,92	85,63
TBA	78,09	90,72	24,09	20,15	56,48	50,89
DAA	58,46	33,36	89,84	91,23	77,43	82,37
ŞE	95,31	98,03	81,64	78,96	90,93	86,11

Çizelge 4.5 Dairesel İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları

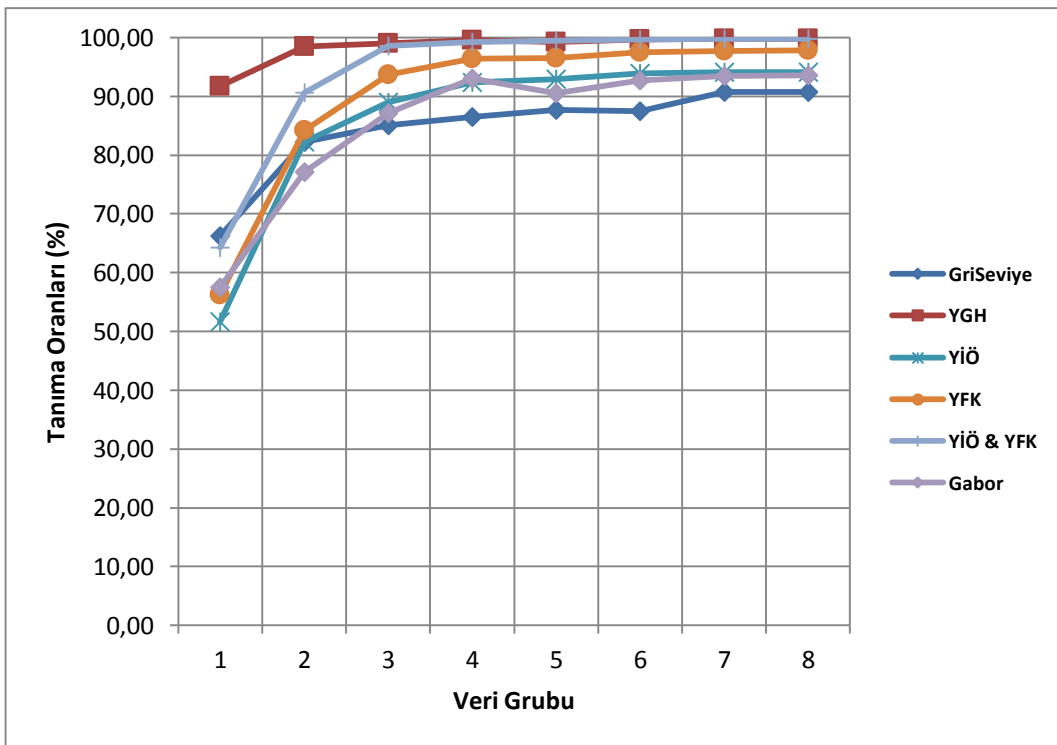
Altuzay Yöntemi	Öznitelik Çıkarma Yöntemleri					
	Griseviye	YGH	YİÖ	YFK	YİÖ-YFK	Gabor
AEOV	91,16	99,25	97,35	99,50	98,82	90,42
TBA	82,11	95,44	59,81	62,55	64,73	62,26
DAA	83,78	97,57	96,55	98,20	95,53	80,13
ŞE	93,04	98,94	94,28	97,39	95,77	83,70



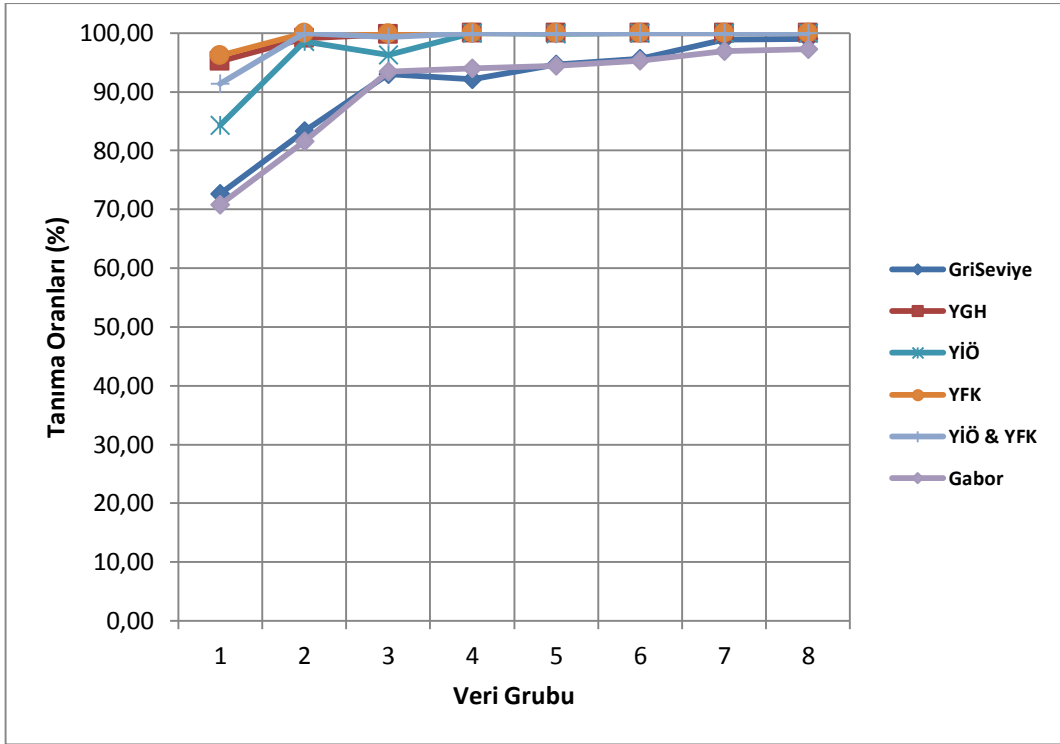
Şekil 4.2 Üçgen İşaretler için AEOV yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları



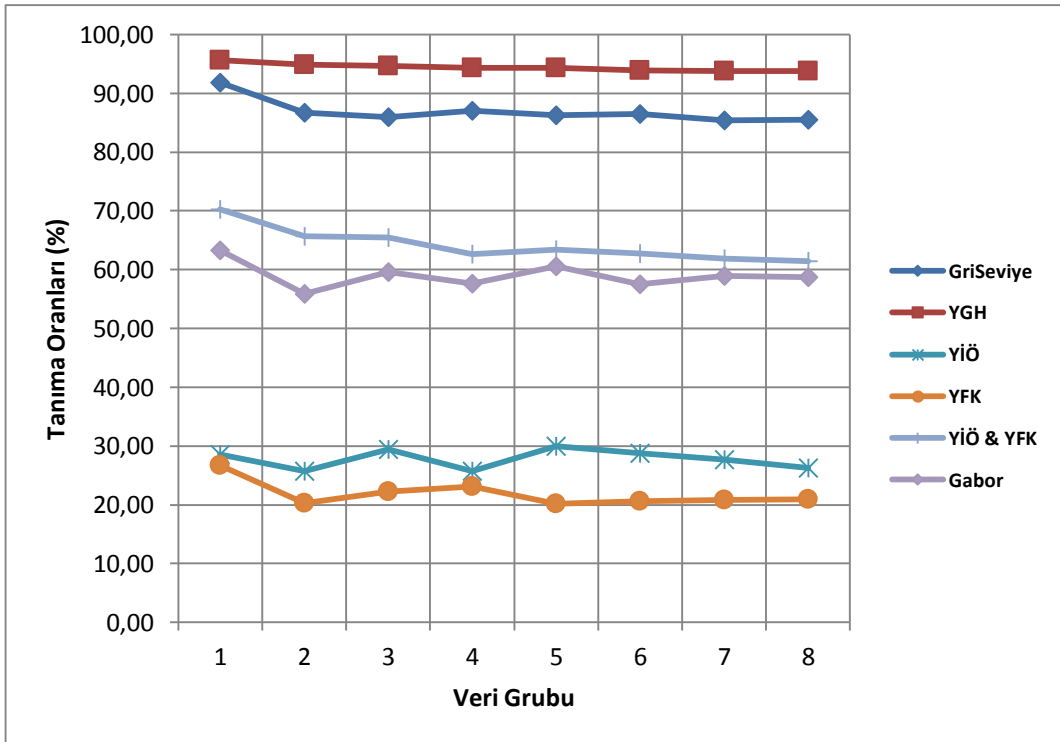
Şekil 4.3 Dairesel İşaretler için AEOV yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları



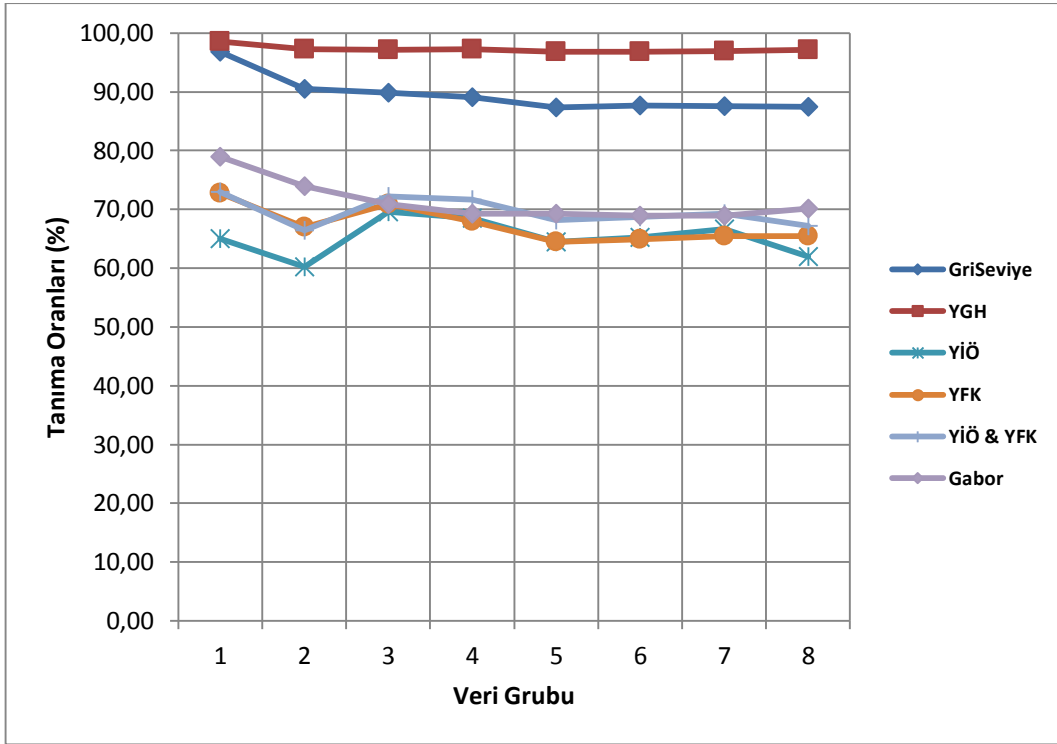
Şekil 4.4 Üçgen İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



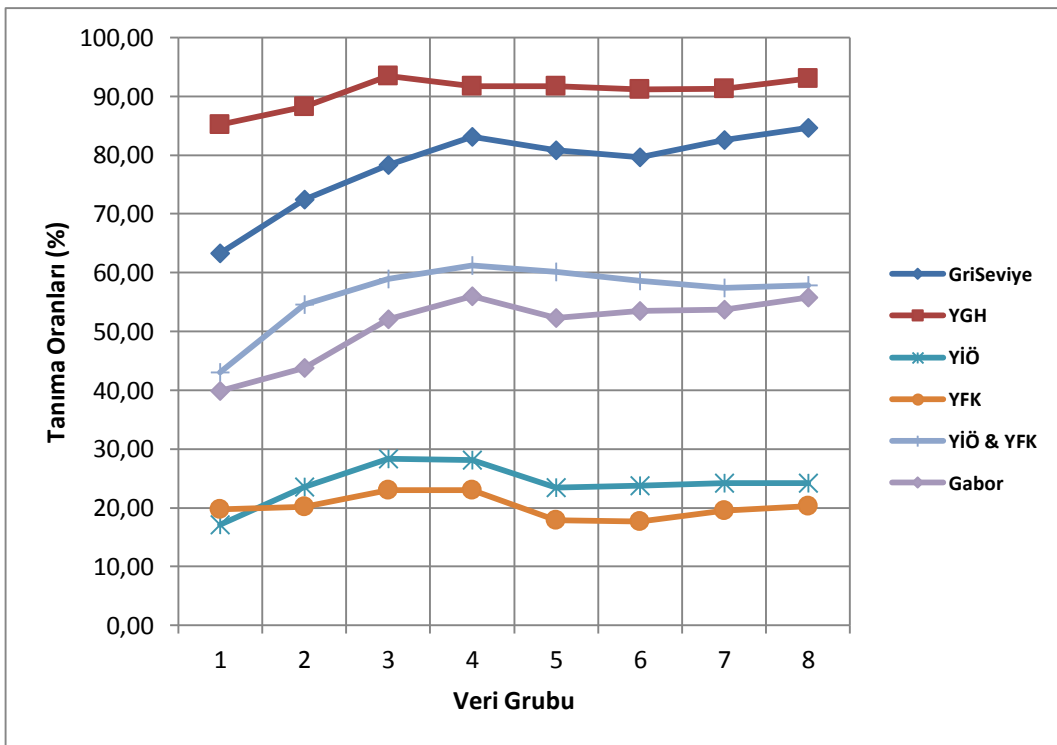
Şekil 4.5 Dairesel İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



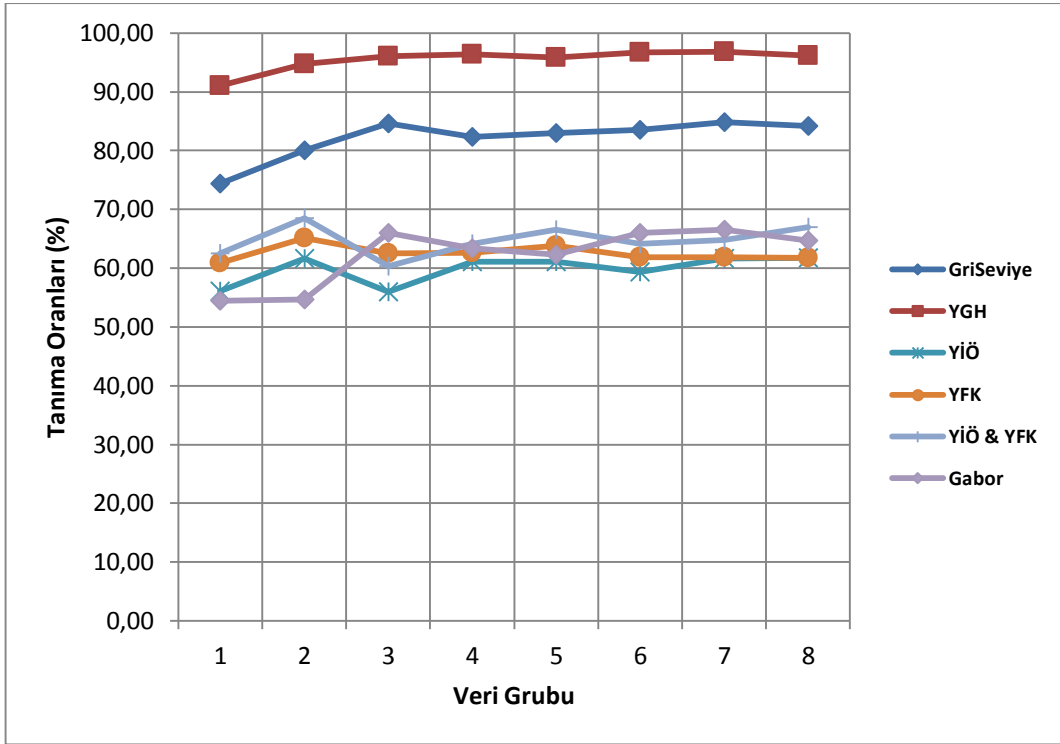
Şekil 4.6 Üçgen İşaretler için TBA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları



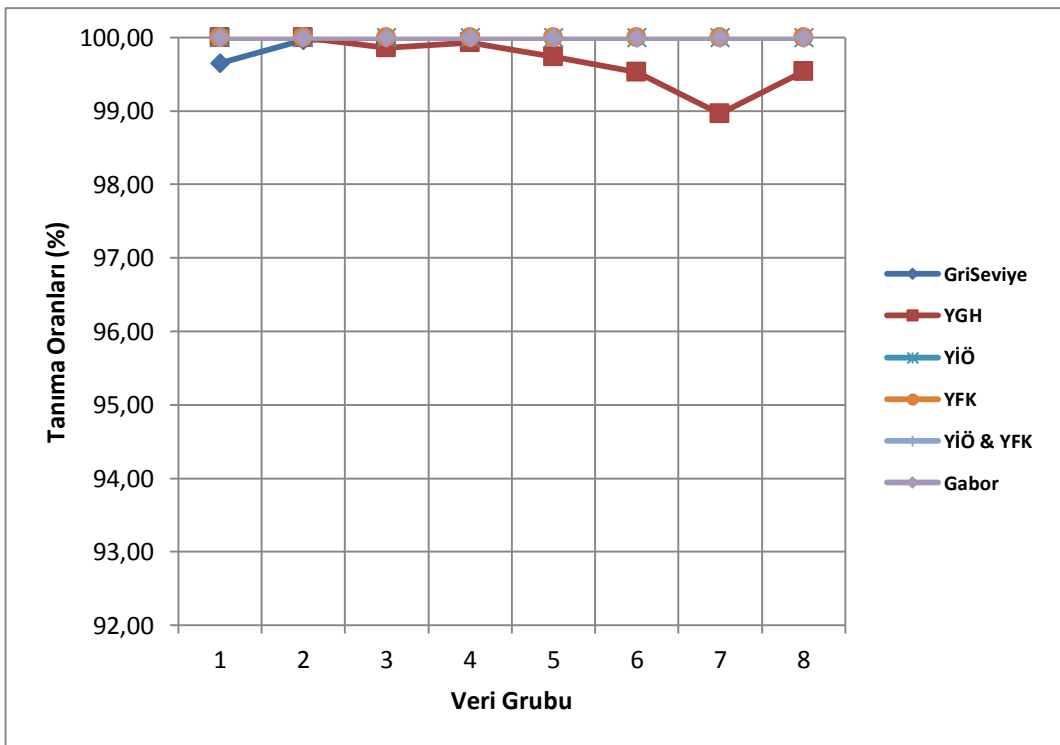
Şekil 4.7 Dairesel İşaretler için TBA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları



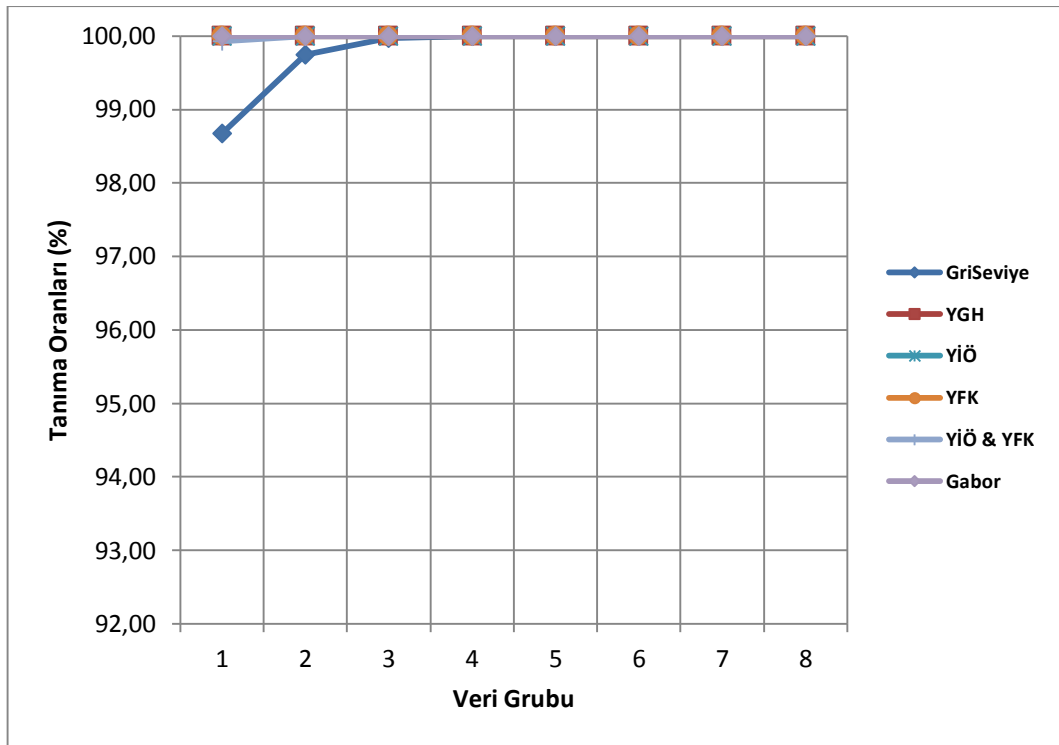
Şekil 4.8 Üçgen İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



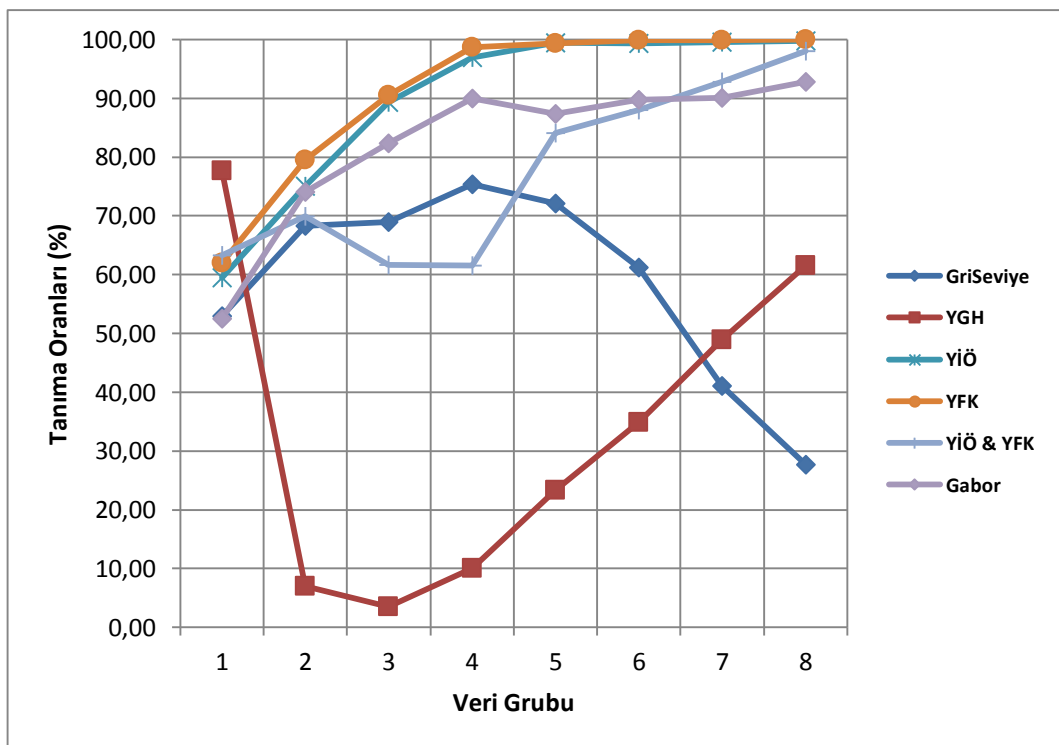
Şekil 4.9 Dairesel İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



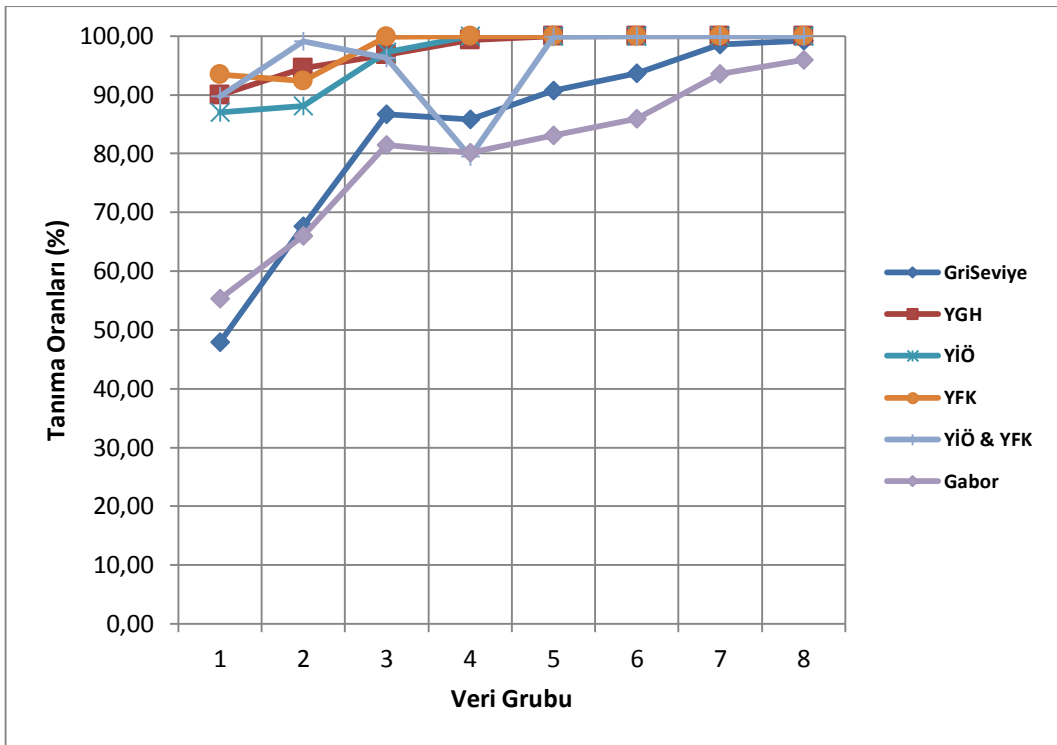
Şekil 4.10 Üçgen İşaretler için DAA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları



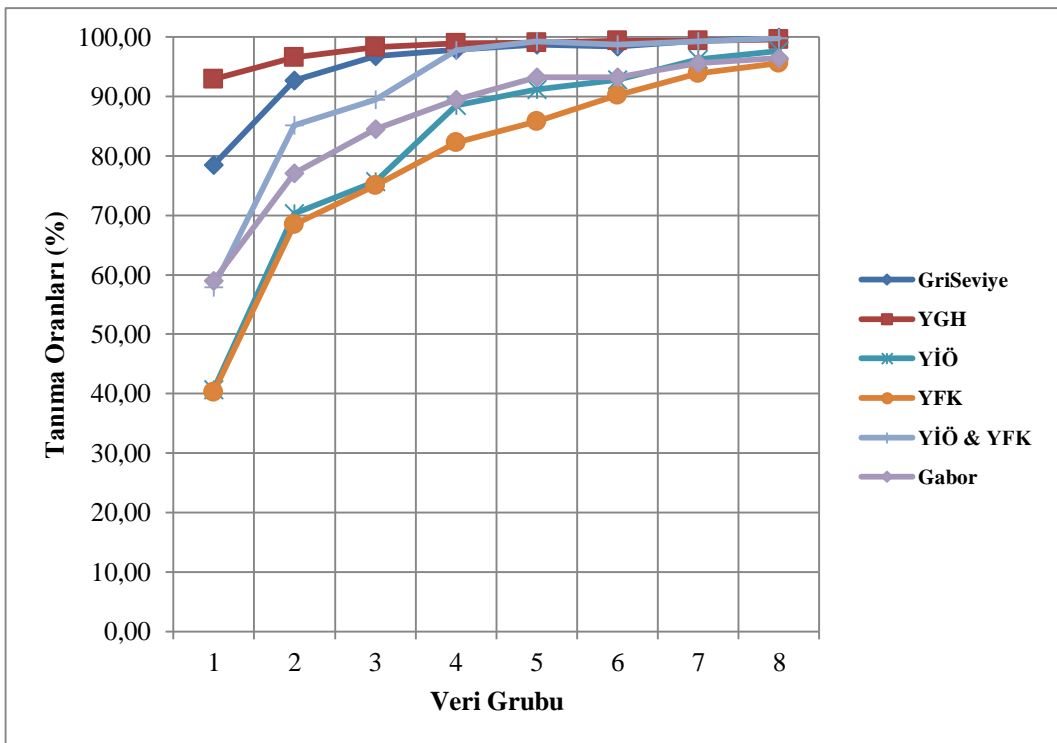
Şekil 4.11 Dairesel İşaretler için DAA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları



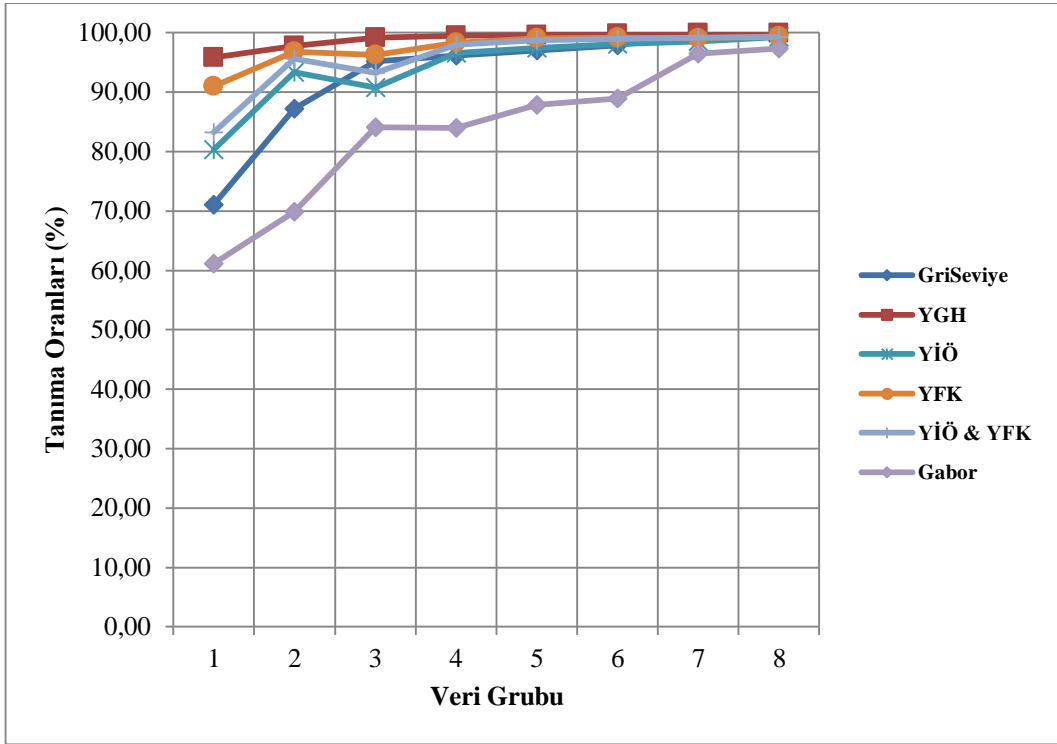
Şekil 4.12 Üçgen İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



Şekil 4.13 Dairesel İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



Şekil 4.14 Üçgen İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



Şekil 4.15 Dairesel İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları

Tanıma(sınıflandırma) sonuçlarına göre en başarılı çıkan öznelik YGH olmuştur. Çizelgelerden de görüldüğü gibi dairesel trafik işaretlerinin tanınması üçgen trafik işaretlerine göre daha kolaydır. Bu durumun tek istisnası Gabor öznelikleridir. Sonuçlarda en dikkat çekici husus griseviye ve YGH öznelikleri için DAA yönteminin üçgen test setlerindeki işaretleri için yeterince ayırt edici olamamasıdır.

Altuzay yöntemleri arasında geliştirilen uygulamada kullanılan tüm öznelikler için eğitim setindeki üçgen işaretlerin sınıflandırılmasında en başarılı alt uzay yöntemi DAA yöntemidir. DAA yöntemi %100 yakın bir tanıma sağlamaktadır. Aynı zamanda AEOV yöntemi de her bir öznelik için %100 yakın bir tanıma sağlamaktadır. Sonuçta eğitim setinin tanınmasında hem AEOV, hem de DAA yöntemleri son derece başarılıdır ve öznelik değişimlerinden etkilenmemektedirler. Fakat TBA yöntemi eğitim setinin tanınmasında kullanılan öznelik değişimlerinden çok etkilenmektedir. TBA yönteminin YGH öznelikleri için tanıma başarımı %94,41 iken bu başarıyı YFK öznelikleri için %21,86'ya kadar düşmektedir. YiÖ özneliğinin tanıma sonucu da son derece kötüdür

(%27,75). Fakat normalize edilerek birleştirilmiş YİÖ ve YFK özniteliklerinin tanıma oranı, bileşenleri ile karşılaştırıldığında oldukça iyidir (%64,20).

Dairesel trafik işaretlerinden oluşan eğitim setinin tanınmasında üçgen trafik işaretlerinin tanıma sonuçlarına benzer olarak AEOV ve DAA altuzay yöntemleri %100 yakın tanıma sonuçları vermektedir ve bu altuzay yöntemleri öznitelik değişimlerinden etkilenmemektedir. TBA yöntemi ise yine üçgen trafik işaretlerinin tanıma sonuçlarına benzer olarak öznitelik değişimlerinden son derece etkilenmektedir. TBA yönteminin YGH öznitelikleri için tanıma başarımı %97.23 iken bu başarıyı YİÖ öznitelikleri için %65.20' ye kadar düşmektedir. Yine de eğitim setlerinin tanınmasında TBA yöntemi, üçgen işaretlerle karşılaştırıldığında dairesele trafik işaretlerini daha iyi tanımakta olup özellikle YİÖ ve YFK öznitelikleri için sırasıyla + %46 ve + %38 gibi belirgin ve yüksek tanıma oranı artışı vardır.

Üçgen işaretlerden oluşan test setlerinin tanınmasında AEOV yöntemi son derece başarılıdır. AEOV yöntemi Griseviye, YGH, YİÖ-YFK ve Gabor öznitelikleri için en iyi tanıma sonucunu veren alt uzay yöntemidir. ŞE yöntemi ile karşılaştırıldığında YGH, YİÖ-YFK öznitelikleri ile oluşturulmuş test setlerini sınıflandırma AEOV yöntemi daha başarılıdır. DAA yöntemi ise YİÖ ve YFK özniteliklerinin tanınmasında en iyi tanıma sonucunu vermektedir. Fakat DAA yönteminin hem griseviye (%58.46), hem de YGH (%33.36) yöntemi için yeterince ayırıcı değildir. Özellikle en başarılı öznitelik olan YGH yöntemindeki düşük tanıma oranı belirgindir. TBA yöntemi ise eğitim setlerinin tanıma sonuçlarına benzer olarak test setleri tanıma sonuçları vermiştir. TBA yönteminde YİÖ ve YFK öznitelikleri için tanıma başarımları diğer özniteliklere göre son derece kötüdür (%24,09 ve %20,15). Bu tanıma başarımları çalışmamızda kullandığımız diğer altuzay yöntemleri AEOV ve DAA göre son derece kötüdür.

Dairesel işaretlerden oluşan test setlerinin tanınmasında AEOV yöntemi son derece başarılıdır. AEOV yöntemi Griseviye, YİÖ, YGH, YİÖ-YFK, YFK ve Gabor öznitelikleri için en iyi tanıma sonucunu vermektedir. ŞE yöntemi ile karşılaştırıldığında YGH, YİÖ-YFK ve Gabor öznitelikleri ile oluşturulmuş test setlerini sınıflandırmada AEOV yöntemi daha başarılıdır. AEOV yönteminde sonra en başarılı altuzay yöntemi DAA'dır. DAA yönteminin Griseviye (%83,78) ve YGH (%97,57) öznitelikleri için

tanıma başarımı da son derece yüksektir. TBA yöntemi ise dairesel işaretlerinden oluşmuş eğitim setinin sınıflandırılmasına benzer tanıma sonuçları vermiştir. TBA yöntemi için YİÖ, YFK özniteliklerinin tanıma sonuçları YİÖ-YFK özniteliklerine paraleldir (%59,81 – %62,55 ve %64,73). Bu tanıma başarımları çalışmamızda kullandığımız diğer altuzay yöntemleri AEOV ve DAA göre son derece kötüdür.

AEOV yöntemi, ışık etkisi ve gürültünün az olduğu durumlarda DAA ve TBA altuzay yöntemlerine göre çok daha sınıflama yapabilmektedir. Fakat AEOV yöntemi kısmı dönme ve engellemelerden çok fazla etkilenmektedir.

4.1.2 Gürültülü Eğitim ve Test Seti Uygulaması

Hareketli bir arabadan kamera ile resim veya görüntü çekmek istediğimizde kamerayı sabit tutamadığımız, rüzgâr ve araba titreşimi nedeniyle çektiğimiz resimde veya görüntüde titreşim ve bulanıklaşma olabilir. Trafik işareti imgesindeki istenmeyen görüntüler gürültü olarak adlandırılabilir. Bu çalışmada bu tür imgelerin hem eğitim, hem de test setinde olduğu bir model kullanılmıştır. Bu nedenle veri tabanımızın gürültü içeren bölümü kullanılmıştır. Bu bölümdeki toplam imge sayısı üçgen işaretler için $36 \times 45 = 1620$ ve dairesel işaretler için $34 \times 45 = 1530$ 'dur. Çalışmada ortalaması $\mu = 0,0$ ve standart sapması $\sigma = 0,01$ olan normal rastgele dağılımlı gürültü kullanılmıştır. Bu gürültüler tamamen yapay olarak bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. Çizelge 4.1'de gösterilen veri gruplarının her biri için rastgele 10 farklı seçimle veri tabanından eğitim ve test setleri elde edilmiştir. Test setindeki herhangi bir imge eğitim setinde bulunmamaktadır. Hem eğitim, hem de test setleri Griseviye, YGH, YİÖ, YFK ve Gabor imge tanımlayıcıları ile betimlenerek öznitelik vektörleri oluşturulmuştur. Öznitelik vektörleri; TBA, DAA ve AEOV altuzay yöntemleri ile işlenerek trafik işareti tanıma yapılmıştır. Altuzay yöntemlerinin tanıma performansları, şablon eşleme yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9'da üçgen ve dairesel trafik işaretleri için veri gruplarının tanıma sonuçlarının ortalamaları yüzde olarak gösterilmektedir. Herhangi bir öznitelik için en iyi sonucu veren altuzay yöntemi sonucu koyu yazılmıştır. Her bir altuzay yöntemi için öznitelik ve veri gruplarına göre tanıma sonuçları gösteren grafikler Şekil 4.16-4.37 arasında gösterilmektedir. Bu deneylerdeki amacımız; gürültülü

bir veri tabanının hem eğitim, hem de test seti olarak kullanıldığında hem altuzay yöntemlerinin, hem de öznitelik yöntemlerinin tanıma başarımlarının nasıl etkilendiğini bulmaktır.

Çizelge 4.6 Üçgen İşaretler için Eğitim Seti Tanıma Sonuçları

Altuzay Yöntemi	Öznitelik Çıkarma Yöntemleri					
	Griseviye	YGH	YİÖ	YFK	YİÖ-YFK	Gabor
AEOV	99,73	99,94	94,91	97,74	99,27	98,48
TBA	86,76	95,18	69,54	90,55	75,55	60,73
DAA	99,77	100,00	99,76	99,94	99,81	100,00
ŞE	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 4.7 Dairesel İşaretler için Eğitim Seti Tanıma Sonuçları

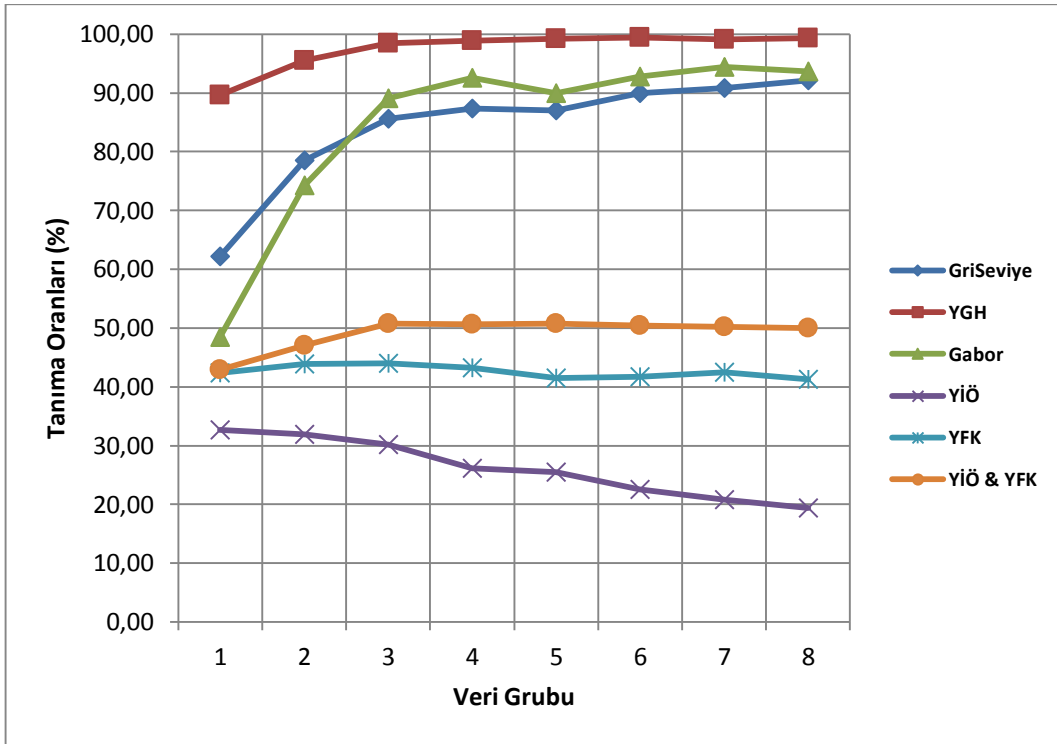
Altuzay Yöntemi	Öznitelik Çıkarma Yöntemleri					
	Griseviye	YGH	YİÖ	YFK	YİÖ-YFK	Gabor
AEOV	99,97	100,00	98,39	99,50	97,23	99,47
TBA	89,35	97,05	74,28	93,00	75,20	70,28
DAA	99,56	100,00	99,96	99,99	99,80	100,00
ŞE	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 4.8 Üçgen İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları

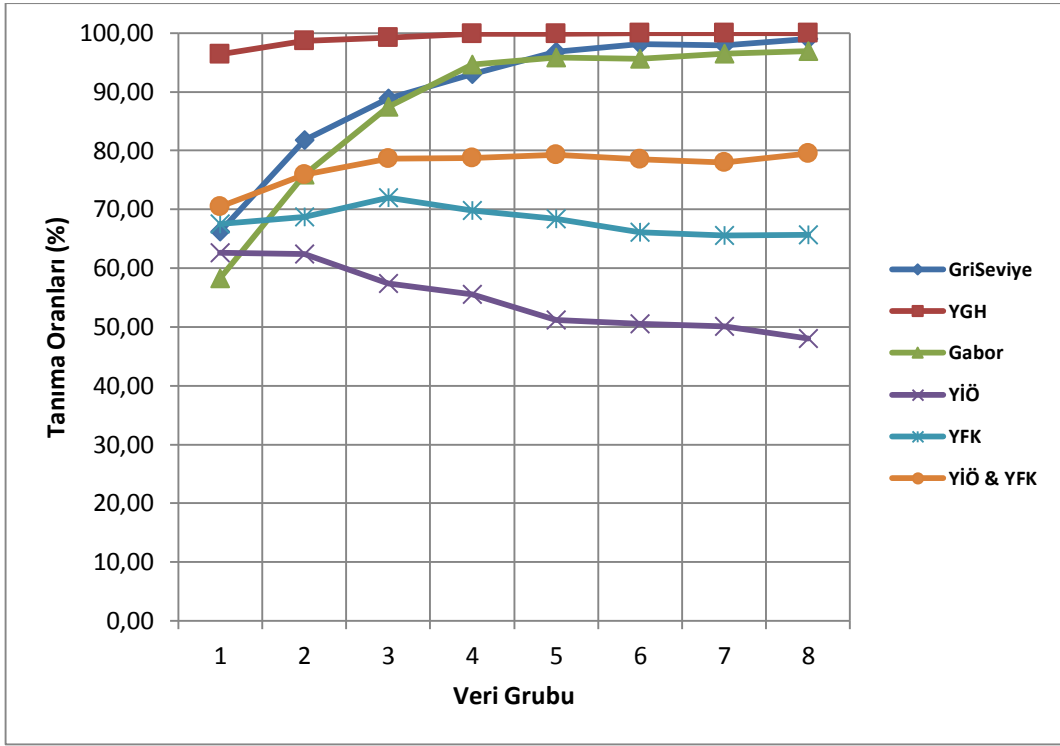
Altuzay Yöntemi	Öznitelik Çıkarma Yöntemleri					
	Griseviye	YGH	YİÖ	YFK	YİÖ-YFK	Gabor
AEOV	84,20	97,43	26,12	42,55	49,07	84,41
TBA	79,01	91,63	47,70	60,87	48,57	49,02
DAA	84,99	91,35	43,32	50,80	45,48	81,80
ŞE	96,15	97,96	40,60	41,98	39,00	83,50

Çizelge 4.9 Dairesel İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları

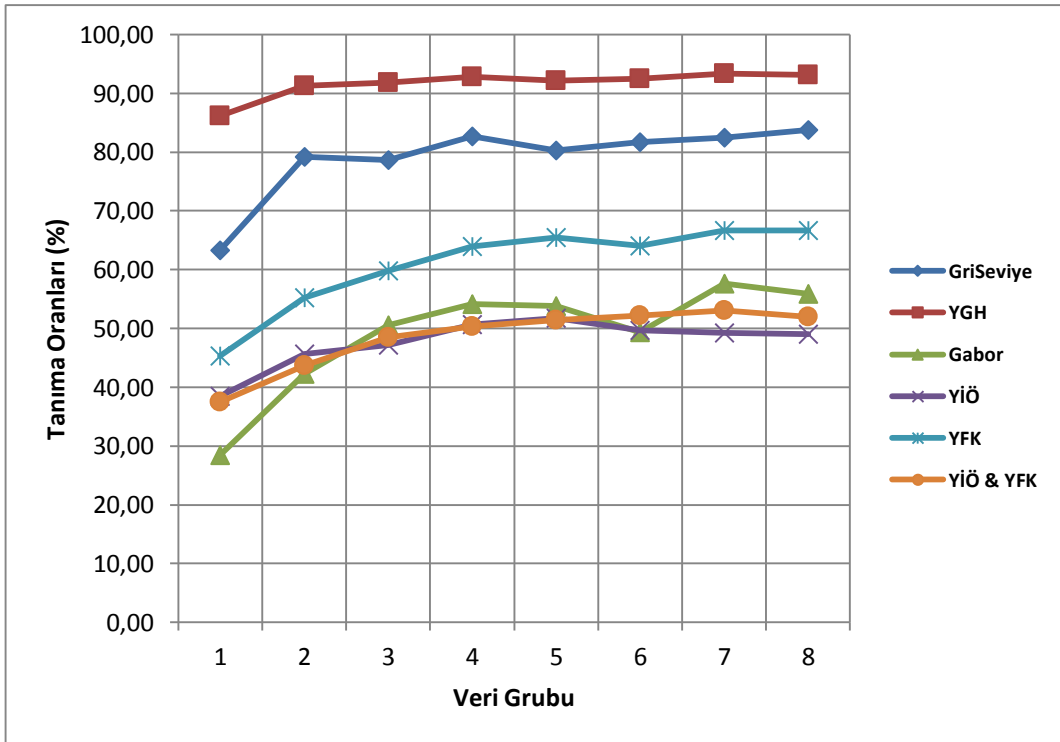
Altuzay Yöntemi	Öznitelik Çıkarma Yöntemleri					
	Griseviye	YGH	YİÖ	YFK	YİÖ-YFK	Gabor
AEOV	90,22	99,22	54,71	67,99	77,38	87,65
TBA	78,79	94,58	66,10	81,95	63,98	60,21
DAA	87,61	96,58	68,17	72,25	65,96	85,70
ŞE	93,06	98,76	65,00	67,33	62,62	82,47



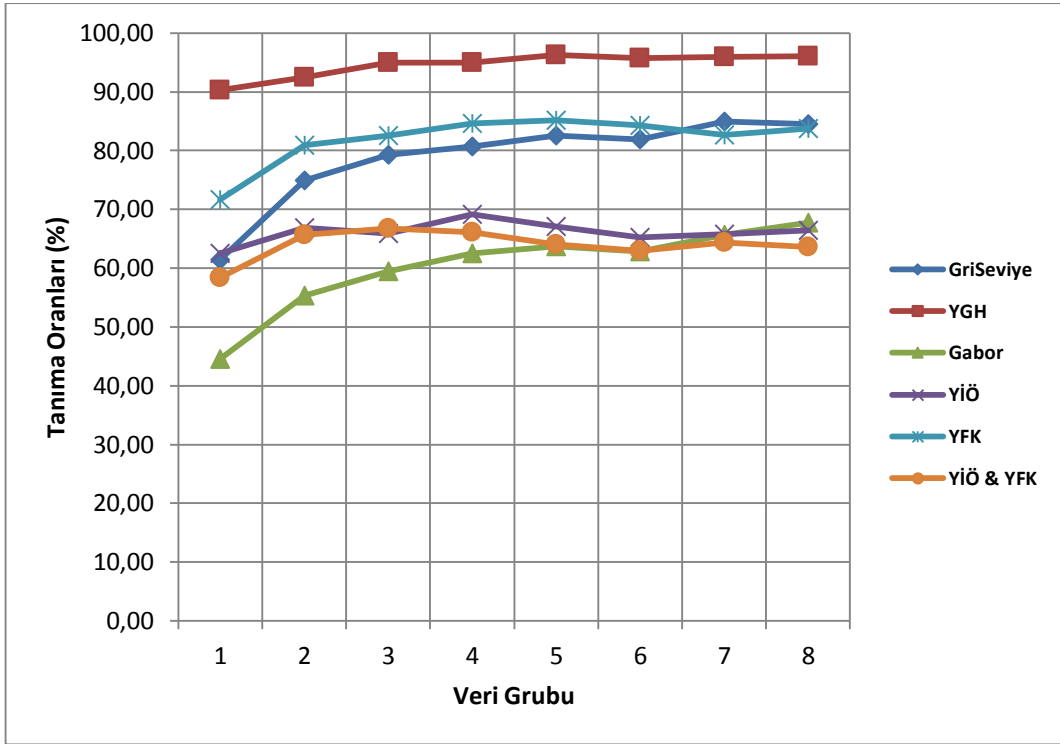
Şekil 4.16 Üçgen İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



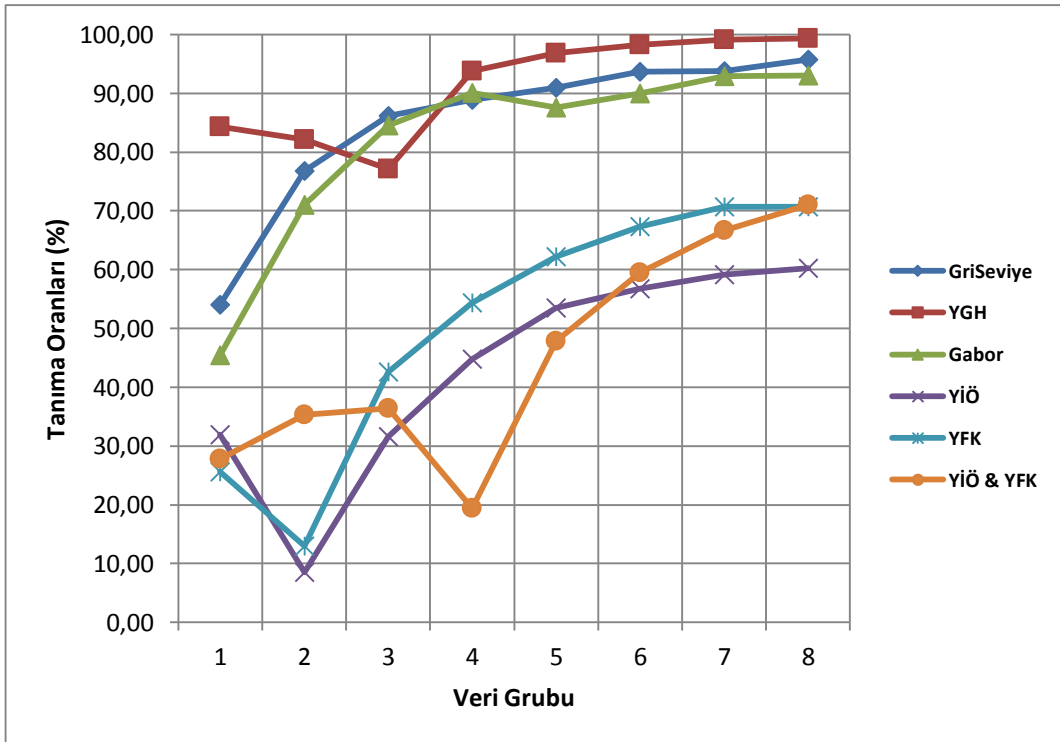
Şekil 4.17 Dairesel İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



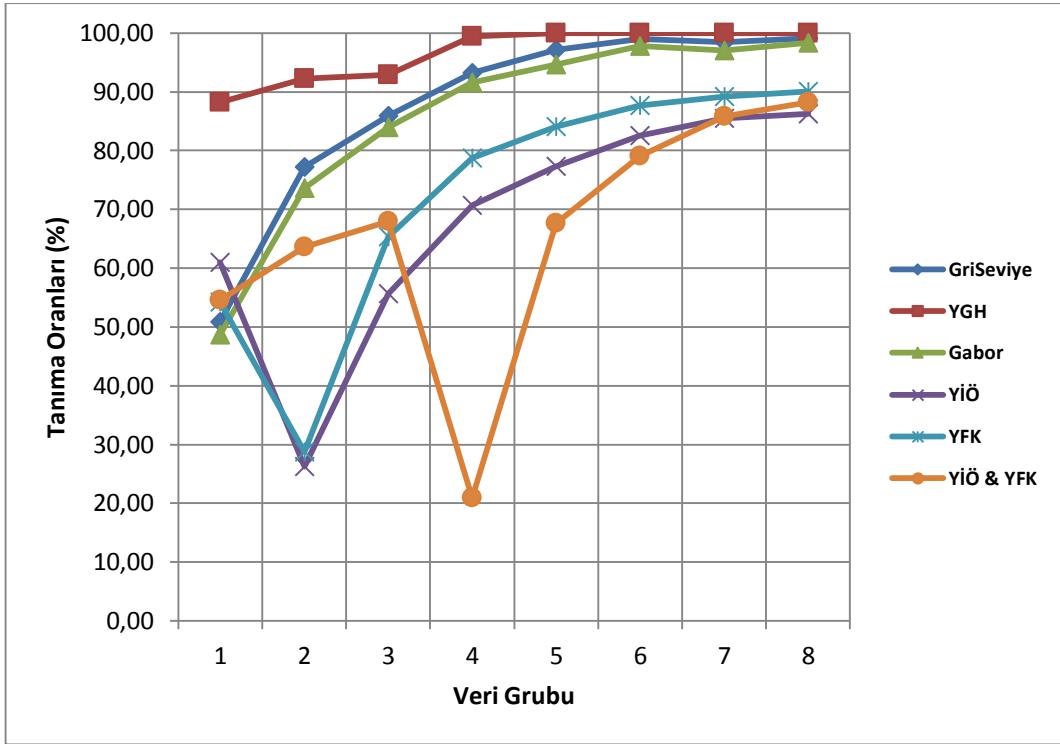
Şekil 4.18 Üçgen İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



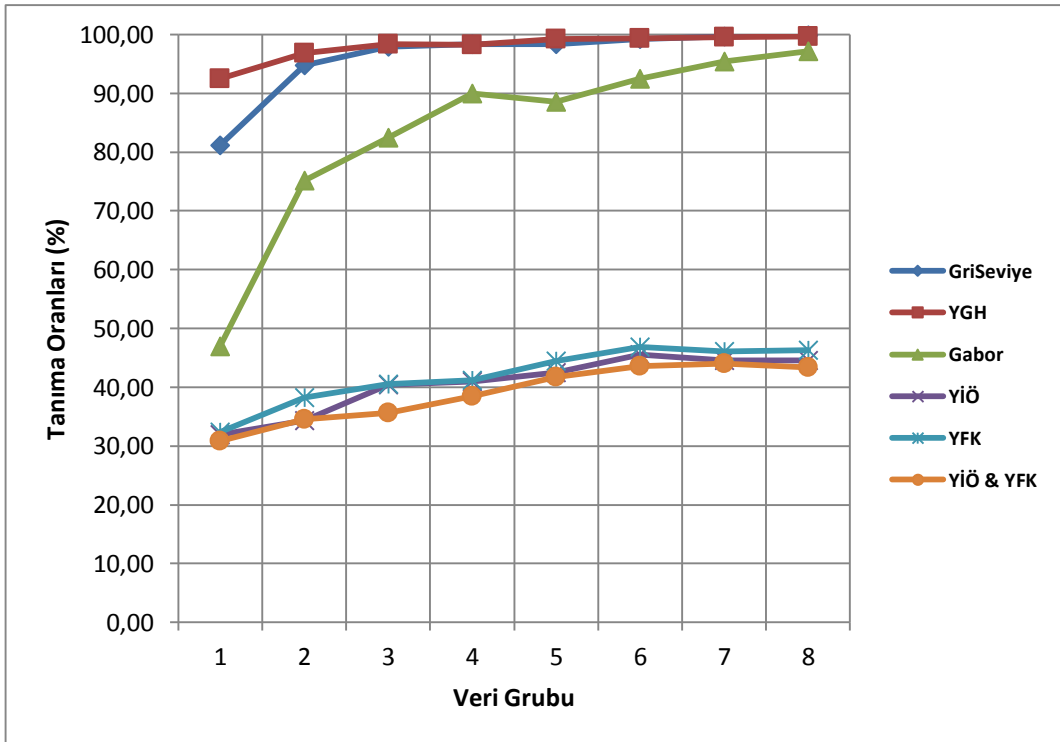
Şekil 4.19 Dairesel İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



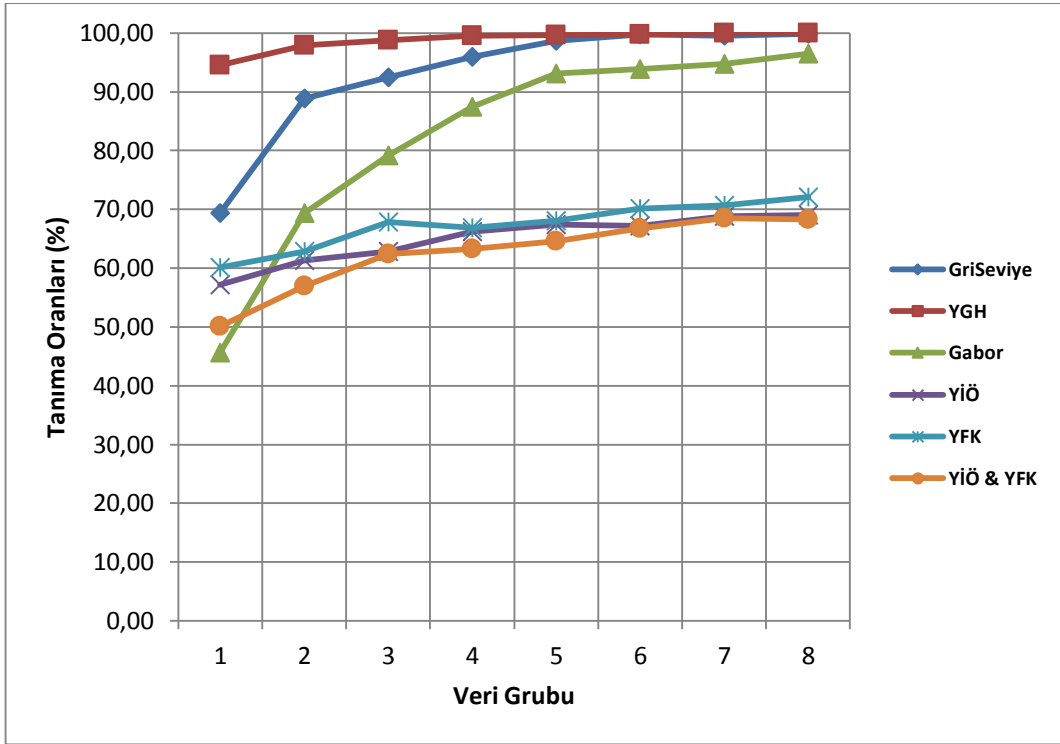
Şekil 4.20 Üçgen İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



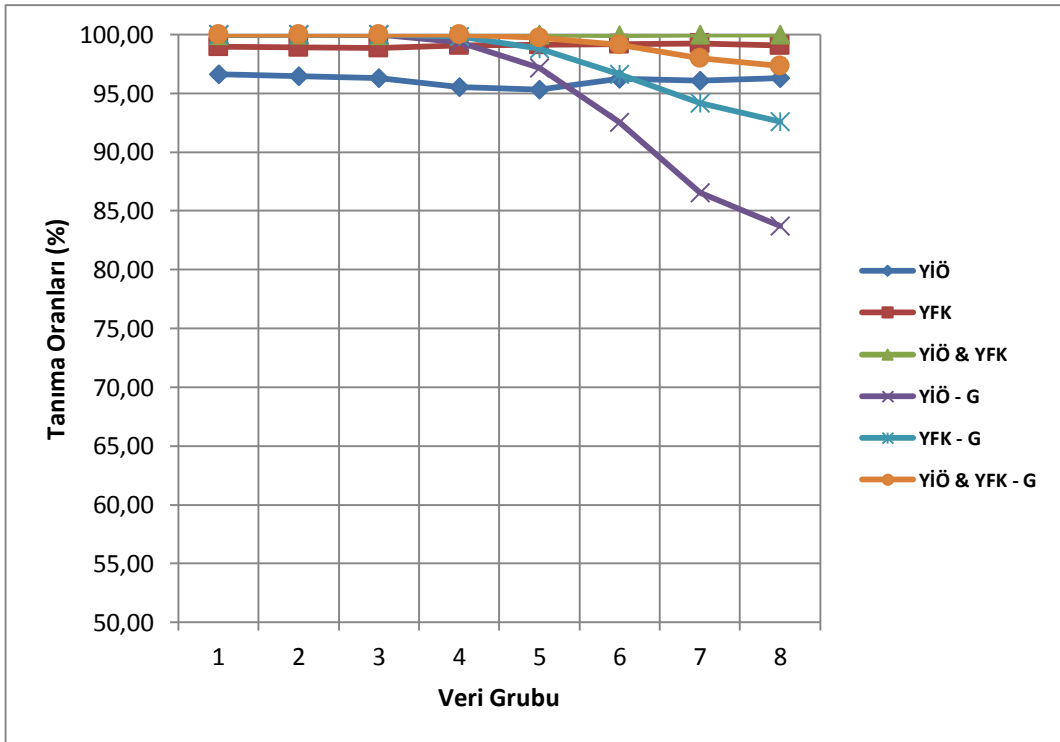
Şekil 4.21 Dairesel İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



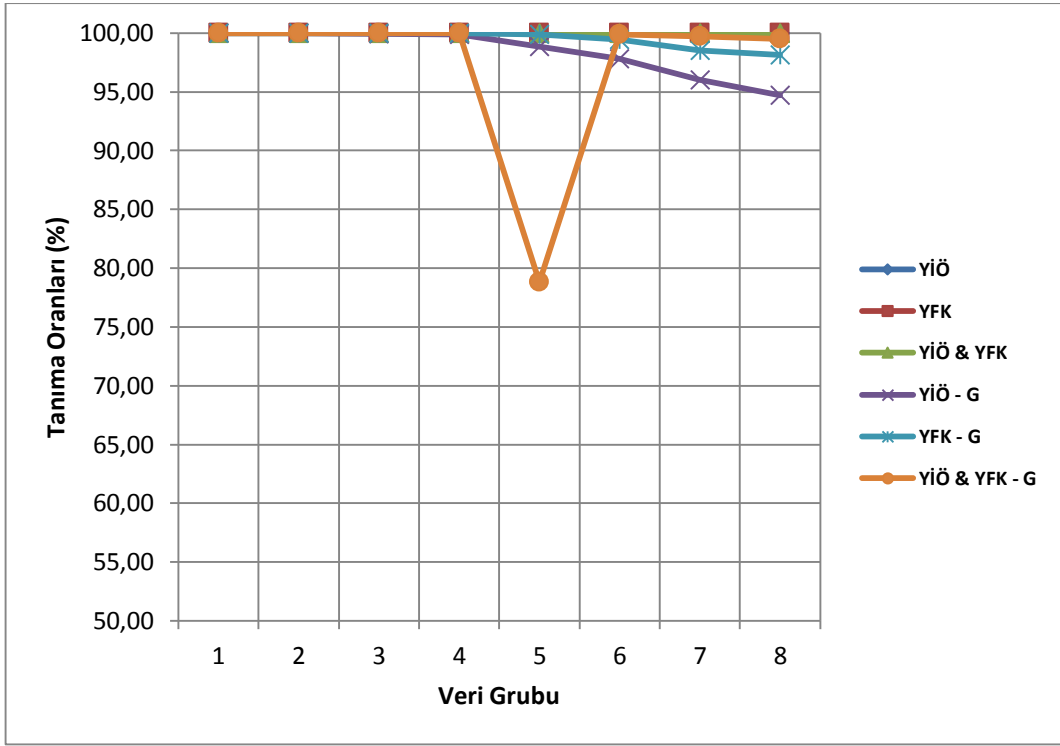
Şekil 4.22 Üçgen İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



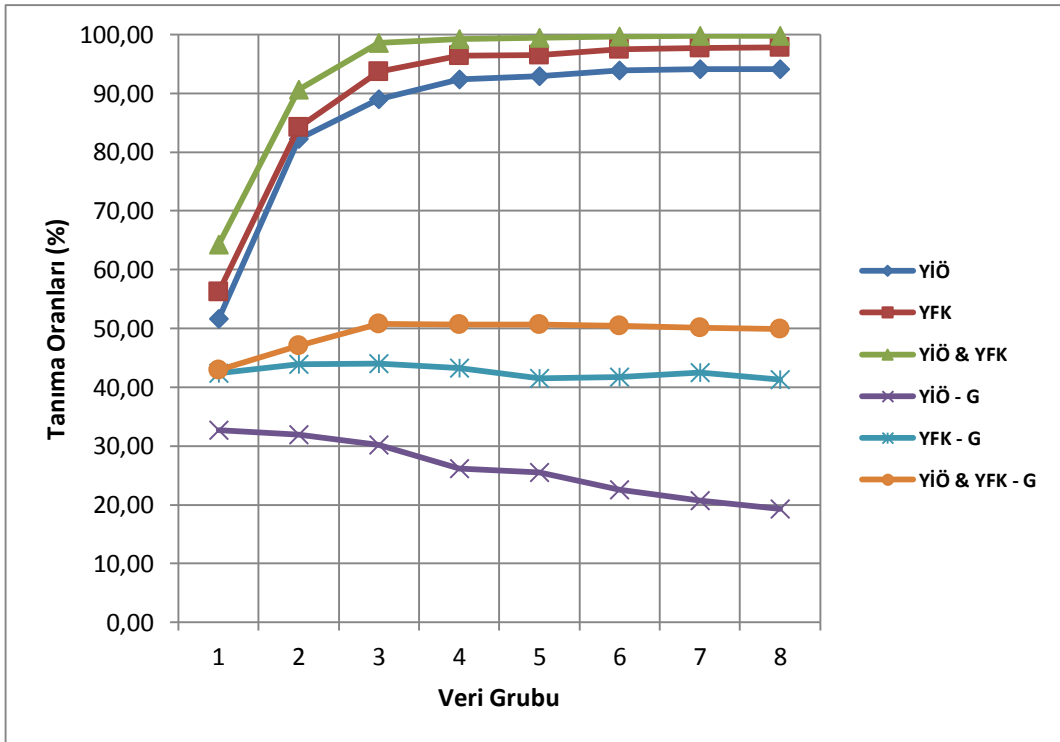
Şekil 4.23 Dairesel İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



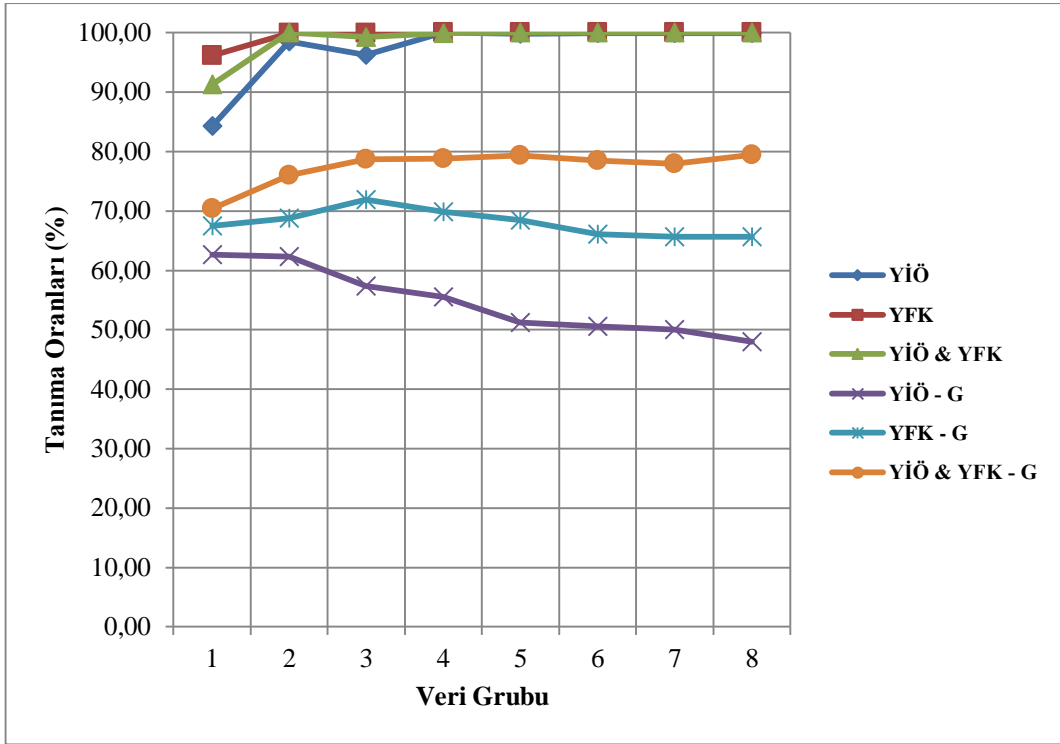
Şekil 4.24 Üçgen İşaretler için AEOV yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları



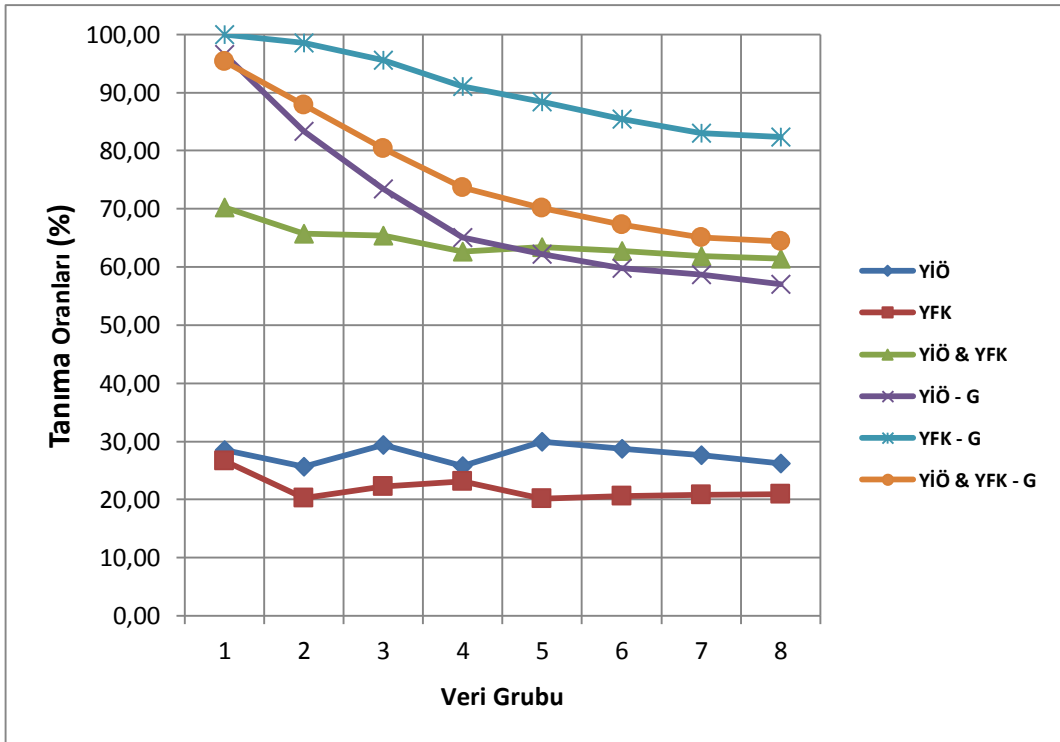
Şekil 4.25 Dairesel İşaretler için AEOV yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları



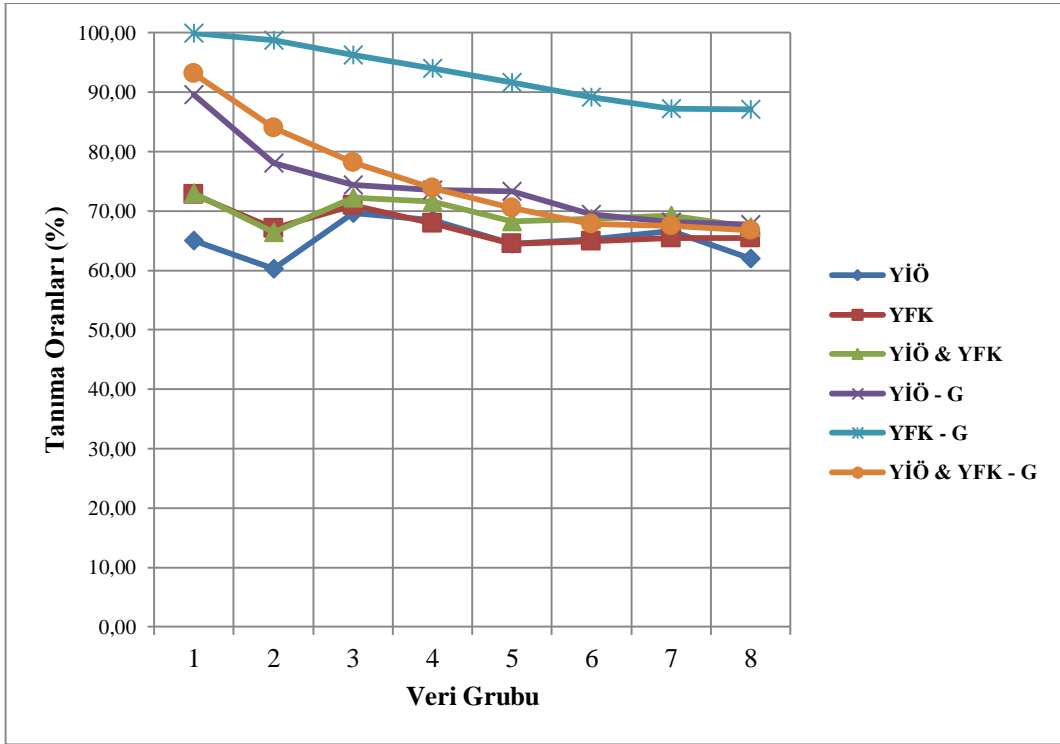
Şekil 4.26 Üçgen İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



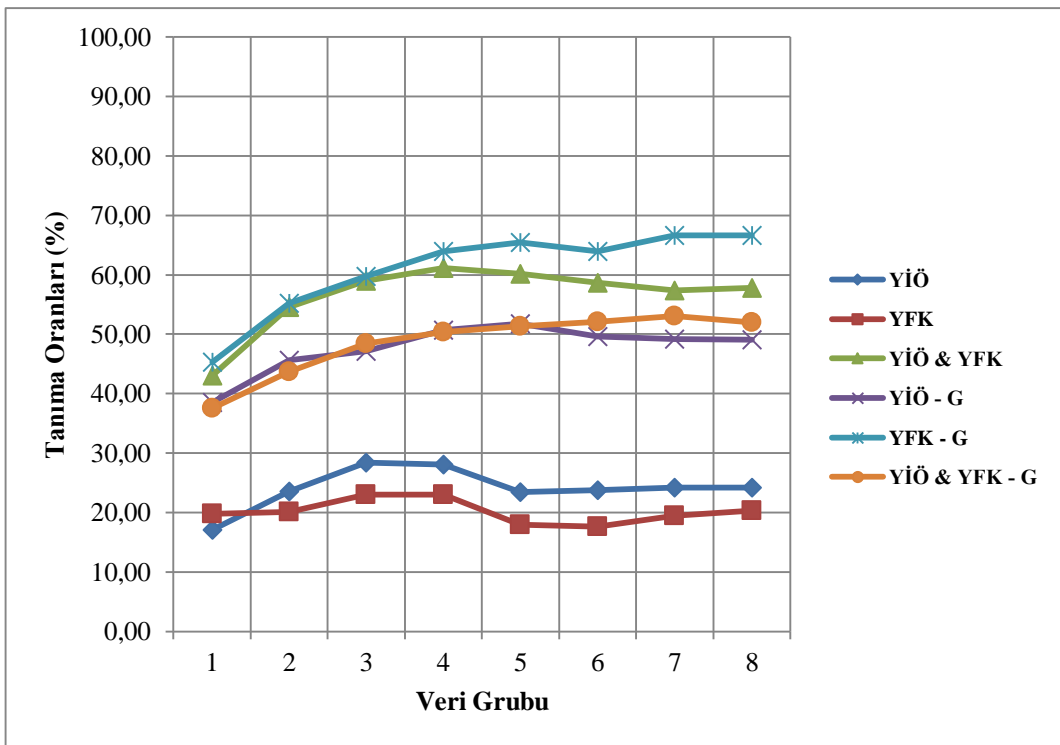
Şekil 4.27 Dairesel İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



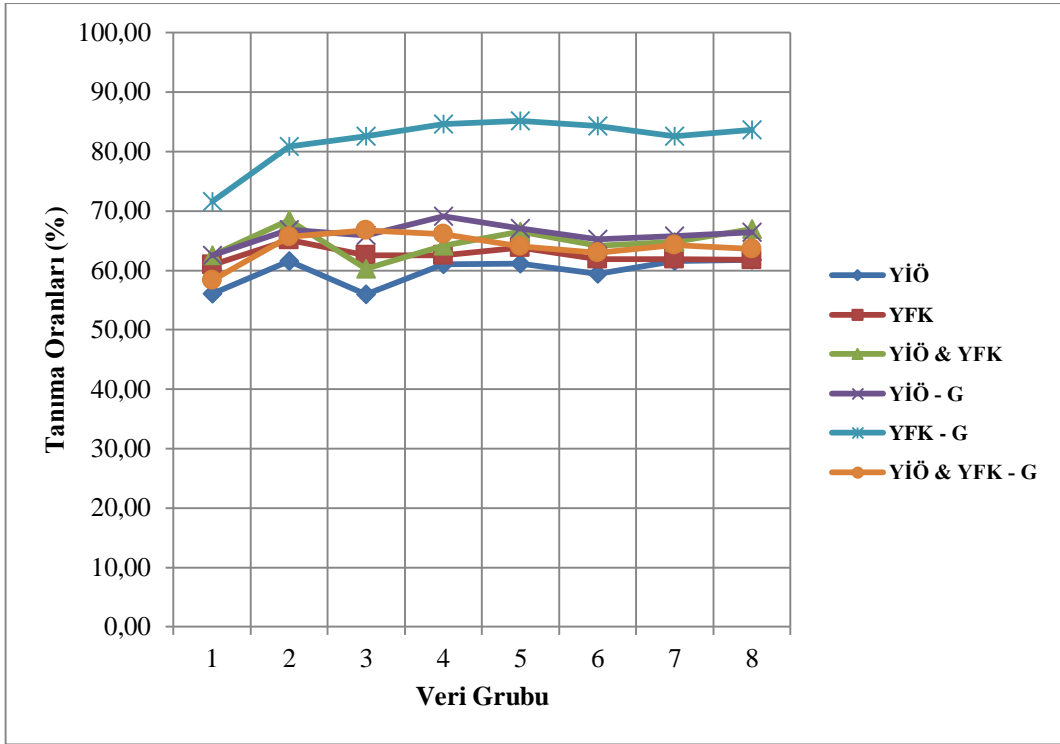
Şekil 4.28 Üçgen İşaretler için TBA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları



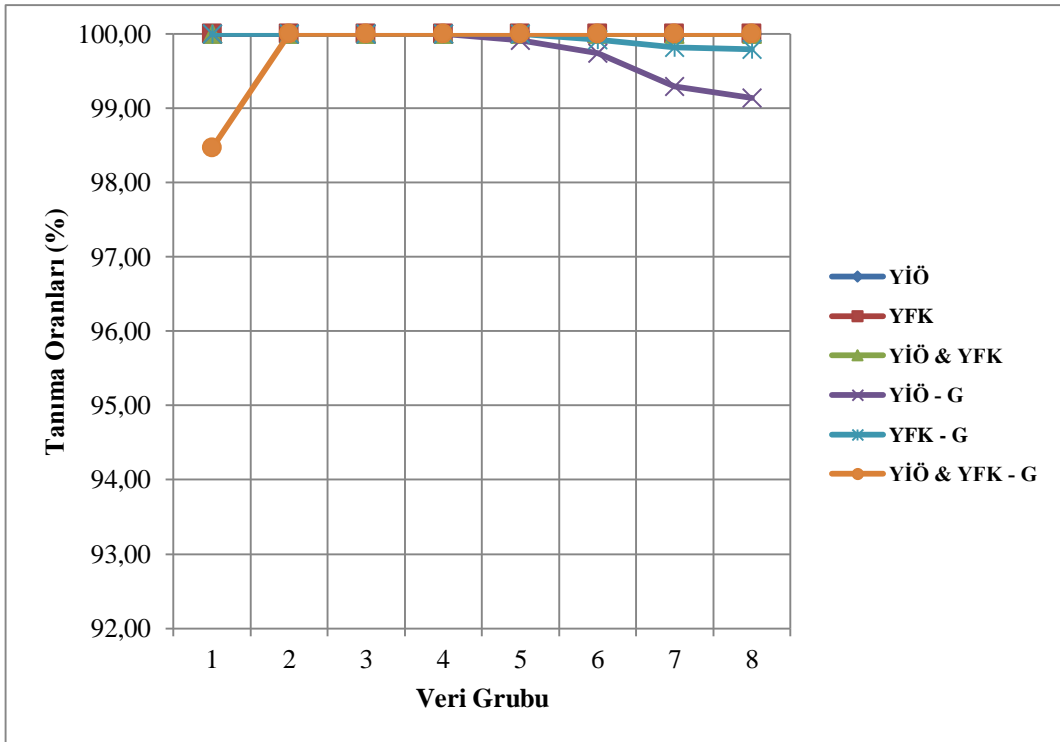
Şekil 4.29 Dairesel İşaretler için TBA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları



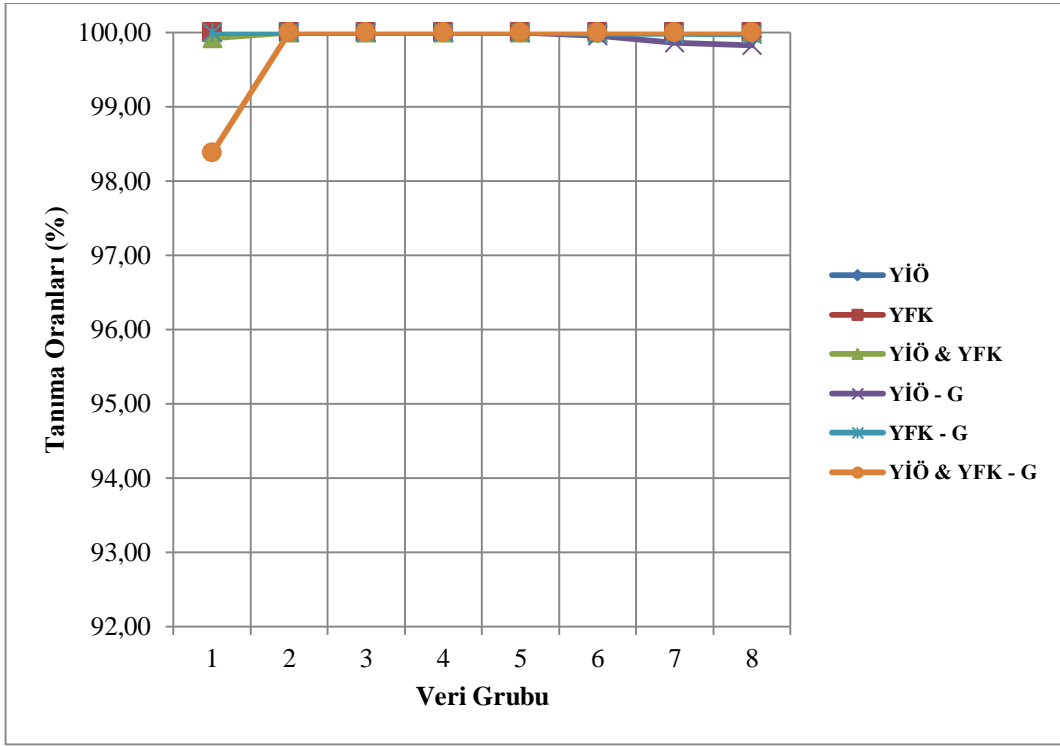
Şekil 4.30 Üçgen İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



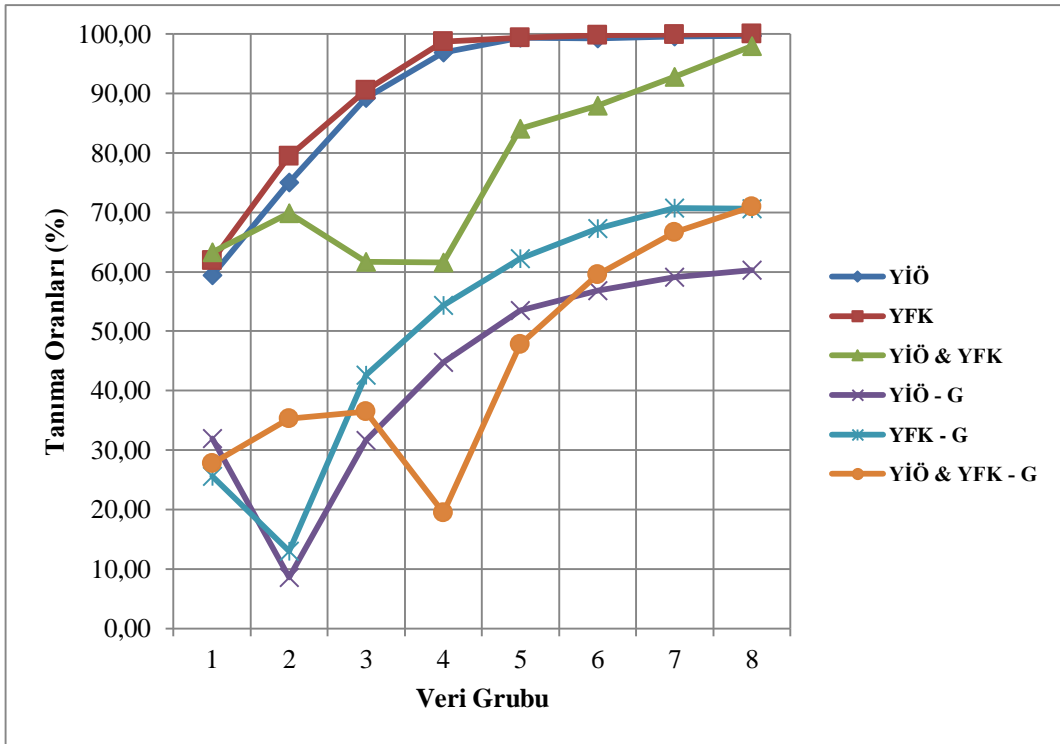
Şekil 4.31 Dairesel İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



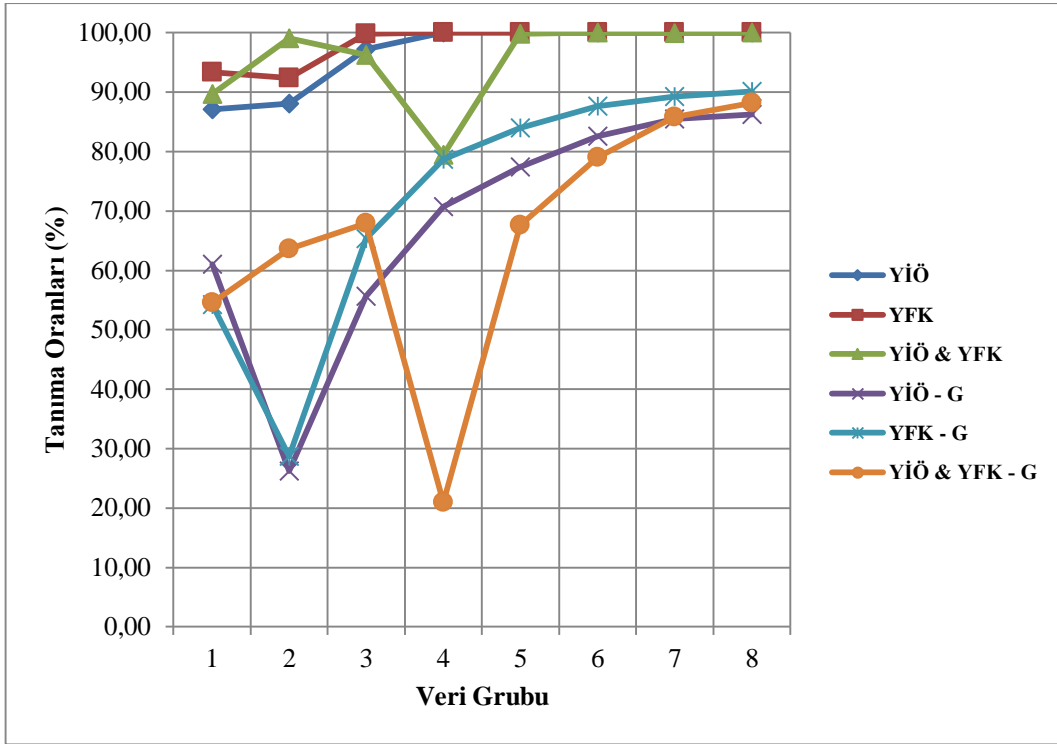
Şekil 4.32 Üçgen İşaretler için DAA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları



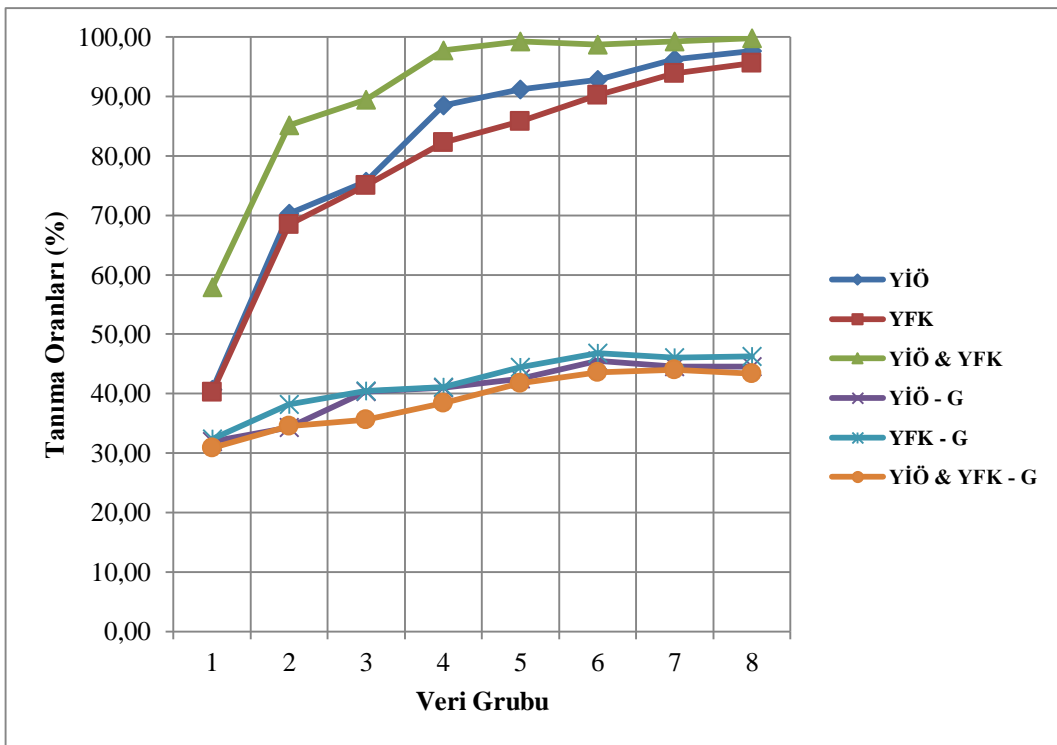
Şekil 4.33 Dairesel İşaretler için DAA yöntemine göre Eğitim Seti Tanıma Sonuçları



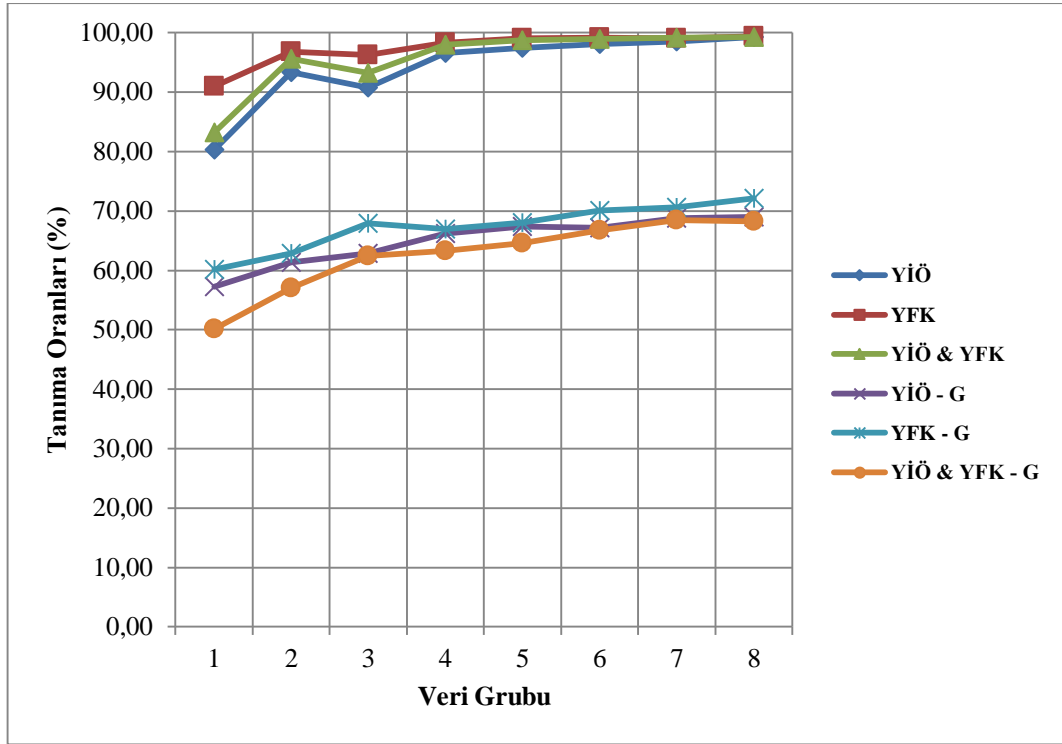
Şekil 4.34 Üçgen İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



Şekil 4.35 Dairesel İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



Şekil 4.36 Üçgen İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



Şekil 4.37 Dairesel İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları

YiÖ, YFK ve YiÖ-YFK öznitelikleri ile yapılan test setlerini tanıma deneylerinde AEOV yönteminin gürültülü veri tabanı kullanımından çok etkilendiği görülmekte olup sınıflandırma başarımının bölüm 4.1.1'deki sonuçlarla karşılaştırıldığında %60'lara varan oranda düştüğü görülmüştür. Griseviye, YGH ve Gabor öznitelikleri için AEOV yönteminin sınıflandırma başarımı bölüm 4.1.1'deki sonuçlara yakındır. Gürültülü veri tabanı kullanımı DAA yönteminin üçgen test setlerindeki ve TBA yönteminin ise hem üçgen, hem de dairesel test setlerindeki sınıflandırma başarımını arttırmıştır.

Tanıma sonuçları bakıldığında eğitim setlerinin tanınmasında en başarılı öznitelik YGH özniteliğidir. AEOV ve DAA yöntemleri üçgen ve dairesel trafik işaretleri için hem eğitim, hem de test seti olarak en iyi tanıma sonuçlarını vermiştir ve bu tanıma sonuçları %100 yakındır. TBA yönteminde üçgen işaretler için gürültülü eğitim setinin tanınmasında %60-%95 arasında sınıflandırma sonuçları vermiştir. Gabor özniteliklerinin tanıma başarımı sadece %60'dır ve TBA yöntemi için en kötü sonuçları Gabor öznitelikleri vermiştir. TBA yönteminde dairesel işaretler için gürültülü eğitim

setinin tanınmasında %70-%97 arasında tanıma sonuçları vermiştir. Gabor özniteliklerinin tanıma başarımı sadece %70'dır ve TBA yöntemi için en kötü sonuçları Gabor öznitelikleri vermiştir.

Tanıma sonuçlarına göre üçgen işaretleri sınıflandırmak dairesel işaretlere göre daha zordur. Üçgen test setlerinin tanınmasında, Griseviye özniteliği için DAA yöntemi, YGH, YİÖ-YFK ve Gabor öznitelikleri için AEOV, YİÖ ve YFK öznitelikleri için TBA yöntemi en başarılı sınıflandırma sonuçları vermiştir. ŞE yöntemi ile karşılaştırıldığında altuzay yöntemleri YİÖ, YFK, YİÖ-YFK öznitelikleri için daha başarılı sonuçlar vermişlerdir. Bölüm 4.1.1'de yapılan deneylerle karşılaştırıldığında, gürültülü veri tabanı kullanımı hem DAA, hem de TBA yönteminin üçgen test setlerindeki sınıflandırma başarımını arttırmıştır. DAA yöntemi için üçgen işaretlerde Griseviye öznitelikleri için +%26 ve YGH öznitelikleri için +%58 sınıflandırma başarımını artmıştır. TBA yöntemi için üçgen işaretlerde YİÖ öznitelikleri için +%23 ve YFK öznitelikleri için +%40 sınıflandırma başarımını artmıştır. Fakat YİÖ-YFK özniteliğinde tanıma oranı artmamış %8 oranında azalmıştır. Diğer öznitelikleri için TBA yöntemi eğitim setlerinin tanınmasındaki sınıflandırma sonuçlarına benzer sonuçlar vermektedir. AEOV, TBA ve DAA yöntemlerinde YGH özniteliği en iyi tanıma sonuçlarını vermiştir.

Dairesel test setleri için YİÖ, YFK ve YİÖ-YFK öznitelikleri ile yapılan deneylerde AEOV yönteminin gürültülü veri tabanı kullanımından çok etkilendiği ve test setlerini tanımının %43'lere varan oranda düştüğü görülmüştür. Bölüm 4.1.1'de yapılan deneylerle karşılaştırıldığında AEOV yöntemi ile tanımada YGH, Griseviye ve Gabor öznitelikleri ile yapılan deneylerde tanıma sonuçlarının pek değişmediği görülmüştür. Dairesel test setlerinin tanınmasında, YİÖ özniteliği için DAA yöntemi, Griseviye, YGH, YİÖ-YFK ve Gabor öznitelikleri için AEOV, YFK öznitelikleri için TBA yöntemi en başarılı sınıflandırma sonuçları vermiştir. ŞE yöntemi ile karşılaştırıldığında altuzay yöntemleri YİÖ, YFK, YİÖ-YFK ve Gabor öznitelikleri için daha başarılı sonuçlar vermişlerdir. Bölüm 4.1.1'de yapılan deneylerle karşılaştırıldığında, gürültülü veri tabanı kullanımı TBA yönteminin dairesel test setlerindeki sınıflandırma başarımını arttırmıştır. TBA yöntemi için dairesel işaretlerde YİÖ öznitelikleri için +%7 ve YFK öznitelikleri için +%19 sınıflandırma başarımını artmıştır. YİÖ-YFK özniteliğinin tanıma oranı

değişmemiştir. Diğer öznitelikler için TBA yöntemi eğitim setlerinin tanınmasındaki sınıflandırma sonuçlarına benzer sonuçlar vermektedir. AEOV, TBA ve DAA yöntemlerinde YGH özniteliği en iyi tanıma sonuçlarını vermiştir.

Sonuç olarak ister ışık etkisi, ister kamera çekimi veya diğer bir dış etken nedeniyle trafik işaretlerinin renkleri idealden uzaklaştığında ve trafik işaret imgeleri üzerinde gürültü bulunduğunda YİÖ, YFK ve YİÖ-YFK özniteği için AEOV yöntemi başarımlı bölüm 4.1.1’de yapılan deneylerle karşılaştırıldığında son derece düşmektedir. AEOV yöntemi her ne kadar kısmen dönme ve engellemeye dayanıklı olsa da ışık etkisi ve gürültü etkisinden son derece etkilenmektedir. AEOV yöntemi öznitelikleri seçerken ayırt edici özellikleri ön plana çıkaramamaktadır. Diğer bir ifade ile AEOV yöntemi bir trafik sınıfına ait ortak özellikleri gürültü etkisi nedeniyle ön plana çıkaramamaktadır. Bunun temel sebebi gürültünün aynı oranda tüm resimlere yapay olarak eklenmesidir. Fakat gürültünün yapay olarak tüm resimlere ay oranda eklenmesi TBA ve DAA yöntemi tanıma sonuçlarına olumlu katkı yapmıştır. Gerçek uygulamalarda, trafik işareti tanımada alt uzay yöntemleri için YGH özniteliği kullanmak en iyi tercihtir.

4.1.3 Gürültüsüz Eğitim Seti ve Gürültülü Test Seti Uygulaması

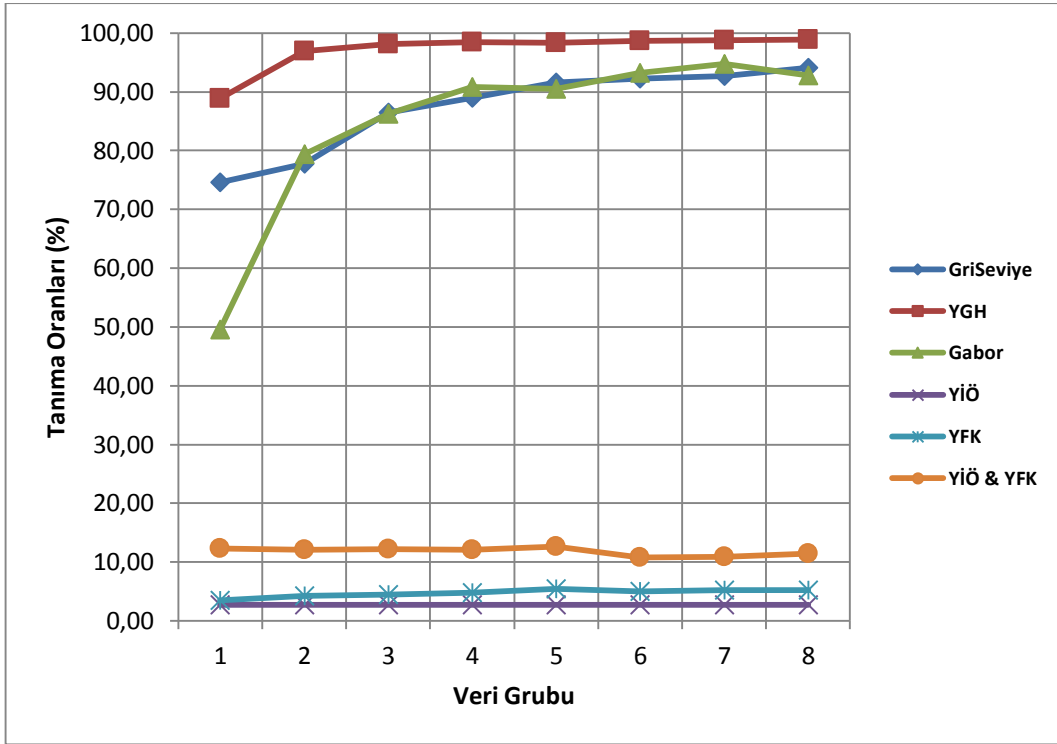
Bu uygulamada veri tabanının hem gürültülü, hem de gürültüsüz bölümü kullanılmıştır. Test setleri için yapay olarak oluşturulmuş ortalaması $\mu = 0,0$ ve standart sapması $\sigma = 0,01$ olan normal rastgele dağılımlı gürültülü imgeler kullanılmıştır. Çizelge 4.1’de gösterilen veri gruplarının her biri için rastgele 10 farklı seçimle veri tabanından eğitim ve test setleri elde edilmiştir. Test setindeki herhangi bir imge eğitim setinde bulunmamaktadır. Hem eğitim, hem de test setleri Griseviye, YGH, YİÖ, YFK ve Gabor imge tanımlayıcıları ile betimlenerek öznitelik vektörleri oluşturulmuştur. Öznitelik vektörleri; TBA, DAA ve AEOV altuzay yöntemleri ile işlenerek trafik işareti tanıma yapılmıştır. Her bir veri grubu için 10 kez rastgele oluşturulmuş eğitim ve test seti tanıma sonuçlarının varyansları, standart sapmaları ve ortalamaları hesaplanmıştır. Altuzay yöntemlerinin tanıma performansları, şablon eşleme yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13’de üçgen ve dairesel trafik işaretleri için veri gruplarının tanıma sonuçlarının ortalamaları yüzde olarak gösterilmektedir.

Çizelge 4.12 Üçgen İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları

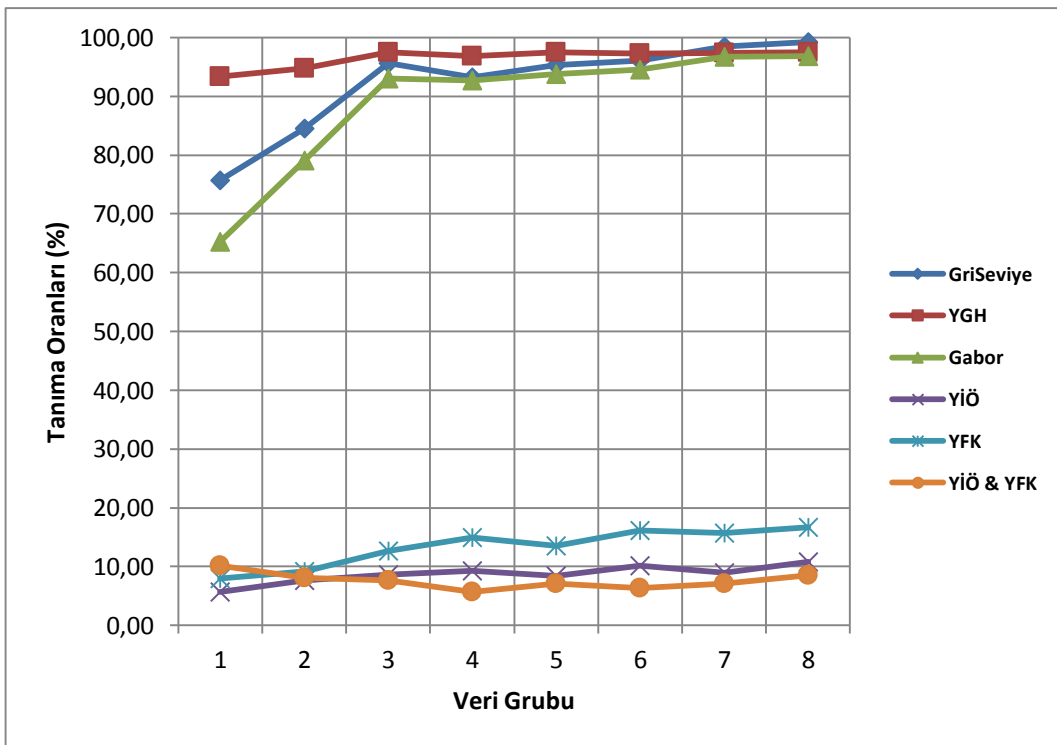
Altuzay Yöntemi	Öznitelik Çıkarma Yöntemleri					
	Griseviye	YGH	YİÖ	YFK	YİÖ-YFK	Gabor
AEOV	87,29	97,11	2,78	4,74	11,81	84,66
TBA	80,17	88,27	2,78	2,78	8,23	44,08
DAA	88,35	10,42	3,04	4,98	3,65	80,62
ŞE	96,94	97,77	2,78	2,89	8,71	82,01

Çizelge 4.13 Dairesel İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları

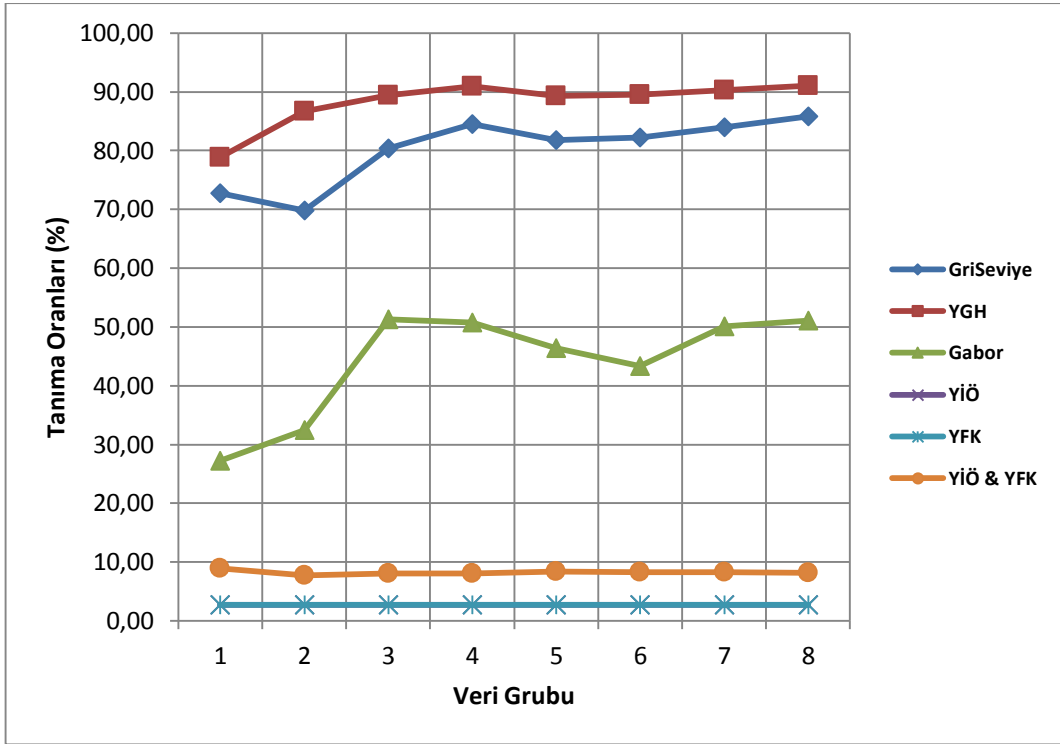
Altuzay Yöntemi	Öznitelik Çıkarma Yöntemleri					
	Griseviye	YGH	YİÖ	YFK	YİÖ-YFK	Gabor
AEOV	92,26	96,52	8,7	13,33	7,59	89,00
TBA	81,08	90,6	3,06	2,95	2,99	59,38
DAA	85,2	97,57	8,51	12,34	8,04	81,09
ŞE	93,04	98,43	3,14	3,28	3,43	85,50



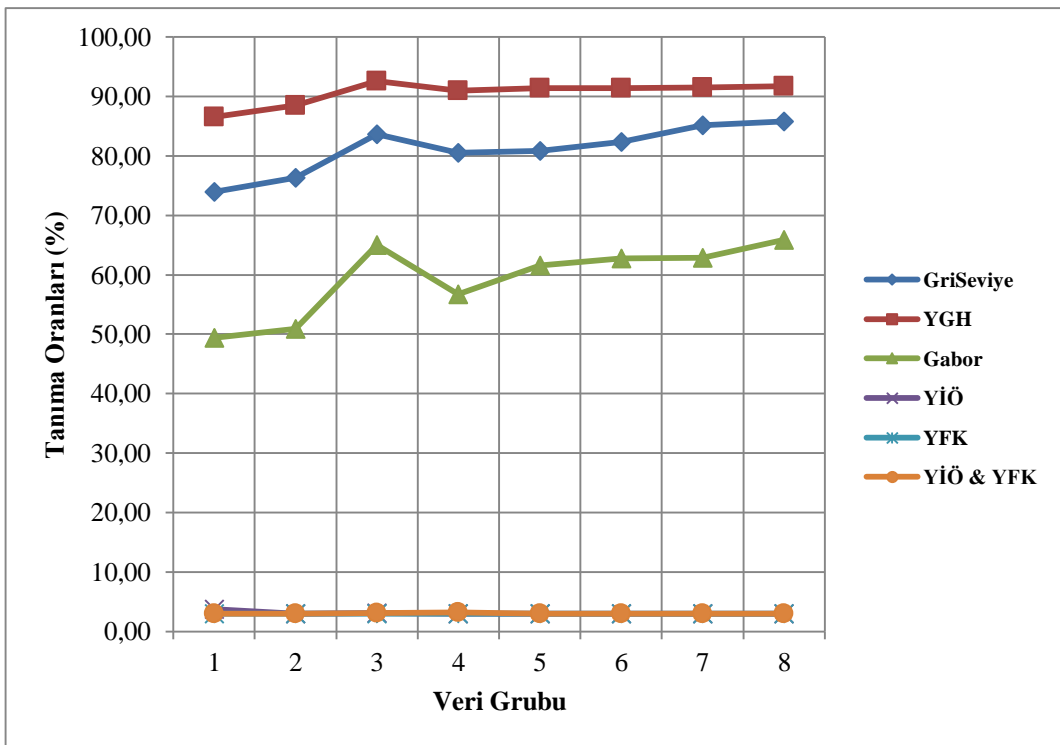
Şekil 4.38 Üçgen İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



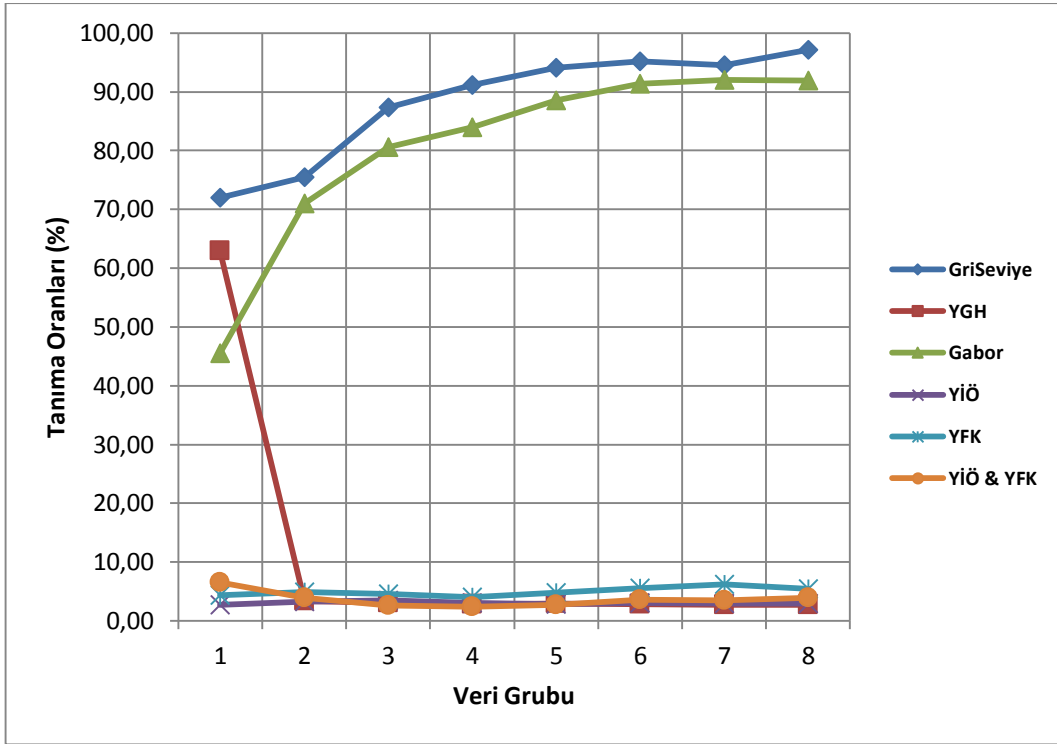
Şekil 4.39 Dairesel İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



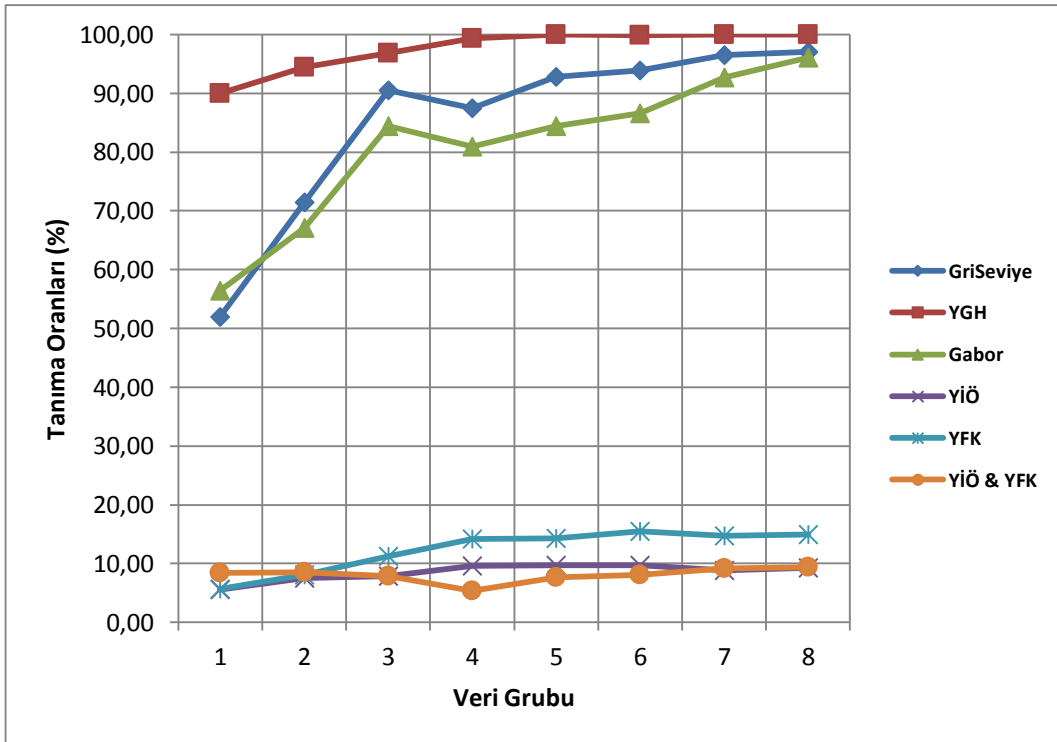
Şekil 4.40 Üçgen İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



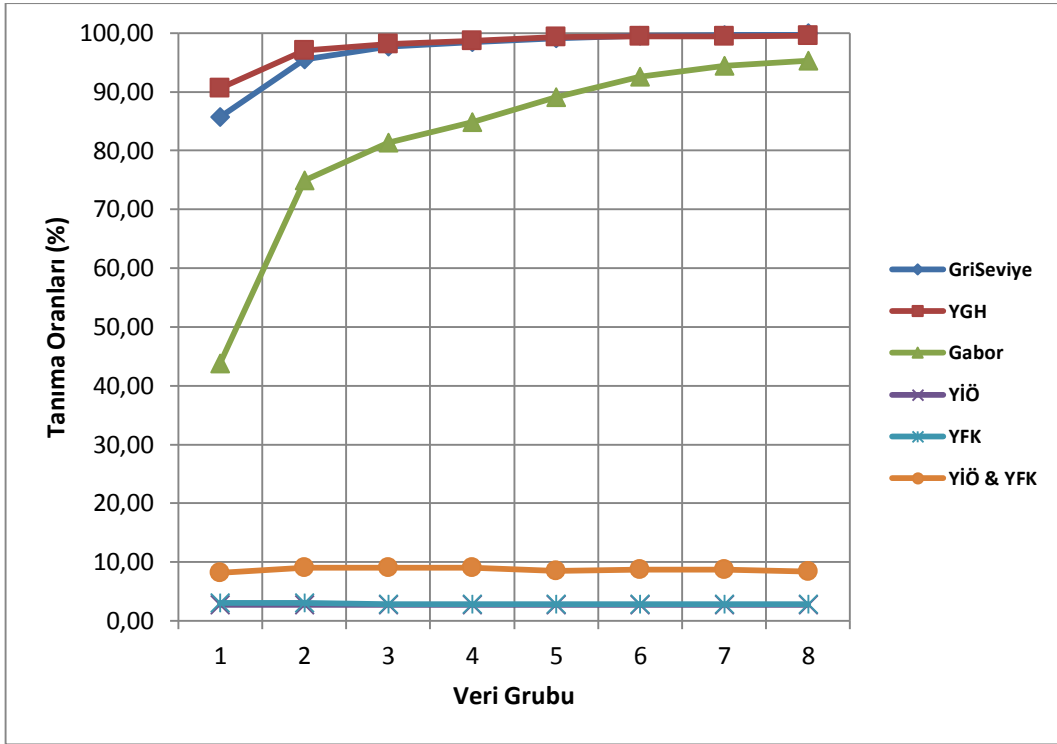
Şekil 4.41 Dairesel İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



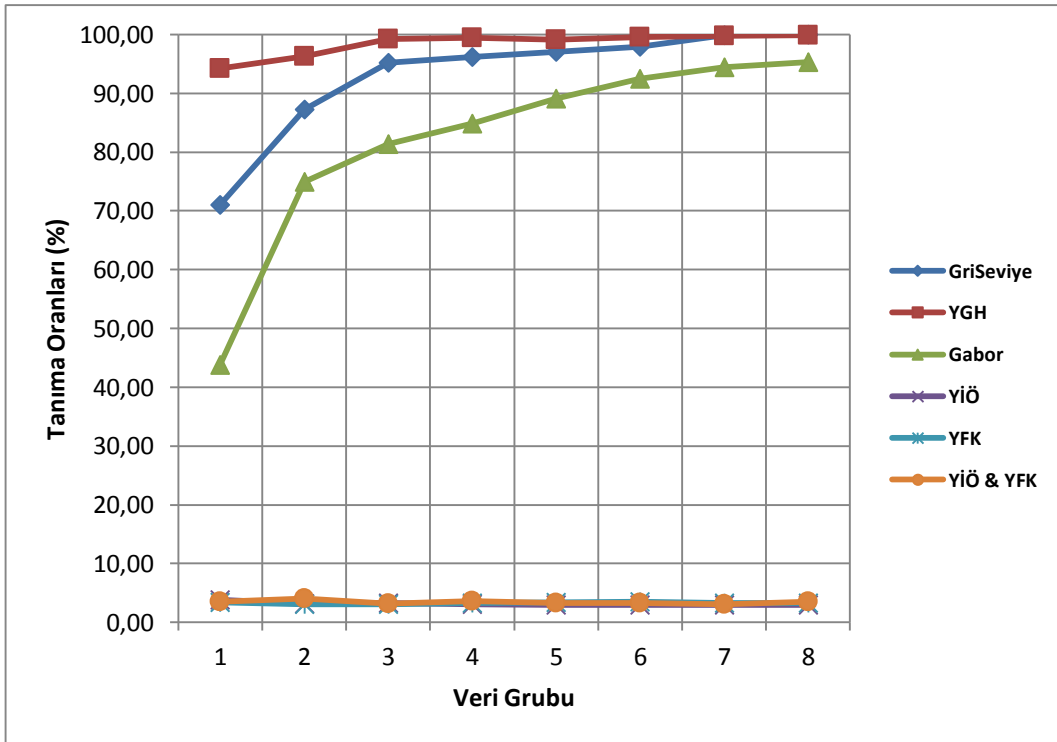
Şekil 4.42 Üçgen İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



Şekil 4.43 Dairesel İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



Şekil 4.44 Üçgen İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



Şekil 4.45 Dairesel İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları

Sonuç olarak YİÖ, YFK öznitelikleri ile yapılan deneylerde bu özniteliklerin gürültü içeren test setlerinin gürültü içermeyen veri tabanı kullanımından çok etkilendikleri ve tanınmanın %90'lara varan oranda düştüğü görülmüştür. Bu öznitelikler için %3-%5 arasındaki tanıma sonuçları, bu özniteliklerin gürültü içeren işaretlerin gürültü içermeyen veri tabanı üzerinden tanınmasında son derece kötü sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bölüm 4.1.1 ve 4.1.2'de yapılan deneylerle karşılaştırıldığında, YGH, Griseviye ve Gabor özniteliklerin tanıma sonuçlarının pek değişmediği görülmüştür. Özellikle bölüm 4.1.1'de yapılan deneylerle karşılaştırıldığında, DAA yönteminin üçgen test setlerindeki kötü tanınma sonuçları YGH öznitelikleri için devam etmektedir. Fakat Griseviye özniteliği için tanıma sonuçları olumsuz etkilenmemiştir. Bu bölümde yapılan deneylerde yine bölüm 4.1.1 ve 4.1.2'deki gibi en başarılı öznitelik YGH'dır. Yine tanıma sonuçlarına bakıldığında hem eğitim, hem de test setleri için en başarılı çıkan altuzay yöntemi AEOV olmuştur. Çizelge sonuçlarından da gözüktüğü gibi dairesel trafik işaretlerini tanınması üçgen trafik işaretlerine göre daha kolaydır.

AEOV ve DAA yöntemleri üçgen ve dairesel trafik işaretleri için eğitim setlerinin tanınmasında en iyi tanıma sonuçlarını vermiştir ve bu tanıma sonuçları %100 yakındır. TBA yönteminde tanıma sonuçları gürültü içermeyen veri tabanına gürültü içermeyen test seti uygulanmasındaki tanıma sonuçları ile paraleldir. Bu tanıma sonuçları üçgen işaretler için %21-%64 arasında olup dairesel işaretler için %67-%97 arasındadır. TBA yöntemi için en kötü sonuçları YİÖ-YFK öznitelikleri vermiştir.

Test setleri içinde benzer tanıma oranları mevcuttur. Ama en dikkat çekici olanı DAA yöntemi için üçgen işaretlerde Griseviye öznitelikler için %88 yakalanması ve YGH öznitelikler için %10 tanıma oranına düşülmesidir. YFK ve YİÖ özniteliklerinin gürültü içeren işaretlerin tanınmasında gürültü içermeyen veri tabanı kullanımından son derece kötü etkilendikleri ve AEOV gibi tanıma sonuçları iyi olan altuzay yöntemlerinin tanıma performanslarını %90'lara varan oranda düşürdükleri gözükmektedir. Griseviye, YGH ve Gabor öznitelikleri için AEOV, DAA ve TBA altuzay yöntemlerinin tanıma sonuçları daha önce yapılan deneylerle benzerlik göstermektedir.

Sonuç olarak çevremizde bulunan gerçek trafik işareti resimlerinin ideal olmadıklarından, renklerinin günün saatine, gölge etkisine ve diğer dış etkenler dolayısıyla değiştiğinden, gürültü olarak niteleyebileceğimiz trafik işaretlerinin hasarlı olması nedeniyle trafik işaret tanımada ışık etkisi ve gürültü etkisini azaltmadan YİÖ, YFK öznelikleri kullanmak iyi sınıflandırma sonuçları vermeyecektir.

4.1.4 Gürültülü ve Gürültüsüz Veri Tabanı Deneyleri

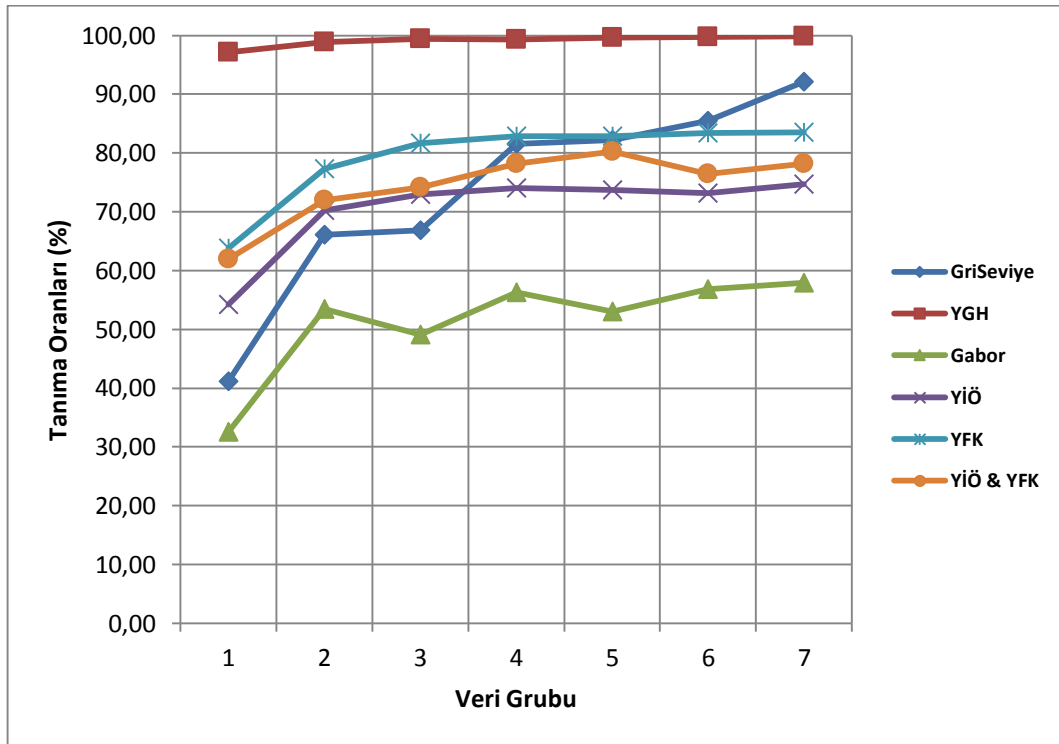
Bu uygulamada veri tabanının hem gürültülü, hem de gürültüsüz bölümü kullanılmıştır. Bu çalışmamızda eğitim setleri hem gürültü, hem de gürültüsüz imgelerle rastgele 10 farklı seçimle oluşturulmuştur. Yine test setleri de hem gürültü, hem de gürültüsüz imgelerle rastgele 10 farklı seçimle oluşturulmuştur. Böylece eğitim ve test setlerimiz yapay veri tabanımızı kullanarak kamera ve video çekiminden elde edilmiş gerçek resimlere benzetilerek modellenmiştir. Gerçek bir trafik işareti tanıma uygulamasına en uygun modeldir. Eğitim ve test setlerinde ortalaması $\mu = 0,0$ ve standart sapması $\sigma = 0,01$ olan normal rastgele dağılımlı gürültülü imgeler kullanılmıştır. Diğer uygulamalardan farklı olarak eğitim ve test setleri Çizelge 4.14'de gösterilen veri gruplarının her biri için rastgele 10 farklı seçimle veri tabanından elde edilmiştir. Test setindeki herhangi bir imge eğitim setinde bulunmamaktadır. Hem eğitim, hem de test setleri Griseviye, YGH, YİÖ, YFK ve Gabor imge tanımlayıcıları ile betimlenerek öznelik vektörleri oluşturulmuştur. Öznelik vektörleri; TBA, DAA ve AEOV altuzay yöntemleri ile işlenerek trafik işareti tanıma yapılmıştır. Her bir veri grubu için 10 kez rastgele oluşturulmuş eğitim ve test seti tanıma sonuçlarının varyansları, standart sapmaları ve ortalamaları hesaplanmıştır. Altuzay yöntemlerinin tanıma performansları, şablon eşleme yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.15, 4.16, 4.17 ve 4.18'de üçgen ve dairesel trafik işaretleri için veri gruplarının tanıma sonuçlarının ortalamaları yüzde olarak gösterilmektedir. Herhangi bir öznelik için en iyi sonucu veren altuzay yöntemi sonucu koyu yazılmıştır. Her bir alt uzay yöntemi için öznelik ve veri gruplarına göre tanıma sonuçları gösteren grafikler Şekil 4.38-4.45 arasında gösterilmektedir. Bu deneylerdeki amacımız; altuzay yöntemlerinin hem gürültü içeren,

Çizelge 4.17 Üçgen İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları

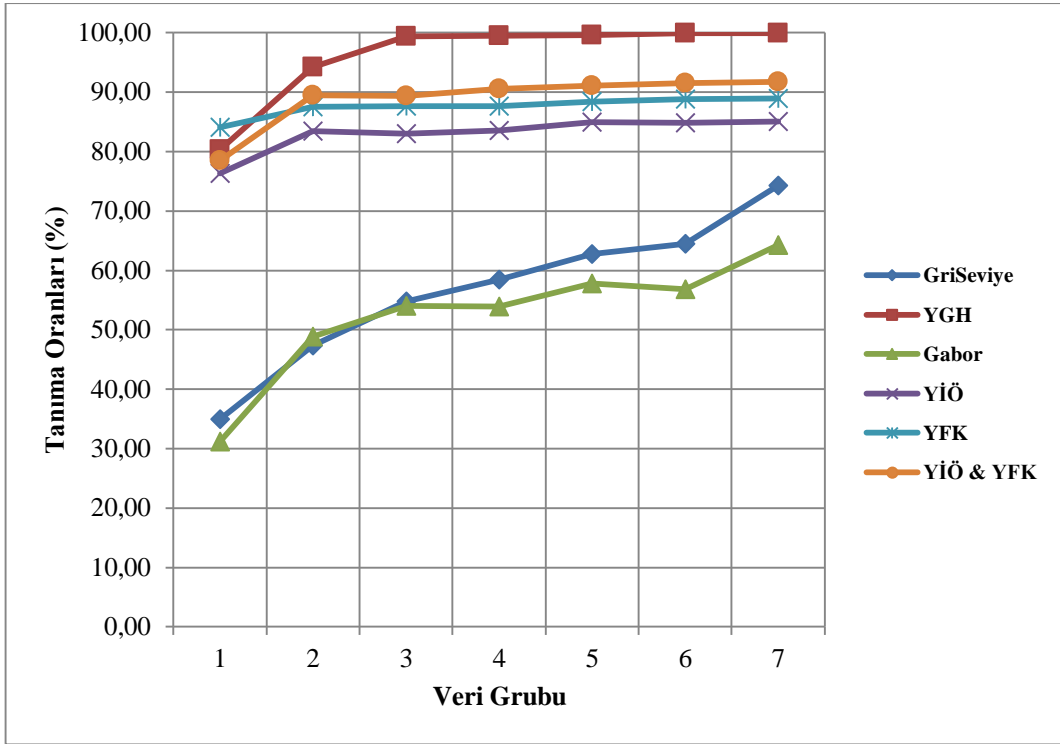
Altuzay Yöntemi	Öznitelik Çıkarma Yöntemleri					
	Griseviye	YGH	YİÖ	YFK	YİÖ-YFK	Gabor
AEOV	73,61	99,13	70,42	79,35	74,47	51,32
TBA	35,49	83,43	7,85	8,25	8,75	34,41
DAA	60,98	90,29	61,41	69,03	53,43	76,13
ŞE	43,83	94,74	66,92	67,76	71,71	38,30

Çizelge 4.18 Dairesel İşaretler için Test Seti Tanıma Sonuçları

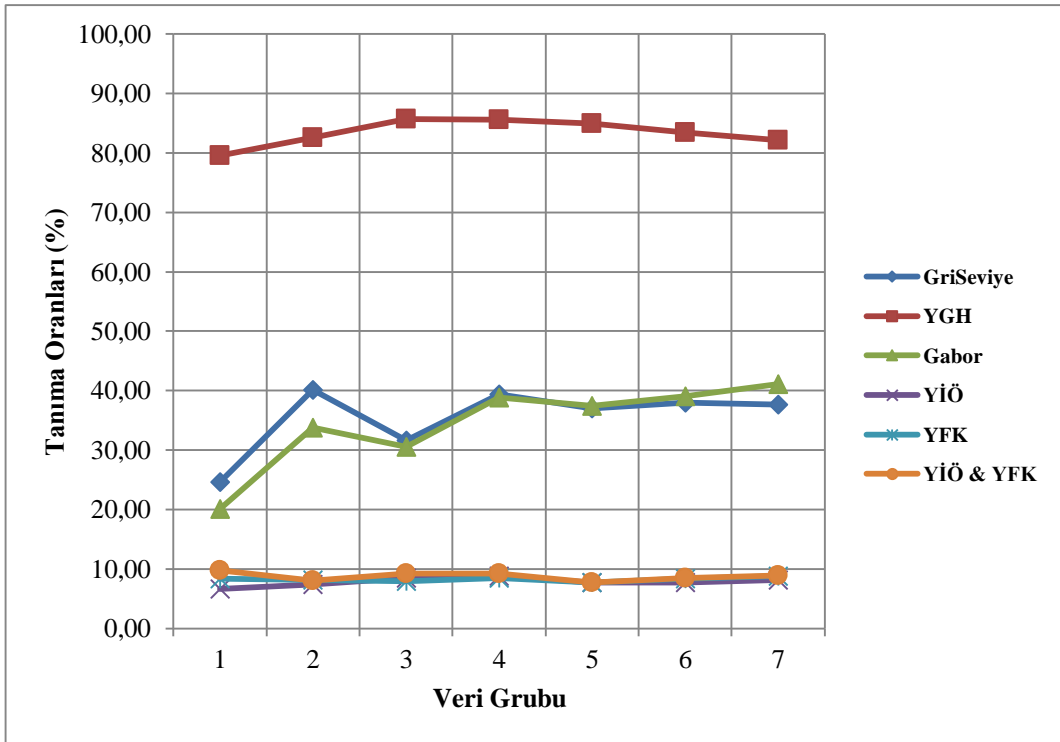
Altuzay Yöntemi	Öznitelik Çıkarma Yöntemleri					
	Griseviye	YGH	YİÖ	YFK	YİÖ-YFK	Gabor
AEOV	56,73	96,14	83,04	87,60	88,88	52,40
TBA	41,13	71,32	20,48	29,10	41,83	32,61
DAA	63,99	94,80	75,33	79,32	70,52	70,16
ŞE	37,12	72,09	78,59	81,49	77,38	35,62



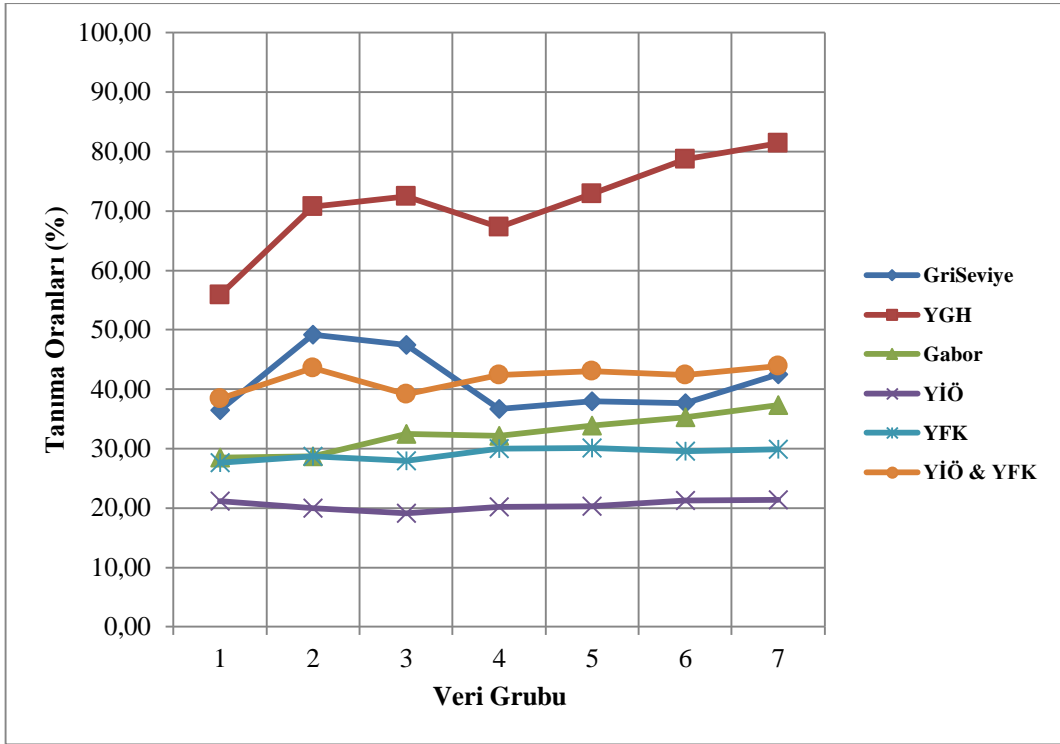
Şekil 4.46 Üçgen İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



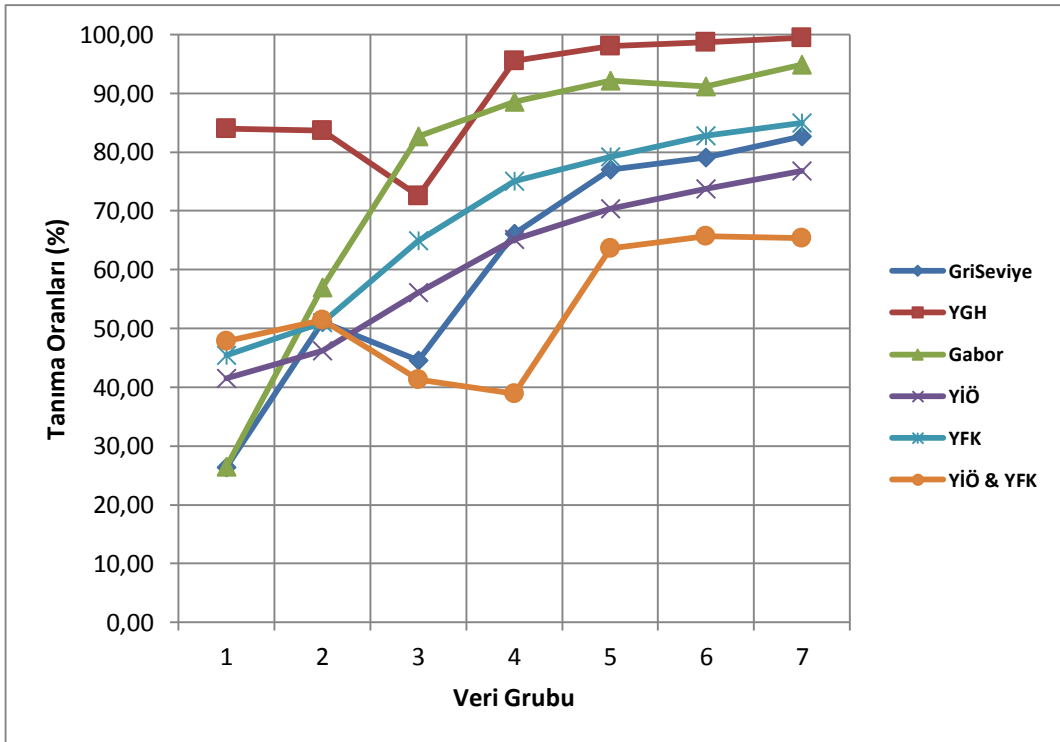
Şekil 4.47 Dairesel İşaretler için AEOV yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



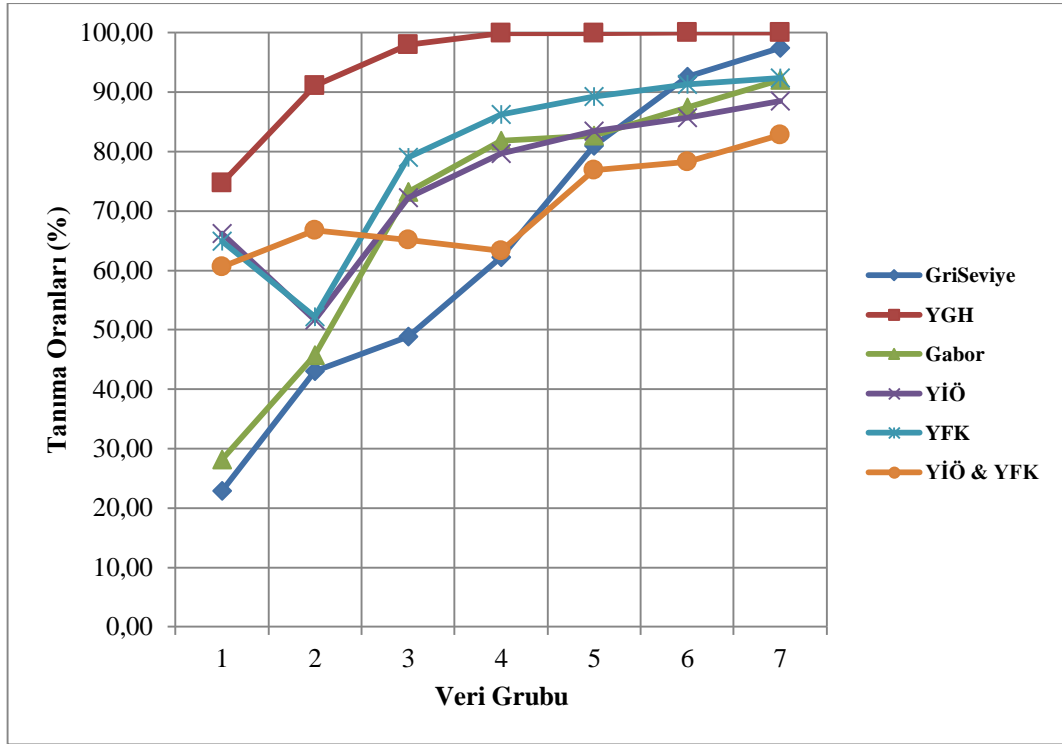
Şekil 4.48 Üçgen İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



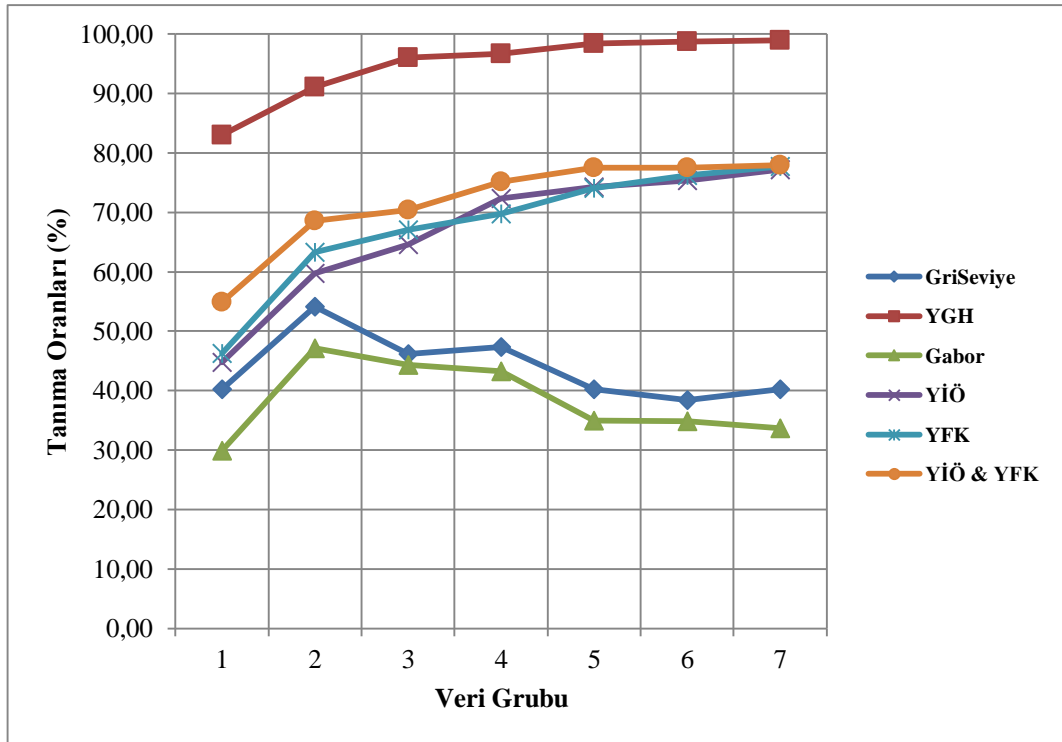
Şekil 4.49 Dairesel İşaretler için TBA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



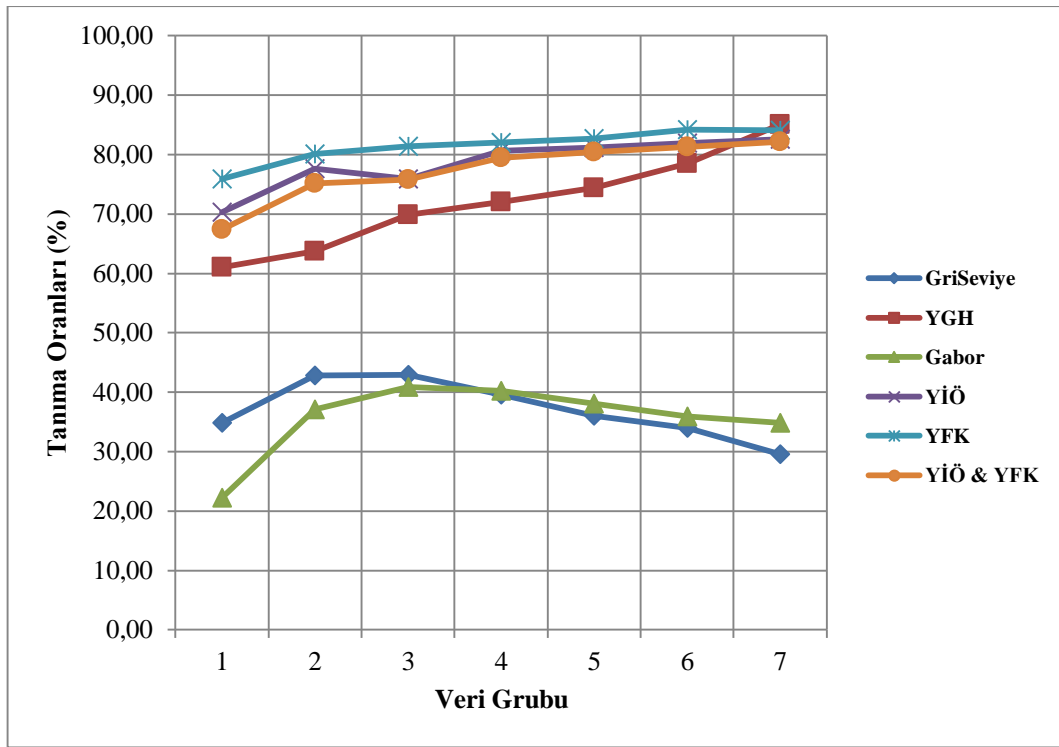
Şekil 4.50 Üçgen İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



Şekil 4.51 Dairesel İşaretler için DAA yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



Şekil 4.52 Üçgen İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları



Şekil 4.53 Dairesel İşaretler için ŞE yöntemine göre Test Seti Tanıma Sonuçları

Gerçek uygulamaya en yakın olan bu modelde altuzay yöntemleri için en iyi tanıma sonuçları YGH özniteliği ile elde edilmiştir. En dikkat çekici husus daha önceki deneylerde tanıma başarımı çok yüksek olan griseviye ve gabor öznitelikleri için tanıma başarımının düşmesidir (-%14 ve -%36). Özellikle gabor özniteliğindeki düşüş çok belirgindir. Bir diğer dikkat çekici hususta özellikle griseviye özniteliklerin tanınmasında üçgen işaretler önceki deneylerin aksine dairesel işaretlerden daha başarılı olmalarıdır.

Diğer deneylere benzer olarak yine eğitim setlerinin tanınmasında AEOV ve DAA yöntemlerinin yine en başarılı olduğu gözükmektedir. TBA yönteminin tanıma oranı kullanılan özniteliğe göre değişmektedir. Özellikle YiÖ, YFK öznitelikleri ile yapılan deneylerde TBA yönteminin gürültü içeren imgelerin bulunduğu veri tabanı kullanımından çok etkilendikleri ve tanınmanın %50'lere varan oranda düştüğü görülmüştür.

Test setlerinin tanınmasında YGH özniteliklerinin tanıma sonucu veren en iyi öznitelik olduğu gözükmektedir. AEOV yöntemi üçgen işaretlerle oluşturulmuş test

setlerinde de Griseviye, YGH, YİÖ, YFK, YİÖ-YFK öznitelikleri için en iyi sonucu vermektedir. DAA yöntemi ise Gabor öznitelikleri için en iyi tanıma sonucunu vermektedir (%76). Tanıma oranları gürültü içermeyen test setleri ile yapılan deneylere göre %10-30 arasında düşmektedir. Hem AEOV, hem de DAA yöntemleri üçgen işaretler için ŞE yönteminden daha iyi tanıma sonucu vermektedir. Yine AEOV yöntemi dairesel işaretlerle oluşturulmuş test setlerinde de YGH, YİÖ, YFK, YİÖ-YFK öznitelikleri için en iyi sonucu vermektedir. DAA yöntemi ise griseviye ve Gabor öznitelikleri için en iyi tanıma sonucunu vermektedir. Tanıma oranları gürültü içermeyen test setleri ile yapılan deneylere göre %10-30 arasında düşmektedir. Hem AEOV, hem de DAA yöntemleri dairesel işaretler için ŞE yönteminden daha iyi tanıma sonucu vermektedir.

TBA yöntemi ise üçgen işaretlerde test şablonlarını YİÖ, YFK, YİÖ-YFK öznitelikleri için hiç tanımazken dairesel işaretler için bu tanıma oranı %20-40'lar civarındadır. Bu öznitelikler için TBA yönteminde gürültü içermeyen veri tabanı ile yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara göre tanıma oranlarında %45'lere düşüş vardır. TBA yöntemi nispeten en iyi tanıma oranını YGH öznitelikleri için ortaya koymaktadır. Gürültü imgelerinde içeren veri tabanı ile yapılan deneylerde TBA yöntemi AEOV ve DAA yöntemleri kadar başarı sağlayamamıştır.

4.1.5 Altuzay Yöntemleri ile Şablon Eşleme Yönteminin Sınıflandırma Hızı Karşılaştırması

Yaptığımız deneylerde altuzay yöntemlerinin ve şablon eşleme yönteminin sınıflandırma hızı karşılaştırması da yapılmıştır. Deneylerde Intel Core i5-2400 3.1 GHz işlemcili ve 4 GB RAM belleğe sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Üçgen işaretler üzerinden yapılan deneylerde Çizelge 4.1'deki Veri Grubu-8 kullanılmıştır. Veri grubu-8'deki 15 üçgen test imgesinin altuzay yöntemlerine ve Şablon Eşleme yöntemine göre sınıflandırma süreleri Çizelge 4.19'de gösterilmiştir.

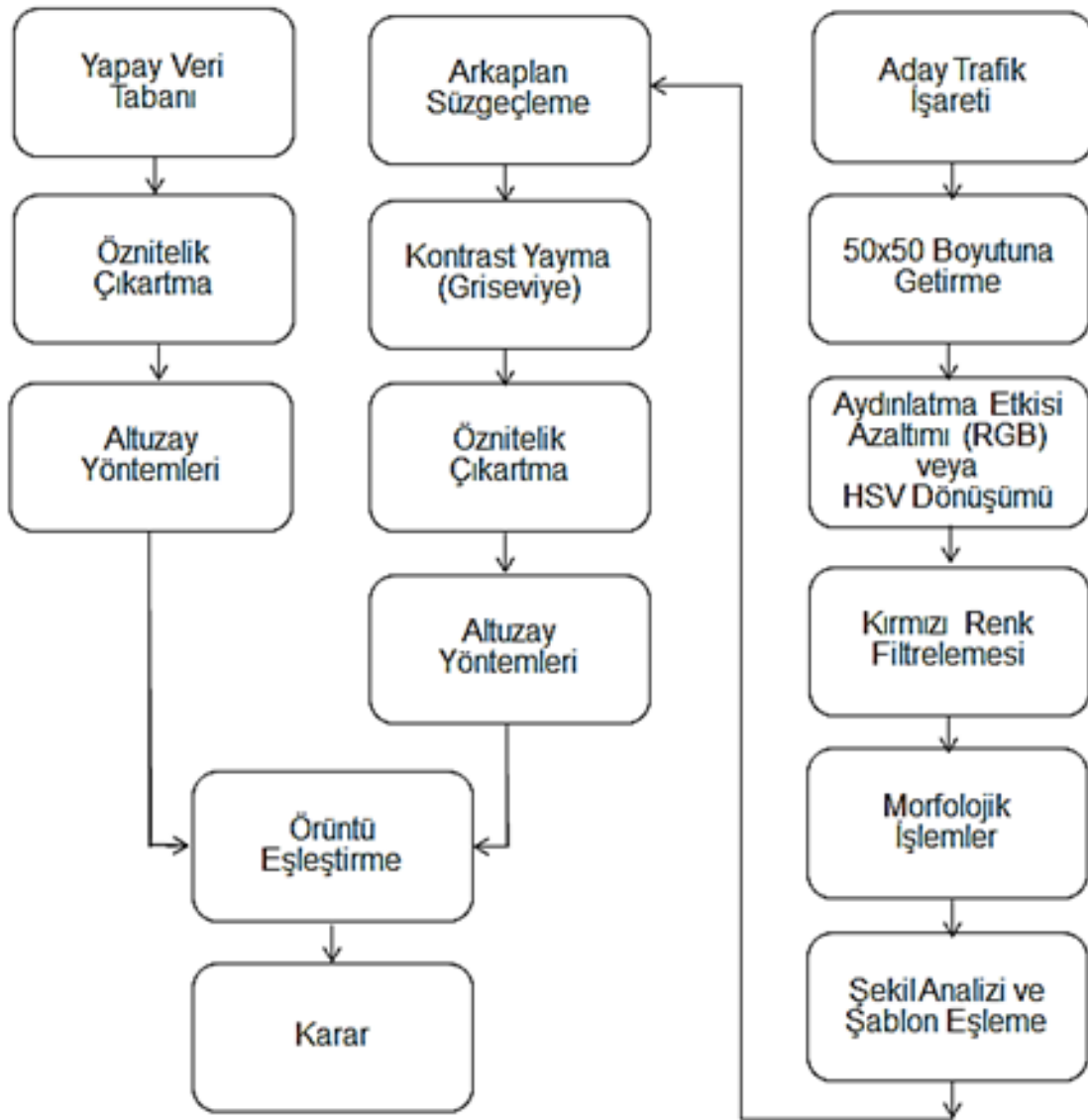
Çizelge 4.19 Altuzay Yöntemlerinin Sınıflandırma Süreleri

Altuzay Yöntemleri	Sınıflandırma Süreleri (milisaniye)					
	Griseviye	YGH	YİÖ	YFK	YİÖ-YFK	Gabor
AEOV	62	50	48	51	54	61
TBA	47	28	30	25	28	39
DAA	59	50	46	49	51	59
ŞE	12.455	2.150	1.793	1.805	2.982	11.672

Çizelge 4.19'den görüleceği üzere altuzay yöntemlerinin sınıflandırma hızı bakımından şablon eşleme yöntemlerine göre çok büyük üstünlükleri vardır. Bunun en temel sebebi ŞE yönteminin test setindeki her bir imgeyi eğitim setindeki her bir imge ($36 \times 30 = 1080$ imge ile) ile karşılaştırılmasıdır. Altuzay yöntemleri ise altuzaya izdüşümü alınmış her bir test imgesini sadece eğitim setinden elde edilmiş işaret sınıflarını temsil eden 35 iz düşüm öznitelik vektörü ile karşılaştırır. Çizelge 4.19'da ŞE yöntemindeki sonuçlara göre imge tanımlayıcıların sınıflandırma hızı karşılaştırılmaları açık bir şekilde gözükmemektedir. En hızlı imge tanımlayıcısı YİÖ, YFK yöntemleri iken en yavaşları sırasıyla Griseviye ve Gabor'dır. Bununda temel sebebi YİÖ, YFK yöntemleri için öznitelik vektör boyutlarının diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında küçük olmasıdır. AEOV ve DAA altuzay yöntemlerinin sınıflandırma hızları birbirine çok yakındır. TBA yöntemi ise sınıflandırma süresi olarak AEOV ve DAA yönteminden hızlıdır.

4.2 Gerçek Resimlerle Çalışma

Geliştirilen uygulamada yürütülen trafik işareti tanıma sisteminin blok diyagramı Şekil 4.54’de verilmiştir. Bu bölümdeki deneylerde kullanılan Test Seti bölüm 3.2’de anlatılmıştır. Test setlerinin veri gruplarına göre imge sayıları Çizelge 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.54 Trafik İşareti Tanıma Sistemi Blok Şeması

Bu çalışmada bilinmeyen aday trafik işaretlerinin boyutu 50×50 piksel boyutuna getirilmiş, kontrast yayma ile aydınlatma etkisi azaltılmaya çalışılmış, morfolojik işlemlerle gereksiz görüntüler silinmiş, kırmızı renk filtrelemesi yapılmış, işaretlerin gereksiz arka planları süzgeçlenmiştir. Bu test setlerindeki imgeler YGH, YİÖ, YFK, YİÖ-YFK ve Gabor imge tanımlayıcıları ile betimlenerek öznitelik vektörleri çıkarılmıştır. Bu öznitelik vektörleri, altuzay yöntemleri ile işlenerek sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Altuzay yöntemlerinin gerçek trafik işaretlerini tanıma sonuçları Şablon Eşleme (ŞE) yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.20 ve 4.21’de, Çizelge 3,1’de gösterilen tüm test imgelerinin ortalama sınıflandırma sonuçları yüzde olarak verilmiş olup bu sonuçlar G-2010-ŞE’deki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu sınıflandırma sonuçları elde edilirken test setlerindeki imgeler sadece 50×50 piksel boyutuna getirilmiş olup arka planları korunmuştur.

Çizelge 4.20 Üçgen İşaretler için Tanıma Sonuçları

Altuzay Yöntemi	Öznitelik Çıkarma Yöntemleri						
	G-2010-ŞE	Griseviye	YGH	YİÖ	YFK	YİÖ-YFK	Gabor
AEOV	-	4,69	68,54	0,00	0,00	0,00	0,00
TBA	-	11,74	57,28	0,00	0,00	0,47	0,00
DAA	-	1,88	3,29	0,00	0,94	0,00	0,94
ŞE	63,35	37,56	69,95	6,10	7,04	6,10	7,04

Çizelge 4.21 Dairesel İşaretler için Tanıma Sonuçları

Altuzay Yöntemi	Öznitelik Çıkarma Yöntemleri						
	G-2010-ŞE	Griseviye	YGH	YİÖ	YFK	YİÖ-YFK	Gabor
AEOV	-	12,93	46,55	26,72	29,31	24,14	7,76
TBA	-	25,86	56,90	13,79	0,00	0,00	0,00
DAA	-	11,21	15,52	26,72	26,72	24,14	8,62
ŞE	48,72	35,34	73,28	26,72	31,03	12,07	1,72

Çizelge 4.20 ve 4.21’deki sonuçlara göre bölüm 4.1.1 – 4.1.2 – 4.1.3 ve 4.1.4’deki sonuçların aksine altuzay yöntemleri sınıflandırma başarımı bakımından ŞE yönteminden daha kötü sonuçlar vermişlerdir. Bunun en temel sebebi gerçek resimlerin 50×50 piksel

boyutuna getirilirken trafik işaretinde bozulmalar olması, altuzay yöntemlerinin aşırı dönmeye ve engellemeye karşı çok hassas olması ve altuzay yöntemlerinin arka plandan çok etkilenmeleridir. Sonuçlara göre en iyi sınıflandırma sonuçları YGH öznitelikleri ile elde edilmiştir. AEOV yöntemi ise en iyi tanıma sonucu veren altuzay yöntemidir. Üçgen test setlerindeki AEOV altuzay yöntemine göre YGH öznitelik vektörlerinin işlenmesi ile bulunan sınıflandırma sonuçları G-2010-ŞE'deki sonuçlardan daha iyidir. Dairesel test setlerindeki YGH özniteliği için TBA yönteminin sınıflandırma sonuçları G-2010-ŞE'deki sonuçlarından iyidir ve AEOV yönteminin sınıflandırma sonuçları G-2010-ŞE'deki sınıflandırma sonuçlarına yakındır. Bu uygulamadaki sonuçlar bölüm 4.1.3'de anlatılan eğitim seti için gürültüsüz resimlerin, test seti için de gürültülü resimlerin kullanıldığı uygulamadaki tanıma sonuçlarına paraleldir. Bölüm 4.1.3'de YİÖ ve YFK öznitelikleri için tanıma sonuçları %2–13 arasında değişirken bu uygulamada YİÖ ve YFK özniteliklerinin tanıma sonuçlarını %0-31 arasında değişmektedir.

Çizelge 4.22 ve 4.23'de normal(düzgün), deforme olmuş(hasarlı), kötü aydınlatılmış (aydınlatma sorunlu), engellenmiş ve dönmüş resimlerden oluşmuş test setlerinin en iyi sonuçları veren YGH özniteliklerine göre sınıflandırma sonuçları veri gruplarına göre ayrı ayrı gösterilmiştir.

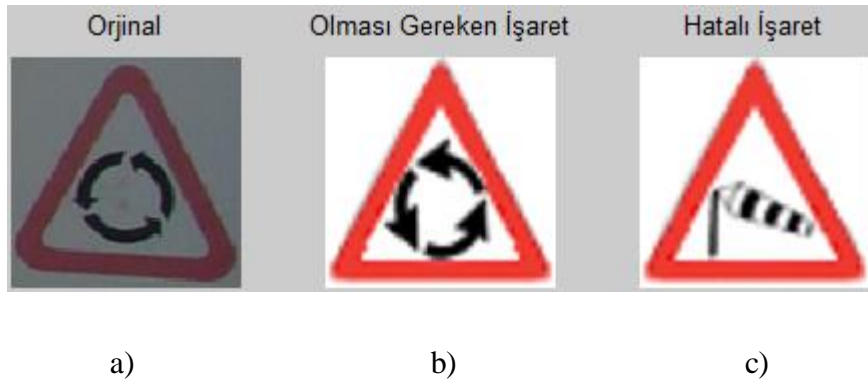
Çizelge 4.22 Üçgen İşaretler için Tanıma Sonuçları

YGH	Altuzay Yöntemleri				
	G-2010-ŞE	AEOV	TBA	DAA	ŞE
Normal	68,18	80,70	68,42	1,75	71,93
Hasarlı	64,29	57,89	63,16	0,00	63,16
Kötü aydınlatılmış	51,11	64,15	54,72	3,77	67,92
Engellenmiş	62,50	56,41	46,15	5,13	64,10
Dönmüş	73,53	73,33	53,33	4,44	77,78
Ortalama	63,35	68,54	57,28	3,29	69,95

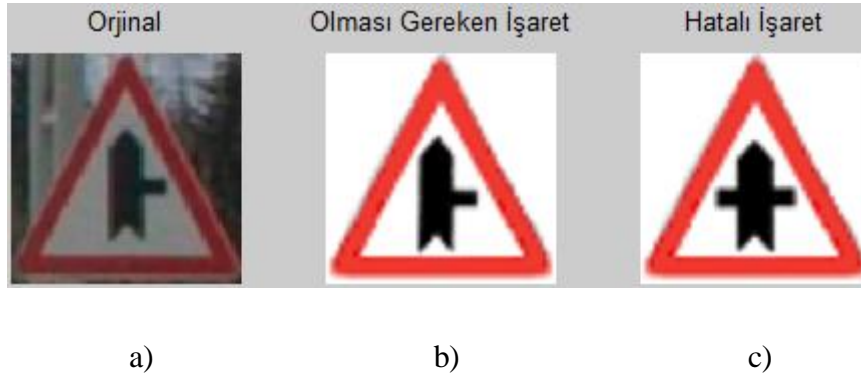
Çizelge 4.23 Dairesel İşaretler için Tanıma Sonuçları

YGH	Altuzay Yöntemleri				
	G-2010-ŞE	AEOV	TBA	DAA	ŞE
Normal	70,83	52,38	66,67	0,00	85,71
Hasarlı	50,00	37,50	37,50	12,50	50,00
Kötü aydınlatılmış	23,53	31,43	42,86	11,43	60,00
Engellenmiş	43,48	52,78	58,33	19,44	77,78
Dönmüş	68,18	62,50	81,25	37,50	87,50
Ortalama	48,72	46,55	56,90	15,52	73,28

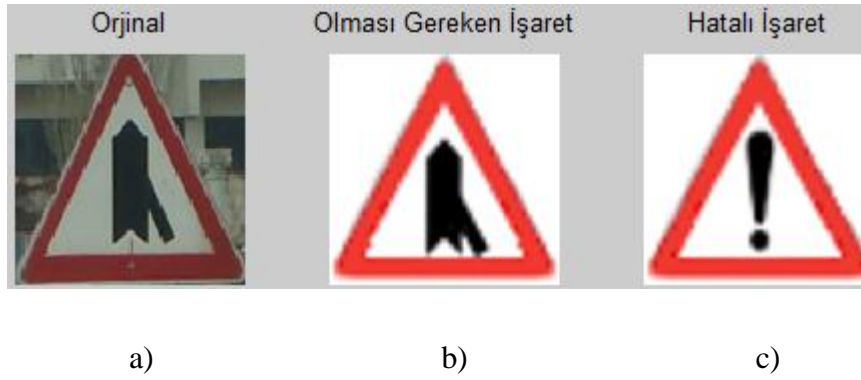
Üçgen test sertlerinde AEOV yöntemi trafik işaretlerini hem diğer altuzay yöntemlerinden, hem de G-2010-ŞE’de çalışmadan daha iyi sınıflandırmaktadır. Üçgen test setlerindeki trafik işaret imgelerinin, hasarlı olması, dönmüş olması veya kötü aydınlatılmış olması gibi sorunları yoksa AEOV yöntemi diğer tüm yöntemlerden daha iyi sonuç vermektedir. Diğer bir ifade ile gerçek resimlerle yapılan deneyler göstermiştir ki AEOV yöntemi dönme, engelleme ve ışık etkisinden çok etkilenmektedir. AEOV ve TBA yöntemleri dairesel işaretlerde engellenmiş ve kötü aydınlatılmış imgeler için G-2010-ŞE’deki sonuçlardan daha iyi sonuçlar vermektedir. Altuzay yöntemlerine göre hatalı sınıflandırılan imge örnekleri Şekil 4.55-4.62 arasında gösterilmektedir. Hatalı sınıflandırılan işaretlerin bulunmasında YGH öznitelikleri kullanılmıştır.



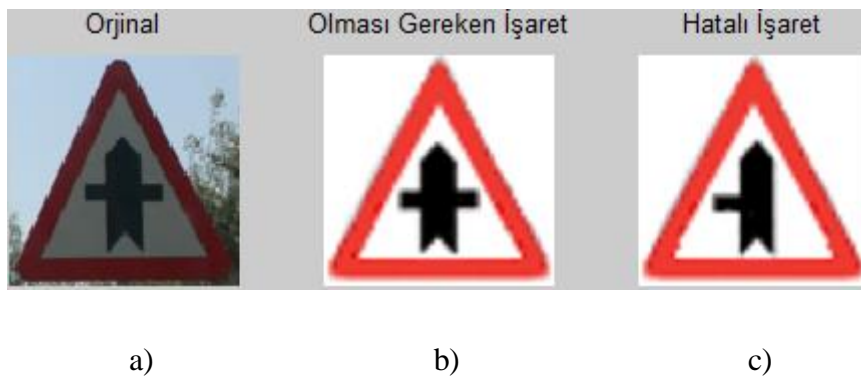
Şekil 4.55 AEOV yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal aday trafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti



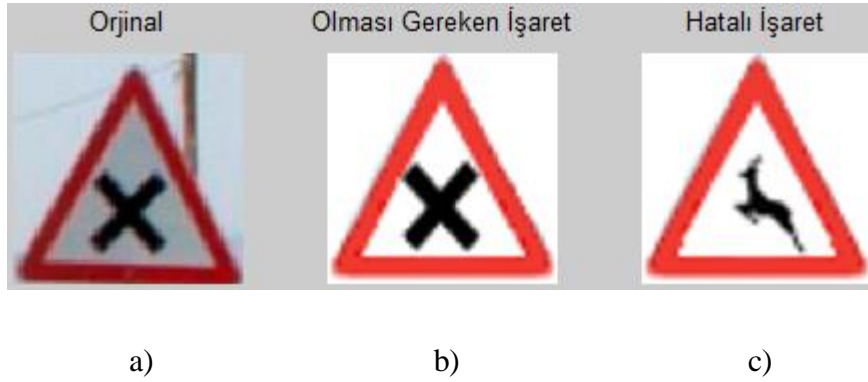
Şekil 4.56 AEOV yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal aday trafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti



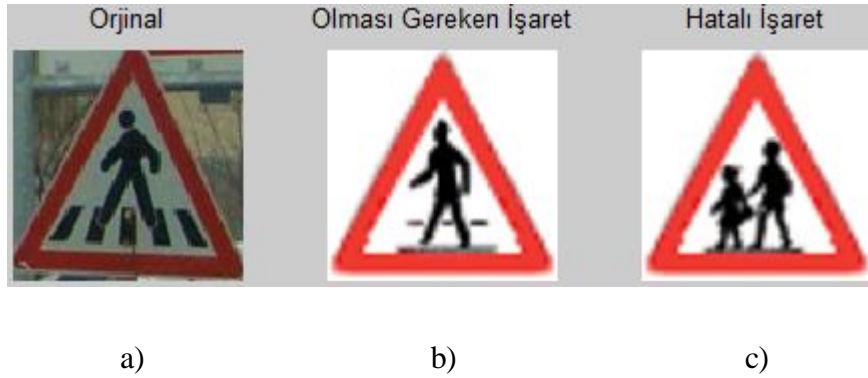
Şekil 4.57 TBA yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal aday trafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti



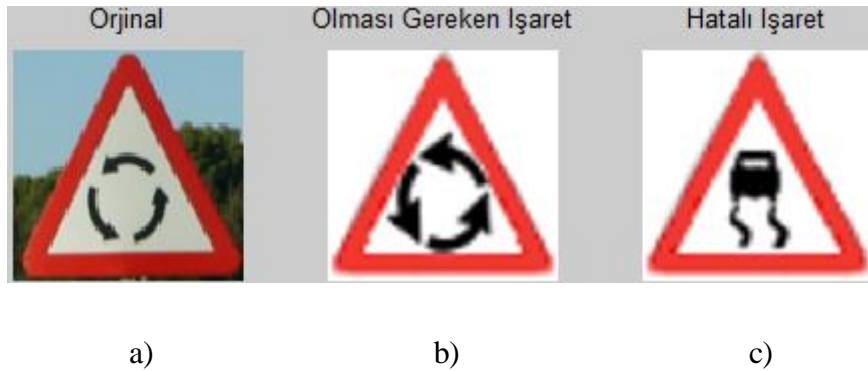
Şekil 4.58 TBA yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal aday trafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti



Şekil 4.59 DAA yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal aday trafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti



Şekil 4.60 DAA yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal aday trafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti



Şekil 4.61 ŞE yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal aday trafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti



Şekil 4.62 ŞE yöntemine göre hatalı sınıflandırma; a) orijinal aday trafik işareti, b) olması gereken trafik işareti ve c) hatalı olarak bulunan trafik işareti

Çizelge 4.24, 4.25, 4.26 ve 4.27’de aydınlanma sorunu az altımı, gürültü süzgeçleme, morfolojik işlemler, kontrast yayma ve arka plan süzgeçleme yapılarak YGH ve griseviye öznitelikleri için elde edilen en iyi sınıflandırma sonuçları gösterilmektedir. Çizelge 4.24 ve 4.25’de griseviye özniteliği için elde edilen en iyi sınıflandırma sonuçları gösterilmektedir. Bu deneylerde yapılan ön işlemlerin Çizelge 4.20 ve 4.21’deki sonuçlara göre tanınma başarımını ne kadar artırdığını ifade edebilmek için Çizelge 4.24 ve 4.25’e “Fark” satırı eklenmiştir.

Çizelge 4.24 Üçgen İşaretler için Sınıflandırma Sonuçları

Griseviye	Altuzay Yöntemleri				
	G-2010-ŞE	AEOV	TBA	DAA	ŞE
Normal	68,18	12,28	8,00	0,00	70,18
Hasarlı	64,29	10,53	0,00	10,53	68,42
Kötü aydınlatılmış	51,11	20,75	10,00	9,43	81,13
Engellenmiş	62,5	10,26	13,00	2,56	64,10
Dönmüş	73,53	20,00	8,00	2,22	80,00
Ortalama	63,35	15,49	38,50	4,23	73,71
Fark	-	+ 10,80	+ 26,76	+ 2,35	+ 36,15

Çizelge 4.25 Dairesel İşaretler için Sınıflandırma Sonuçları

Griseviye	Altuzay Yöntemleri				
	G-2010-ŞE	AEOV	TBA	DAA	ŞE
Normal	70,83	33,33	8,00	0,00	80,95
Hasarlı	50,00	0,00	0,00	12,50	50,00
Kötü aydınlatılmış	23,53	17,14	10,00	20,00	57,14
Engellenmiş	43,48	27,78	13,00	8,33	72,22
Dönmüş	68,18	56,25	8,00	12,50	93,75
Ortalama	48,72	27,59	39,66	11,21	70,69
Fark	-	+ 14,66	+ 13,80	0,00	+ 35,35

Üçgen işaretler için yapılan deneylerde griseviye imge tanımlayıcısı için ön işlemler DAA yöntemi hariç diğer yöntemlerde tanıma olumlu katkı vermektedir. En olumlu katkı TBA yöntemi(%27) ve ŞE yöntemi (%36) için geçerlidir. DAA yönteminde tanıma olumlu bir katkısı(%2,35) bulunmamaktadır. Griseviye özneliği için dairesele işaretlerde ŞE yönteminde tanıma sonucu %35 artarken, TBA yönteminde artış %14 ve AEOV yönteminde artış %15 olmaktadır. Ön işlemlerin DAA yönteminde tanıma olumlu bir katkısı bulunmamaktadır.

Çizelge 4.26 ve 4.27’de YGH özneliği için elde edilen en iyi tanıma sonuçları verilmektedir. En iyi tanıma sonuçlarını ifade edebilmek için bu çizelgelere “Fark” satırı eklenmiştir. Fark satırı Çizelge 4.22 ve 4.23’deki sonuçlarla karşılaştırıldığında tanıma sonuçlarının ne kadar arttığını ifade etmektedir.

Çizelge 4.26 Üçgen İşaretler için Sınıflandırma Sonuçları

YGH	Altuzay Yöntemleri				
	G-2010-ŞE	AEOV	TBA	DAA	ŞE
Normal	68,18	78,95	75,44	1,75	75,44
Hasarlı	64,29	63,16	78,95	0,00	78,95
Kötü aydınlatılmış	51,11	69,81	71,70	3,77	75,47
Engellenmiş	62,5	58,97	46,15	5,13	69,23
Dönmüş	73,53	71,11	57,78	4,44	73,33
Ortalama	63,35	69,95	65,73	3,29	74,18
Fark	-	+ 1,41	+ 8,45	+ 0,00	+ 4,23

Çizelge 4.27 Dairesel İşaretler için Sınıflandırma Sonuçları

YGH	Altuzay Yöntemleri				
	G-2010-ŞE	AEOV	TBA	DAA	ŞE
Normal	70,83	61,90	66,67	28,57	80,95
Hasarlı	50,00	75,00	75,00	75,00	87,50
Kötü aydınlatılmış	23,53	57,14	62,86	51,43	82,86
Engellenmiş	43,48	52,78	63,89	44,44	77,78
Dönmüş	68,18	62,50	68,75	50,00	62,50
Ortalama	48,72	58,62	65,52	46,55	78,45
Fark	-	16,38	17,24	0,00	22,42

Üçgen işaretler için yapılan deneylerde YGH özneliği için arka plan süzgeçleme dâhil yapılan ön işlemler sadece TBA ve ŞE yöntemlerine sınırlı bir katkı vermektedir. TBA yönteminde bu katkı %8'i geçmemektedir. Bu ön işlemler AEOV ve DAA yöntemlerinin tanıma sonuçlarını artırmamaktadır. YGH özneliği için dairesel işaretlerde ŞE yöntemi ile tanımda sınıflandırma başarımı %22 artarken, TBA yönteminde artış %17 ve AEOV yönteminde artış %16 olmaktadır. Ön işlemlerin DAA yönteminde sınıflandırmaya olumlu bir katkısı bulunmamaktadır. Gerçek resimlerle yapılan deneylerde altuzay yöntemlerinin tanıma başarımını en iyileyen faktör işaret imgelerindeki arka planın çıkarılmasıdır.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, üçgen ve dairesel kırmızı çerçeveli trafik işaretlerini tanımak amacıyla altuzay yöntemleri kullanılmıştır ve bu yöntemlerin farklı öznelikler üzerindeki performansları incelenmiştir. İmge tanımlayıcı olarak griseviye, YGH, YİÖ, YFK ve Gabor kullanılmıştır. Öznelik vektörleri; TBA, DAA ve AEOV altuzay yöntemlerinde işlenerek trafik işareti tanıma yapılmıştır. Eğitim seti olarak yapay veri tabanı kullanılmıştır. Test seti olarak hem yapay veri tabanı, hem de gerçek resimlerden oluşan bir test seti kullanılmıştır. Yapay veri tabanı ile yapılan deneylerde altuzay yöntemlerinin trafik işaret tanımadaki trafik işaretlerinin kısmen dönme ve kısmen engellenmiş olması durumlarındaki performansları incelenmiş olup kısmen dönmeye ve kısmen engellemeye karşı dayanımlı öznelikler tespit edilmeye çalışılmıştır. Altuzay yöntemlerinin trafik işaret tanımadaki ışık etkisi ve gürültü sorunu ilişkin performansları yapay işaretlere gürültü eklenerek incelenmeye çalışılmış olup gürültü ve ışık etkisine dayanımlı en uygun özneliklerde tespit edilmiştir. Bu tespitler yapay veri tabanının gürültü içeren ve gürültü içermeyen bölümleri hem ayrı ayrı, hem de karışık olarak kullanılmıştır. Yapay veri tabanının elde edilen eğitim setleri test seti olarak kullanılarak altuzay yöntemlerinin eğitim setlerini tanıma performansı incelenmiştir.

Altuzay yöntemleri ile yapılan deneylerde gürültü içermeyen yapay veri tabanının hem eğitim, hem de test seti olarak kullanılmasında son derece iyi sonuçlar bulunmuştur. Eğitim setlerinin tanınması deneylerinde tüm öznelikler için AEOV ve DAA yöntemleri son derece iyi sonuçlar vermektedir. AEOV ve DAA yöntemleri eğitim seti tanımada %100 yakın başarımlı vermektedir. Bu yöntemler öznelik değişimlerinden etkilenmemektedirler. TBA yönteminin eğitim setlerini tanıma performansı daha kötüdür. Bu yöntem eğitim setinin tanınmasında öznelik değişiminden son derece etkilenmektedir. YİÖ ve YFK öznelikleri için TBA yöntemi eğitim setinin tanınmasında trafik işaretinin çerçeve şeklinin üçgen veya daire olmasından çok etkilenmektedir. TBA yöntemi dairesel çerçeveye sahip trafik işaretlerinin üçgen çerçeveye sahip olanlara göre daha iyi sınıflandırılmasını sağlamaktadır.

Test setleri ile yapılan deneysel çalışmalarda altuzay yöntemlerinin dairesel trafik işaretlerini üçgen trafik işaretlerine göre daha iyi sınıflandırdığı görülmektedir. Test setlerinin tanınması deneylerinde tüm öznitelikler için AEOV yöntemi iyi sonuçlar vermektedir. En iyi sınıflandırma sonuçları YGH öznitelikleri ile elde edilmiştir. Özellikle üçgen işaretlerde griseviye ve YGH öznitelikleri için ayırıcı öznitelik bulmak DAA yöntemi için son derece zor olmaktadır. Bu da tanıma sonuçlarına yansımaktadır. TBA yöntemi ise yine öznitelik değişimlerinden etkilenmektedir.

Altuzay yöntemleri ile yapılan deneylerde gürültü içeren veri tabanının hem eğitim, hem de test seti olarak kullanılması ile tanıma sonuçlarında YİÖ, YFK öznitelikleri için %40-50'ye yakın tanıma kaybı oluştururken diğer özniteliklerde herhangi bir kayıp olmamaktadır. Bu kayıp gürültü içermeyen eğitim setine gürültü içeren test seti uygulandığında %90'lara varmaktadır. Diğer bir ifade ile YİÖ ve YFK öznitelikleri gürültü etkisinden son derece etkilenmektedirler. Gerçek resimlerle yapılan deneylerde bu sonucu paralel sonuçlar elde edilmiştir. Gürültü etkisinin YGH, Griseviye ve Gabor özniteliklerin tanıma sonuçlarını pek değiştirmedığı görülmüştür. Deneyler sonucunda ortaya çıkan en önemli sonuç trafik işaretlerinin tanınmasında uygun öznitelik kullanımının tanımayı etkileyen en önemli parametre olduğudur. YGH öznitelikleri dönmeye, ötelemeye karşı dayanıklı olduklarından en iyi tanıma sonuçları vermektedir. En iyi tanıma sonuçlarını veren altuzay yöntemi AEOV olmuştur.

Deneylerde altuzay yöntemleri sınıflandırma hızı bakımından şablon eşleme yöntemine göre çok büyük üstünlüğü görülmektedir. Bu sebeple gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılmaya daha uygundur. AEOV ve DAA yöntemlerinin sınıflandırma hızları birbirine çok yakındır. TBA yöntemi ise sınıflandırma süresi olarak AEOV ve DAA yönteminden hızlıdır.

Bu deneylerde ortaya çıkan en önemli husus altuzay yöntemlerinin başarısında en önemli ölçütün doğru öznitelik seçimi olduğudur. En iyi sonuçlar tüm deneylerde YGH özniteliklerinin altuzay yöntemleri ile sınıflandırılması sonucu elde edilmiştir. Yapay veri tabanı ile yapılan deneylerde altuzay yöntemleri hız ve performans açısından ŞE yönteminden çok daha iyidir.

Gerçek resimlerle yapılan deneylerde alt uzay yöntemlerinin dönme, engelleme, arka plan, ışık etkisinden çok etkilendikleri görülmüştür. Bu yöntemlerin gerçek zamanlı trafik işaret tanıma sisteminde kullanılabilmesi için gürültü ve aydınlatma sorunlarının etkin çözümlenmesi gerekir. Gerçek resimlerle yapılan deneylerde alt uzay yöntemlerinin tanıma başarımını en iyileyen faktör işaret imgelerindeki arka planın çıkarılmasıdır.

Özellikle gerçek resimlerle yapılan deneyler tanıma sonucu artırmak için veri tabanı gerçek resimler ile oluşturulabilir. Veri tabanına daha farklı açıda dönmüş resimler eklenebilir. Yine veri tabanına farklı piksel değerlerinde kaymış resimler ile farklı gürültü içeren resimler eklenebilir. Veri tabanındaki her bir trafik işaretinin sisli, bulutlu, güneşli ve yağmurlu havadaki örneklerini temsil edecek resimler eklenebilir. Ayrıca gerçek resimlerle yapılan deneylerde sınıflandırma başarımını artırmak için trafik işaretinin kırılması veyahut engellenmesi nedeniyle gözükmeyen kısımları bulunmasına yönelik bir algoritma geliştirilebilir.

Trafik işaretlerinin tanıma sonuçlardan ödün vermeden hız avantajı sağlamak için üçgen ve dairesel işaretlerin tanınmasında YGH imge tanımlayıcısı ile elde edilmiş öznitelik vektörlerini şablon eşleme yerine AEOV yöntemi ile sınıflandırmak çok daha uygun olabilir.

Uygulamada trafik işaret resimlerinin bütünü tanımak yerine işaretlerin çerçeve kısımları silinerek sadece piktogramlar üzerinden tanıma yapılabilir. Mavi çerçeveye sahip işaretlerde bu tez çalışmasında geliştirilen uygulama ile incelenebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Akarşlan, E. ve Edizkan, R., 2013, Combining Local Binary Pattern and Local Phase Quantization for Object Classification, AWERProcedia Information Technology & Computer Science.[Online]. 2013, 04, 1102-1108.

Akın, A., 2007, Çukurova Deltası Kıyı Alanında Arazi Örtüsü Değişimlerinin Belirlenmesinde Farklı Uzaktan Algılama Yöntemlerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 115s.

Alparslan, N., 2013, Gradyan Tabanlı Heterojen Öznitelik Çıkarma Yöntemlerine Yeni Yaklaşımlar, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, 91s.

Aoyagi Y. and Asakura T., 1996, A Study on Traffic Sign Recognition in Scene Image Using Genetic Algorithms and Neural Network, in :Proceedings of the 1996 IECON 22nd International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, vol. 3, 1838-1843.

Aydın U.S., 2009, Traffic Sign Recognition, M.Sc. Thesis, METU, 113p.

Bahlmann C., Zhu Y., Ramesh V., Pellkofer M., Koehler T., 2005, A System for Traffic Sign Detection, Tracking and Recognition Using Color, Shape, and Motion Information , in: Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 255–260.

Becer, H.C., 2011, A Robust Traffic Sign Recognition System, M.Sc. Thesis, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 108p.

Broggi A., Cerri P., Medici P., Porta P.P., 2007, Real Time Road Signs Recognition, Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium Istanbul, Turkey, 981-986.

Can Kuş M., 2008, Traffic Sign Recognition Using Scale Invariant Feature Transform and Color Classification Method, M.Sc. Thesis, ITU, 110p.

Chen S. and Hsieh J., 2008, Boosted Road Sign Detection And Recognition", Machine Learning and Cybernetics, 2008 International Conference on , vol.7, 3823-3826.

Edizkan R., Çevikalp H., Yavuz H.S., 2013, DCV-based Face Recognition System and Its Application On the Embedded Development Board, AWERProcedia Information Technology & Computer Science.[online]. 2013, 05, 734-738.

Escalera A., Moreno L., Salichs M., Armigol J., 1997, Road Traffic Sign Detection and Classification, Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 44, No. 6., 848-859.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Eski, S., 2008, Görüntü İşleme Yöntemleri ile Araç Marka Tanıma ve Türlerinin Tanınması, Master Thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi, 53p.

Fang C.Y., Chen S.W., Fuh C.S., 2004, Roadsign Detection and Tracking, IEEE Transaction on Vehicular Technology, 52 (5), 1329-1341.

Fleyeh H. and Davami E., 2011, Eigen-based Traffic Sign Recognition, Dalarna University, IET Intell. Transp. Syst., Vol. 5, Iss. 3, 190–196.

<http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TehlikeUyariIsaretleri.aspx>, Erişim Tarihi: 05.06.2014.

http://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_sign_recognition, Erişim Tarihi: 05.06.2014.

Galyamichev P., 2010, Traffic Signs Detection Method, M.Sc. Thesis, Lappeenranta University of Technology, 75p.

Gao X.W., Podladchikova L., Shaposhnikov D., K., Hong N., 2006, Recognition of Traffic Signs Based on their Colour and Shape Features Extracted Using Human Vision Models, Journal of Visual Communication and Image Representation, 17(4), 675–685.

Gündüz H., 2010, Altuzay Temelli Yaklaşımlar Kullanarak Gerçek Zamanlı Yüz Tanıma, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 70s.

Gündüz, H., Kaplan, S., Günal, S., Akınlar, C., 2013, Circular Traffic Sign Recognition Empowered by Circle Detection Algorithm, IEEE 21st Signal Processing and Communications Applications Conference, Girne, KKTC, 4p.

Gürbüz A., 2010, Otomatik Trafik İşaret Tanıma, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 83s.

Karhan, M., Oktay, M.O., Karhan, Z., Demir, H., 2011, Morfolojik Görüntü İşleme Yöntemleri ile Kayıslarda Yaprak Delen (Çil) Hastalığı Sonucu Oluşan Lekelerin Tespiti, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 172-176.

Koç M., Barkana A., 2011, Ortak Vektör ve Ayırt edici Ortak Vektör Yaklaşımları İle Öznitelik Seçimi Yöntemi, IEEE 19th Signal Processing and Communications Applications Conference, 98-101.

Koncar A., Janben H., Halgamuge S., 2007, Gabor Wavelet Similarity Maps for Optimising Hierarchical Road Sign Classifiers, Pattern Recognition Letters, 28, 260–267.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Lim K.H., Seng K.P., Ang L.M., 2010, Intra Color-Shape Classification for Traffic Sign Recognition, Faculty of Engineering The University of Nottingham, Malaysia Campus, IEEE, 642-647.

Mariut F., Foşalau C., Avila M. and Petrişor D., 2011, Detection and Recognition of Traffic Signs Using Gabor Filters, IEEE, 554-558.

Miura, J., Kanda T., Shirai Y., 2000, An Active Vision System for Real-Time Traffic Sign Recognition, IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings, Dearborn (MI), USA, 52-57.

Ojansivu V. and Heikkilä, J., 2008, Blur Insensitive Texture Classification Using Local Phase Quantization, ICISP, LNCS, 5099, 236-243.

Özdamar, M. ve Edizkan, R., 2014, Trafik İşareti Tanımada Altuzay Temelli Sınıflandırıcılar İçin İmge Tanımlayıcılarının Değerlendirilmesi, IEEE 22.Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Trabzon, KTÜ, 4s.

Paclik P. and Novovicova J., 2000, Road Sign Classification without Color Information, Proceedings of the 6th Conference of Advanced School of Imaging and Computing, 7p.

Piccioli G., Micheli E., Parodi P., and Campani M., 1996, Robust Method for Road Sign Detection, Image and Vision Computing, 14 (3), 209–223.

Ren F., Huang J., Jiang R., Klette R., 2009, General Traffic Sign Recognition by Feature Matching, 24th International conference Image and Vision Computing, New Zealand, 409-414.

Ruta A., Li Y., Liu X., 2007, Towards Traffic Sign Recognition by Class-Specific Discriminative Features, British Machine Vision Conference, vol. 1, 399–408.

Ruta A., Li Y., Liu X., 2010, Real-time Traffic Sign Recognition from video by Class-Specific-Discriminative Features ”, Pattern Recognition Letters, 43, 416-430.

Sadiç S., 2007, OVY ve GMM ile Metinden Bağımsız Konuşmacı Tanıma, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 74s.

Shi M., 2006, Road and Traffic Signs Recognition using Support Vector Machines, Master Thesis, Department of Computer Engineering, Dalarna University, 100p.

Shojania H., 2003, Real Time Traffic Sign Detection, Computer Vision Lecture Final Project, Queen’s University, Kingston, Ontario, Canada, 24p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Sun Zhan-Li., Wang Han., Lau Wai-Shing., Seet Gerald., Wang Danwei, 2014, Application of BW-ELM model on traffic sign recognition, Neurocomputing, Vol. 128, 153-158.

Zakir U., Zafar İ., Edirisinghe E., 2010, Road Sign Detection and Recognition by using Local Energy Based Shape Histogram (LESH), International Journal of Image Processing (IJIP).

Zaklouta Fatin., Stanciulescu Bogdan., 2014, Real-time traffic sign recognition in three stages, Robotics and Autonomous Systems, Vol. 62, Iss. 1, 16–24.