KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

GÖMÜLÜ PLATFORMLAR İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEMELLİ GERÇEK ZAMANLI ŞERİT TESPİT VE UYARI YÖNTEMLERİ

AYHAN KÜÇÜKMANİSA

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

GÖMÜLÜ PLATFORMLAR İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEMELLİ GERÇEK ZAMANLI ŞERİT TESPİT VE UYARI YÖNTEMLERİ

AYHAN KÜÇÜKMANİSA

Prof.Dr. Oğuzhan URHAN		
Danışman,	Kocaeli Üniversitesi	.....
Prof.Dr. Hasan OCAK		
Jüri Üyesi,	Kocaeli Üniversitesi	.....
Doç.Dr. Mehmet Kemal GÜLLÜ		
Jüri Üyesi,	Kocaeli Üniversitesi	.....
Prof.Dr. Cabir VURAL		
Jüri Üyesi,	Marmara Üniversitesi	.....
Dr.Öğr.Üyesi Yakup GENÇ		
Jüri Üyesi,	Gebze Teknik Üniversitesi	.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 11.07.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, farklı ARM platformları şeriten ayrılma uyarı sistemleri gerçek zamanlı olarak başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Yapılan çalışmaların bu alana emek verenlere ve bu alanda çalışacak araştırmacılara yararlı olmasını dilerim.

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla bana yol gösteren kendisinden çok şey öğrendiğim ailem kadar yakın hissettiğim değerli hocam Prof.Dr. Oğuzhan URHAN'a ne kadar teşekkür etsem azdır.

Yoğun çalışma saatlerime gösterdiği anlayışı, her zaman hissettiğim sonsuz desteği ve güveniyle sevgili ve biricik eşim Serap KÜÇÜKMANİSA'ya teşekkür ederim.

Hayatım boyunca hem maddi hem manevi olarak benden ilgi ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen her zaman yanımda olan babam Abdullah KÜÇÜKMANİSA, annem Emine KÜÇÜKMANİSA, kardeşim Gürkan KÜÇÜKMANİSA, dedem Necmi KÜÇÜKMANİSA ve babaannem Hediye KÜÇÜKMANİSA'ya çok teşekkür ederim.

Lisans eğitimimizden bu yana beraber çalıştığım, doktora sürecinin tüm zorluklarını paylaştığım dostum Ramazan DUVAR'a ayrıca teşekkür ederim.

Temmuz - 2018 Ayhan KÜÇÜKMANİSA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ viii
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR x
ÖZET xi
ABSTRACT xii
GİRİŞ 1
1. ŞERİTTEN AYRILMA UYARI SİSTEMİ 4
2. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR 8
2.1. Radar Temelli Çalışmalar 8
2.2. Konum Temelli Çalışmalar 10
2.3. Sensör Temelli Çalışmalar 11
2.4. Görü Temelli Çalışmalar 12
2.4.1. Görüntü işleme temelli yöntemler 14
2.4.1.1. Kenar temelli yöntemler 15
2.4.1.2. Alan temelli çalışmalar 24
2.4.1.3. Karma Yöntemler 28
2.4.2. Öğrenme temelli yöntemler 33
2.4.2.1. Makine öğrenmesi temelli yöntemler 33
2.4.2.2. Derin öğrenme temelli yöntemler 36
3. TEZ KAPSAMINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN ŞERİT TESPİT VE ŞERİTTEN AYRILMA UYARI SİSTEMİ ÇALIŞMALARI 42
3.1. Şerit İşareti Tespit Performanslarının Değerlendirilmesi 42
3.2. Hough Dönüşümü Temelli Çok Düşük Karmaşıklığa Sahip Gömülü Şeritten Ayrılma Uyarı Sistemi 46
3.2.1. Şerit işaretlerinin tespiti 48
3.2.1.1. Ön işlem 48
3.2.1.2. Çizgilerinin çıkarılması 49
3.2.1.3. Şerit çizgilerinin belirlenmesi 51
3.2.1.4. Son işlem 52
3.2.2. Şeritten ayrılma tespiti 53
3.2.3. Deneysel sonuçlar 54
3.2.4. Sonuçlar 56
3.3. Geliştirilmiş 1-Bit Dönüşümü Temelli Ön İşlem Kullanarak Gerçek Zamanlı Şerit İşaret Tespiti 57
3.3.1. Önerilen yöntem 57
3.3.1.1. Ön işlem 59
3.3.1.2. Özellik çıkartımı 60
3.3.1.3. Son işlem 63
3.3.2. Deneysel sonuçlar 65
3.3.3. Sonuçlar 66

3.4. Gömülü Bir Platform Üzerinde Gerçek Zamanlı Şeritten Ayrılma Uyarı Sistemi 67
3.4.1. Şerit Tespiti 69
3.4.1.1. Ön işlem 69
3.4.1.2. Özellik çıkartımı 70
3.4.1.3. Son işlem 73
3.4.2. Şeritten ayrılma tespiti 75
3.4.3. Gömülü platform uygulaması 76
3.4.4. Deneysel sonuçlar 77
3.4.5. Sonuçlar 86
3.5. Mobil Platform üzerinde Gerçek Zamanlı Işıklılık ve Gölge Değişmez Şerit Tespiti 87
3.5.1. Şerit işaretlerinin tespiti 89
3.5.1.1. Ön işlem 89
3.5.1.2. Özellik çıkartımı 91
3.5.1.3. Son işlem 94
3.5.2. Deneysel sonuçlar 95
3.5.3. Mobil platform uygulaması 103
3.5.4. Sonuçlar 105
3.6. Adaptif-Sinir Bulanık Çıkarsama Sistemleri temelli Gerçek Zamanlı Şerit Tespit Filtresi 105
3.6.1. Şerit işareti filtresi 106
3.6.2. Deneysel sonuçlar 109
3.6.3. sSonuçlar 114
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 115
SONUÇLAR VE ÖNERİLER 124
KAYNAKLAR 125
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 135
ÖZGEÇMİŞ 137

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.2. Kameradan alınan görüntülerde şerit işareti tespitini etkileyecek olumsuz koşullar (a) Yoldaki yansımalar (b) Lens patlaması (c) Gölge (d) Aşınma (e) Yol çatlakları (f) Az ışıklılık (Gece zamanı) (g) Yağmurlu hava durumu (h) Yan şeritten araç geçmesi 5
Şekil 1.3. Araçların şerit değişikliği durumları (a) Sol şerit değişikliği (b) Normal seyir (c) Sağ şerit değişikliği 7
Şekil 2.1. Şeritten ayrılma uyarı sistemlerinin sınıflandırılması 8
Şekil 2.2. Görü temelli çalışmaların genel gösterimi 13
Şekil 3.1. Elle işaretleme yöntemiyle yer doğrusu oluşturma 44
Şekil 3.2. Yer doğrusu XML dosya yapısı 44
Şekil 3.3. Önerilen yöntemin akış diyagramı 47
Şekil 3.4. Şerit işaretleri filtresi a) Orijinal görüntü b) Şerit filtresi sonucu c) Yeni şerit filtresi çıkışı 49
Şekil 3.5. Örnek bir çizgiye ait noktalar [68] 50
Şekil 3.6. Örnek bir Hough uzayı 50
Şekil 3.7. Hough Dönüşümü sonrası elde edilen çizgiler 51
Şekil 3.8. Hough çizgilerinin elenmesi a) Hough çizgileri b) Zamansal ilişki kullanımı sonrası tespit edilen şerit çizgileri 52
Şekil 3.9. Şerit çizgilerinin çıkartımı 53
Şekil 3.10. Şerit değişikliği tespiti 54
Şekil 3.11. Şeritten ayrılma tespiti 54
Şekil 3.12. Önerilen yöntemin akış diyagramı 58
Şekil 3.13. Geliştirilmiş 1-bit dönüşümü a) Orjinal çerçeve b) th=0 ile 1-bit dönüşümü c) th=40 ile 1-bit dönüşümü 60
Şekil 3.14. Kenar tespiti işlemleri (a) Modifiye 1-bit dönüşümü sonucu (b) Modifiye 1-bit dönüşümü sonrası Sobel kenar tespiti sonucu 61
Şekil 3.15. Hough dönüşümü ile elde edilen çizgiler 61
Şekil 3.16. Şerit işaretlerinin 1-boyutlu dağılımı (a) Şerit işareti görüntüsü ve belirli satırlarının 1-boyutlu dağılımı (b) Gaussal piksel dağılımı 62
Şekil 3.17. Tespit edilen şerit çizgileri (a) ROI üzerinde gösterim (b) Giriş görüntüsü üzerinde gösterim 63
Şekil 3.18. İzdüşümü yöntemiyle elde edilen şerit işaretleri 64
Şekil 3.19. Önerilen sistemin akış diyagramı 68
Şekil 3.20. İlgi alanı (a) Giriş görüntüsü (b) İlgi alanı 69
Şekil 3.21. Şerit işareti filtresi (a) Gri-seviyeli giriş görüntüsü (b) Şerit işareti filtresi sonucu 70
Şekil 3.22. Eşikleme işlemi sonucu 70

Şekil 3.23. Şerit işareti üzerindeki piksel dağılımı (a) Şerit işareti (b) Şerit işaretinin 3-B gösterimi (c) Şerit işaretinin 1-B piksel gösterimi ve Gauss fonksiyonu 72
Şekil 3.24. Tespit edilen şerit işareti özellik noktaları 73
Şekil 3.25. Tespit edilen şerit işaretleri (a) ROI üzerinde tespit sonucu (b) Orijinal görüntü üzerinde tespit sonucu 74
Şekil 3.26. Kalman filtresi ile şerit işareti konum tespiti 75
Şekil 3.28. Gömülü platform kasası 77
Şekil 3.29. Bütün görüntü setleri için görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem 78
Şekil 3.30. Cordova1 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem 79
Şekil 3.31. Cordova2 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem 79
Şekil 3.32. Washington1 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem 80
Şekil 3.33. Washington2 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem 80
Şekil 3.34. S1C1 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem 81
Şekil 3.35. S2C1 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem 81
Şekil 3.36. Şerit işareti genişliği temelli şerit işareti tespit performansı değerlendirilmesi (a) Sol şerit işareti tespit performansı (b) Sağ şerit işareti tespit performansı (c) Ortalama şerit işareti tespit performansı 84
Şekil 3.38. Önerilen yöntemin blok gösterimi 88
Şekil 3.39. Farklı kanallarda MSER tespit sonuçları (a) Orjinal görüntü b) Gri-seviyeli görüntü üzerinde MSER sonuçları (c) Renk özü kanalı üzerinde MSER sonuçları (d) Kırmızı kanal üzerinde MSER sonuçları (e) Yeşil kanal üzerinde MSER sonuçları (f) Mavi kanal üzerinde MSER sonuçları 90
Şekil 3.40. Geliştirilmiş B kanalı MSER tespit sonuçları (a) Orjinal görüntü (b) Orjinal görüntünün B kanalı (c) Orjinal görüntünün kırmızı kanalı (d) Önerilen geliştirilmiş B kanalı

(e) B kanalı üzerinde MSER sonuçları (f) Önerilen geliştirilmiş B kanalı görüntüsü üzerinde MSER sonuçları 91
Şekil 3.41. MSER'lerin yapısal eleme işlemi (a) Orjinal görüntü (b) MSER tespit sonucu (c) Yönelim ve boyut oranı elemesi sonrası MSER tespit sonucu 92
Şekil 3.43. Önerilen oylama algoritması (a) Orjinal görüntü (b) Şerit özelliklerini gösteren noktalar 94
Şekil 3.44. Önerilen yöntemin şerit işareti tespit sonuçları (a) Orjinal görüntü (b) Tespit edilen özellik noktaları (c) ROI üzerinde tespit edilen sonuçlar (d) Orjinal görüntü üzerinde tespit edilen sonuçlar 95
Şekil 3.45. Bütün veritabanları için görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem 96
Şekil 3.46. Cordova1 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem 97
Şekil 3.47. Cordova2 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem 97
Şekil 3.48. Washington1 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem 98
Şekil 3.49. Washington2 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem 98
Şekil 3.50. S1C1 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem 99
Şekil 3.52. Değişken parametreler ile önerilen yöntemin değerlendirme sonuçları (a) Sol, (b) Sağ, (c) Ortalama tespit sonuçları korelasyon katsayısı eşiği ile (d) Sol, (e) Sağ, (f) ortalama tespit sonuçları şerit işareti genişliği ile (g) Sol, (h) Sağ, (i) Ortalama tespit sonuçları sigma ile (j) Sol, (k) Sağ, (l) Ortalama tespit sonuçları MSER minimum yönelim ile (m) Sol, (n) Sağ, (o) Ortalama tespit sonuçları RANSAC uzaklığı ile 102
Şekil 3.53. Önerilen yöntemin mobil cihaz uygulamasının ekran görüntüleri 105
Şekil 3.55. Sistem girdi konumlarının görsel gösterimi 107
Şekil 3.56. Yer doğrusu oluşturma (a) Orijinal görüntü (b) Yer doğrusu 108
Şekil 3.57. Şerit işaret filtresinde kullanılan ANFIS'in adaptif ağ yapısı 108

Şekil 3.58. ANFIS tabanlı şerit işareti filtresinin sonucu. (a) Gri-seviyeli giriş görüntüsü (b) ANFIS tabanlı şerit işareti filtresinin sonucu (c) Otsu'nun eşikleme yönteminin sonucu (BLM) 109
Şekil 3.59. Sınıflandırma yöntemlerinin k-fold analizi 110
Şekil 3.60. Görsel sonuçların karşılaştırılması (a) Giriş görüntüsü (b) (Nieto ve diğ., 2011) (c) (Borkar ve diğ., 2012) (d) (Cualain ve diğ., 2012) (e) (Gaikwad ve Lokhande, 2015) (f) Önerilen yöntem 111
Şekil 3.61. Şerit işareti filtrelerinin performans değerlendirmesi (a) S1C1 dizisi için kesinlik-duyarlılık (b) S1C1 dizisi için köşeye uzaklık (c) S2C1 dizisi için kesinlik-duyarlılık (d) S2C1 dizisi için köşeye uzaklık 112
Şekil 4.1. ÖY1, ÖY2 ve ÖY3 yöntemlerinin yanlış tespit sonuçları (a) ÖY1 (b) ÖY2 (c) ÖY3 118
Şekil 4.2. ÖY4'e ait örnek yanlış tespit sonucu 119
Şekil 4.3. Tez çalışmasında önerilen yöntemlerin S4C6 görüntü seti üzerinde gece zamanı şerit işareti tespit sonuçları (a) ÖY1 (b) ÖY2 (c) ÖY3 (d) ÖY4 (e) ÖY5 121
Şekil 4.4. Tez çalışmasında önerilen yöntemlerin S7C2 görüntü seti üzerinde gece zamanı şerit işareti tespit sonuçları (a) ÖY1 (b) ÖY2 (c) ÖY3 (d) ÖY4 (e) ÖY5 122

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Yakın zamanda önerilen şerit tespit yöntemlerinin karşılaştırılması 31
Tablo 2.1. (Devam). Yakın zamanda önerilen şerit tespit yöntemlerinin karşılaştırılması 32
Tablo 2.2. Yakın zamanda önerilen makine öğrenmesi temelli şerit tespit yöntemlerinin karşılaştırılması 35
Tablo 2.3. Yakın zamanda önerilen derin öğrenme temelli şerit tespit yöntemlerinin karşılaştırılması 41
Tablo 3.1. Şerit işareti tespit yöntemlerinin Caltech [5] veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC) 55
Tablo 3.2. Şerit işareti tespit yöntemlerinin (Borkar ve diğ., 2012) veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC) 55
Tablo 3.3. Şeritten ayrılma tespit başarım oranları 56
Tablo 3.4. Şerit işareti tespit yöntemlerinin PC üzerinde bir çerçeve için ortalama çalışma süreleri 56
Tablo 3.5. Şerit işareti tespit yöntemlerinin Caltech [5] veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC) 65
Tablo 3.6. Şerit işareti tespit yöntemlerinin (Borkar ve diğ., 2012) veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC) 66
Tablo 3.7. Şerit işareti tespit yöntemlerinin PC üzerinde bir çerçeve için ortalama çalışma süreleri 66
Tablo 3.8. Gömülü platform özellikleri 76
Tablo 3.8. Şerit işareti tespit yöntemlerinin Caltech [5] veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC) 82
Tablo 3.9. Şerit işareti tespit yöntemlerinin (Borkar ve diğ., 2012) veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC) 82
Tablo 3.10. Şerit işareti tespit yöntemlerinin PC üzerinde bir çerçeve için ortalama çalışma süreleri 85
Tablo 3.11. Gömülü platform üzerinde 1 görüntü çerçevesi için işlem süreleri 85
Tablo 3.12. Şerit işareti tespit yöntemlerinin Caltech [5] veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC) 100
Tablo 3.13. Şerit işareti tespit yöntemlerinin (Borkar ve diğ., 2012) veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC) 100
Tablo 3.14. Önerilen yöntemde kullanılan parametreler 101
Tablo 3.15. Şerit işareti tespit yöntemlerinin PC üzerinde bir çerçeve için ortalama çalışma süreleri 103
Tablo 3.16. Akıllı telefonların teknik özellikleri 104
Tablo 3.17. Akıllı telefonlar üzerinde ortalama çalışma süreleri 104
Tablo 3.18. Şerit işareti tespit yöntemlerinin doğruluk değerlendirmesi 113
Tablo 3.19. Şerit işareti tespit yöntemlerinin FPR değerlendirmesi 113

Tablo 3.20. Şerit işareti tespit yöntemlerinin bir çerçeve için ortalama çalışma süreleri (ms) 114
Tablo 4.1. Şerit işareti tespit yöntemlerinin Caltech [5] veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC) 116
Tablo 4.2. Şerit işareti tespit yöntemlerinin (Borkar ve diğ., 2012) veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC) 116
Tablo 4.3. Şerit işareti tespit yöntemlerinin genel performans değerlendirilmesi (ACC) 116
Tablo 4.4. Şerit işareti tespit yöntemlerinin PC üzerinde bir çerçeve için ortalama çalışma süreleri 123

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

DLD : Dark-Light-Dark (Karanlık-Aydınlık-Karanlık)
LIDAR : Light Detection and Ranging (Işık tespiti ve Ölçümü)
EKF : Extended Kalman Filter (Geliştirilmiş Kalman Filtresi)
RANSAC : RANdom SAmple Consensus (Rastgele Örnek Onaylaşımı)
IPM : Inverse Perspective Mapping (Ters Perspektif Haritalama)
PC : Personel Computer (Kişisel Bilgisayar)
PLSF : Piecewise Linear Streching Function (Parçalı Doğrusal Germe Fonksiyonu)
ROI : Region of Interest (İlgi Alanı)
RGB : Red Green Blue (Kırmızı Yeşil Mavi)
HDR : High Dynamic Range (Yüksek Dinamik Aralık)
DSP : Digital Signal Processor (Sayısal İşlem İşlemcisi)
MSE : Mean Square Error (Ortalama Karesel Hata)
SIMD : Single Instruction Multiple Data (Tek Komut Çoklu Veri)
SVM : Support Vektör Machine (Destek Vektör Makineleri)
FPGA : Field Programmable Gate Array (Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri)
FPS : Frame Per Second (Saniye Başına Çerçeve)
CPU : Central Processing Unit (Merkezi Işlem Birimi)
GPU : Graphics Processing Unit (Grafik İşleme Ünitesi)
MSER : Maximally Stable Extremal Regions (Maksimum Kararlı Ekstrem Bölgeler)
PDF : Probability Density Function (Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu)
GPS : Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
TPR : True Positive Rate (Doğru Pozitif Oranı)
FPR : False Pozitif Rate (Yanlış Pozitif Oranı)
ACC : Accuracy (Doğruluk)
KNN : K-Nearest Neighbor (K-En Yakın Komşu)
LSVM : Linear SVM (Doğrusal SVM)

GÖMÜLÜ PLATFORMLAR İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEMELLİ GERÇEK ZAMANLI ŞERİT TESPİT VE UYARI YÖNTEMLERİ

ÖZET

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte trafik ve sürücü güvenliğine yönelik çalışmalar daha da önemli hale gelmektedir. Sürücüleri sürüş sırasında hataları konusunda uyararak destek olan sistemlere İleri Sürüş Destek Sistemleri adı verilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında mevcut ileri sürücü destek sistemlerinin önemli bir parçası olan şerit tespit ve şeritten ayrılma uyarı sistemleri gerçeklenmiştir. Tez çalışmasının odak noktası gömülü platformlar üzerinde gerçek zamanlı çalışma kapasitesine sahip özgün yöntemler geliştirmektir.

Şeritten ayrılma uyarı sistemlerinin başarılı bir şekilde çalışması şerit işareti tespit performansı ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle şerit işareti tespiti üzerine çalışmalar gerçekleştirilerek bu çalışma kapsamında gerçek zamanlı çalışabilen 5 farklı yöntem önerilmiştir. Geliştirilen sistemler, farklı ARM mimarilerine sahip gömülü platformlarda gerçek zamanlı olarak başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Deneysel sonuçlar, tez kapsamında önerilen yöntemlerin, farklı koşullarda şerit işaretlerini mevcut yöntemlere göre gerçek zamanlı çalışmadan ödün vermeden daha yüksek doğrulukta tespit edebildiğini göstermektedir.

Geliştirilen gerçek zamanlı akıllı telefon uygulaması ile tez kapsamında önerilen şerit tespit yönteminin tüketici sınıfı cihaz performansı gösterilmektedir. Ayrıca geliştirilen otomotiv standartlarına uygun gerçek zamanlı şeritten ayrılma uyarı sistemi ile gerçek hayat koşullarına uygun bir sistem gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ADAS, Gömülü Sistemler, Şerit İşareti Tespiti, Şeritten Ayrılma Uyarı Sistemi.

IMAGE PROCESSING BASED REAL-TIME LANE DETECTION AND WARNING METHODS FOR EMBEDDED PLATFORMS

ABSTRACT

Today, studies about traffic and driver safety have become more important with the developing technology. The systems that support the drivers by warning them about their faults while driving are called Advanced Driver Assistance Systems. Within the scope of this thesis study, lane detection and departure warning systems have been carried out which are important part of advanced driver assistance systems. The focus of the thesis is to develop novel methods that have real-time working capacity on embedded platforms.

Success of the lane departure warning systems is directly related to lane marking detection performance. For this reason, studies on lane marking detection have been carried out and 5 different methods have been proposed in this study which can work in real-time. The developed systems have been successfully implemented in real-time on embedded platforms with different ARM architectures.

Experimental results show that the methods proposed in the thesis can detect the lane markings in different conditions with higher accuracy than the existing methods without sacrificing real-time processing performance.

The developed real-time smartphone application demonstrates consumer-grade device performance of the lane detection method proposed in this thesis. In addition, a real-time lane departure warning system suitable for automotive standards has been developed to meet real-life conditions.

Key words: ADAS, Embedded Systems, Lane Marking Detection, Lane Departure Warning System.

GİRİŞ

Otoyollarda artan araç sayısı günümüzde trafik güvenliğini daha da önemli bir hale getirmektedir. IRTAD'ın (The International Traffic Safety Data and Analysis Group) 2014 yılı yol güvenliği raporunda çeşitli ülkelere ait ölümlü kaza sayıları verilmektedir [1]. Bu rapora göre 2012 yılında İtalya'da 3653 kişi, Japonya'da 5.237 kişi, İspanya'da 1.903 kişi, Almanya'da 3.600 kişi, Amerika'da 33.561 kişi, Fransa'da 3.653 kişi yollarda meydana gelen trafik kazaları sonucu hayatını kaybetmiştir. Ülkemizde ise Karayolları Genel Müdürlüğü'nün 2013 yılı Trafik Kazaları Özeti Raporuna göre 3.032 kaza ölümle sonuçlanmıştır [2]. Yine bu rapor incelendiğinde ölümlü ve yaralanmalı kazalardaki toplam kusurun %88,97'si sürücülerin sahip olduğu kusurlardan kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak sürücü güvenliğini sağlayabilecek, sürücüleri kusurlar konusunda destekleyebilecek yeni yöntemler gerekmektedir. Bu yöntemleri içeren Sürücü Destek Sistemleri otomotiv endüstrisinin ilgisini çekmektedir.

Sürücü destek sistemleri, sürücülere sürüş sırasında destek olan, acil durumlar ve kaza riskini azaltmak üzere geliştirilmiş sistemlerdir. Bu sistemler araç üzerinde bulunan çeşitli sensörlerden alınan verilerin yorumlanması sonucu araç sürücüsüne içinde bulunduğu durumla ilgili destek sağlamaktadır. Adaptif Hız Sabitleyici (Adaptive Cruise Control - ACC) sistemler sürücü destek sistemlerine örnek verilebilir. Radar tabanlı adaptif hız sabitleyici, gazı ve tüm kullanılabilir frenleri kontrol ederek öndeki seyir halindeki araç ile belirlenen güvenli bir mesafenin korunmasını sağlamaktadır.

Bir sürücü destek sistemi olan "Şeritten Ayrılma Uyarı Sistemleri" ise trafik güvenliğinin en önemli sayılabilecek problemlerinden biri olan şeritten çıkma kazalarının önlenmesini sağlamaktadır. Avrupa Komisyonu tarafından yaptırılan bir çalışma sonucunda Amerika Birleşik Devletleri'nde polis tarafından kayda geçirilen kazaların %10'unun şeritten çıkma nedeniyle gerçekleştiği ifade edilmektedir [3]. Şeritten çıkma kazalarının çoğunluğu sürücülerin dikkatsizliği veya sürüş esnasında uykuya dalmaları gibi problemlerden dolayı oluşmaktadır. Bu doğrultuda geliştirilecek

şeritten ayrılma uyarı sistemlerinin kullanımının Avrupa Komisyonu Enerji ve Ulaşım Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan bir diğer rapora göre 2020 yılına kadar 5 binden fazla ölümün ve 30 binden fazla ciddi yaralanmanın önüne geçeceği kestirilmektedir [4].

Bu tez çalışması kapsamında gömülü platformlar üzerinde gerçek zamanlı çalışmaya uygun ileri sürücü destek sistemleri üzerinde çalışılmıştır. Bu tez çalışmasının literatüre katkıları şunlardır:

- Hough dönüşümü temelli gömülü platform üzerinde 12 ms gibi çok düşük çalışma süresine sahip özgün bir şeritten ayrılma uyarı sisteminin geliştirilmesidir.
- Literatürde hareket kestiriminde kullanılan bir filtre ile 49 ms çalışma süresinde yüksek tespit performansı elde edilen özgün bir şerit tespit yöntemin geliştirilmesidir.
- Otomotiv standartlarında çalışabilen bir gömülü platformda yine Avrupa Birliği Komisyonu yönetmeliğine uygun şerit işareti tespiti ve şerit ihlal tespiti yapabilen aynı zamanda gömülü platform üzerinde gerçek zamanlı çalışabilen özgün bir şeritten ayrılma uyarı sisteminin geliştirilmesidir
- Gölge ve ışıklılık koşullarına karşı gürbüz ve akıllı telefon üzerinde gerçek zamanlı çalışabilen özgün bir şerit tespit yönteminin geliştirilmesidir.
- Şerit işareti tespit sistemleri için şerit işaretlerini gölge, yol çatlağı gibi olumsuz koşullarda dahi ön plana çıkartabilecek gerçek zamanlı çalışabilen özgün bir şerit işareti filtresinin geliştirilmesidir.

Tez çalışmasının birinci kısmında şeritten ayrılma uyarı sistemleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Şeritten ayrılma uyarı sistemlerinde karşılaşılan zorlu koşullar açıklanmıştır.

Tez çalışmasının ikinci kısmında literatürde hali hazırda bulunan farklı algılayıcı türleri ile çalışan şerit tespit sistemleri detaylı olarak incelenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında gömülü platformlar üzerinde gerçek zamanlı çalışabilen özgün 5 farklı şerit işareti tespit sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemler çalışmanın üçüncü kısmında ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

Bu tez çalışmasının dördüncü kısmında, çalışmanın üçüncü kısmında ele alınan yöntemler hakkında deneysel sonuçlar ayrıntılı irdelenerek, önerilen yöntemlere ait bulgular sunulmuştur.

Çalışmanın son bölümünde ise, tez kapsamında geliştirilen şeritten ayrılma uyarı sistemlerinin bilimsel katkıları belirtilmektedir. Bu konu hakkında ileride yapılabilecek çalışmalar için öneriler sunulmaktadır.

1. ŞERİTTEN AYRILMA UYARI SİSTEMİ

Günümüzde artan araç sayısı ile birlikte Akıllı Ulaşım Sistemlerine (Intelligent Transportation Systems - ITS) olan ilgi de artmaktadır. Akıllı ulaşım sistemlerinin temel amacı ulaşım teknolojilerinin gelişmesi ve trafik güvenliğini arttırmaktır. Sürücülere sürüşleri sırasında destek olarak kusurları ile ilgili destek veren akıllı ulaşım sistemleri İleri Sürücü Destek Sistemleri (Advanced Driver Assistance Systems - ADAS) olarak adlandırılmaktadır. Bir ileri sürücü destek sistemi olan Şeritten Ayrılma Uyarı Sistemleri (Lane Departure Warning Systems - LDWS) dikkatsizlik, sürücülerin uykuya dalmaları vb. nedenlerle sürücülerin araçlarının kontrolünü kaybederek istemsiz bir şekilde şerit değiştirmeleri sonucu oluşacak kazaların önüne geçmeyi amaçlamaktadır. Şerit ihlalleri iki şekilde tespit edilebilmektedir: i) Şerit çizgilerinin konumlarının tespit edilerek yorumlanması, ii) Aracın sürüş sırasında elde edilen hareket bilgisinin zaman bilgisi ile birlikte yorumlanmasıyla.

Otoyollarda bulunan şeritler, Şekil 1.1'de CalTech veri tabanından [5] bir çerçeve üzerinde gösterildiği gibi sağ ve sol tarafta bulunan kesikli ve devamlı şerit işaretleriyle ayrılmaktadırlar.



Şekil 1.1. Otoyol şerit çizgileri [5]

Şeritten ayrılmaların tespit edilebilmesi için öncelikle şerit işaretlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Şerit işaretlerinin yapıları yoldaki yansımalar, işaretlerin zamanla aşınması, gölge ve hava şartları gibi nedenlerden bozulabilmektedir. Şekil 1.2'de olumsuz çevresel koşullara örnek görüntüler gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Kameradan alınan görüntülerde şerit işareti tespitini etkileyecek olumsuz koşullar (a) Yoldaki yansımalar (b) Lens patlaması (c) Gölge (d) Aşınma (e) Yol çatlakları (f) Az ışıklılık (Gece zamanı) (g) Yağmurlu hava durumu (h) Yan şeritten araç geçmesi

Şekil 1.2(a) ve Şekil 1.2(b)'de gösterilen etkiler aşırı ışıklılık durumunu yansıtmaktadırlar. Kameradan alınan görüntülerde normal şartlarda şerit işaretlerinin yol yüzeyine göre ışıklılık değerleri yüksek olmaktadır. Aşırı ışıklılık durumlarında şerit işaretlerinin bu ayırt edici özelliği kaybedilerek tespit işlemi zorlaşmaktadır.

Yol görüntüleri incelendiğinde şerit işaretlerinin piksel değerlerinin yatay eksende karanlık-aydınlık-karanlık (dark-light-dark - DLD) şeklinde bir dağılıma sahip olduğu gözlenmiştir. Bu dağılım özelliğinin tespiti Şekil 1.2(c) gösterildiği gibi yol üzerine yansıyan gölgeler nedeniyle zorlaşmaktadır. Aynı şekilde Şekil 1.2(e)'de gösterilen çatlaklarında DLD özelliğini göstermesi yapısal olarak şerit çizgilerine benzemelerine ve şerit işareti yöntemlerinin yanlış tespitlerine neden olmaktadır.

Şekil 1.2(f)'de gösterildiği gibi az ışıklı ortamlarda kameradan alınan görüntülerde piksellerin ışıklılık (intensity) değerlerinin düşük olması şerit işaretlerinin tespit edilmesini zorlaştırmaktadır.

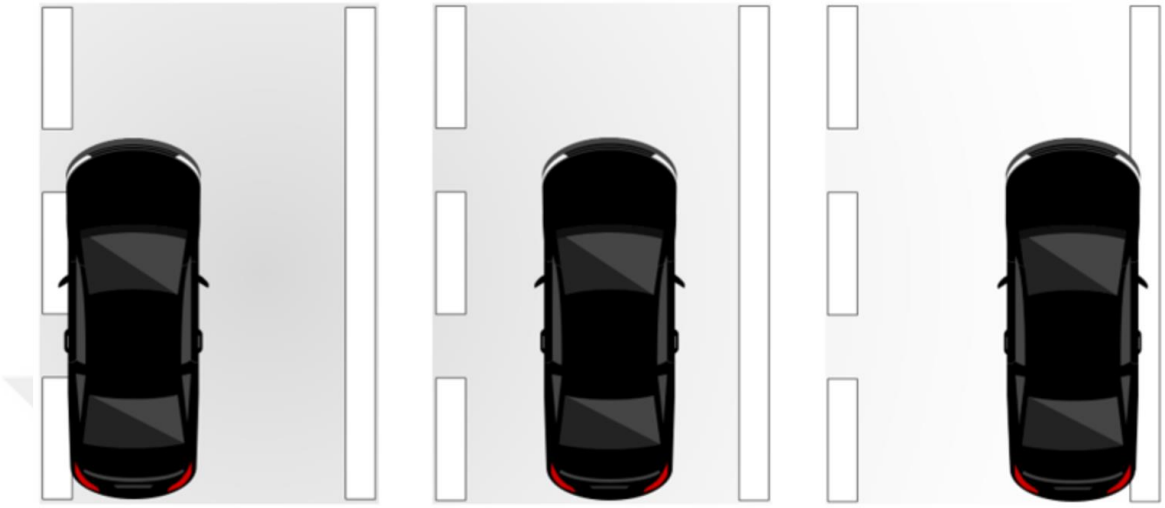
Görü (vision) temelli sistemlerde kamera araçların ön ya da arka camlarına sabitlenmektedir. Yağmurlu hava durumlarında camların üzerine düşen yağmur taneleri kameradan alınan görüntülerde gürültü oluşturduğundan elenmeleri gerekmektedir. Ayrıca yağmur yol yüzeyi üzerinde yansımalara da neden olmaktadır. Şekil 1.2(g)'de örnek görüntüsü olan yağmurlu hava koşulları şerit tespit algoritmalarında tespit işlemi zorlaştırarak ekstra hesapsal yük getirmektedir.

Yan şeritte seyir halinde olan araçlarda Şekil 1.2(h)'de gösterildiği kameradan alınan yol görüntülerinde bulunabilmektedir. Bu araçlar özellikle renk ve kenar bilgisi temelli şerit işareti tespit algoritmalarında bir gürültü olarak ortaya çıkmaktadır. Bu gürültüler şerit tespit performansını etkileyebilmektedir.

Geliştirilecek olan şeritten ayrılma tespit sistemlerinin bahsedilen olası olumsuz koşullara karşın gürbüz çalışması beklenmektedir.

Bir aracın şeritlerle bölünmüş yol üzerinde Şekil 1.3'de gösterildiği gibi üç farklı seyir durumu bulunmaktadır. İçinde bulunduğu şerit çizgileri arasındaki seyir hali normal seyir (Şekil 1.3(b)), sağ şerit çizgisi üzerinden geçerek diğer şerit bölgesine geçmesi sağ şerit değişikliği (Şekil 1.3(c)), sol şerit çizgisi üzerinden geçerek şerit değiştirmesi

ise sol şerit değişikliği olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1.3(a)). Şeritten ayrılma uyarı sistemleri sürücünün istemsiz olarak Şekil 1.3(a) ve Şekil 1.3(c) gösterilen değişimleri yapması durumunda tespit edilmesini amaçlamaktadır.



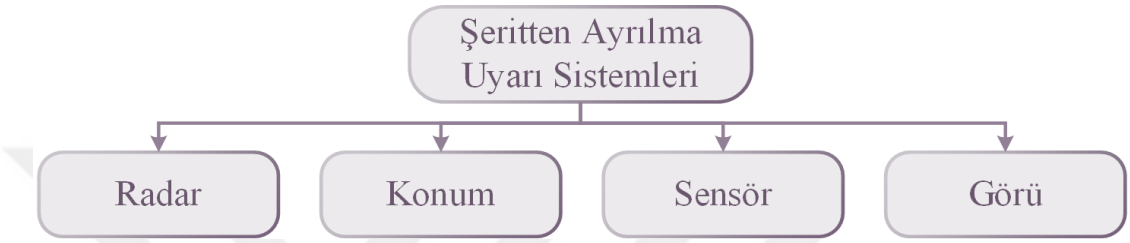
(a) (b) (c)

Şekil 1.3. Araçların şerit değişikliği durumları (a) Sol şerit değişikliği (b) Normal seyir (c) Sağ şerit değişikliği

Şeritten ayrılma uyarı sistemleri için otomotiv standartları 351/2012 sayılı Avrupa Birliği Komisyonu tarafından hazırlanan Motorlu Araçlara Şeritten Ayrılma Uyarı Sistemi takılması yönetmeliği ile belirlenmektedir. Bu yönetmeliğe göre uyarı sistemi araç hızı en az 60 km/saat üzerinde olduğunda devreye girmelidir. Şeritten ayrılmaların tespit edilmesi için gereken araçların şerit işaretlerine maksimum yaklaşma uyarı eşiği 30 cm'dir. Araçlar yönetmelikte belirlenen yanal hız aralığında şerit işaretlerine 30 cm'den fazla yaklaşması durumunda uyarı oluşturulmalıdır. Yönetmelikte yanal hız aralığı 0,1 m/sn – 0,8 m/sn olarak belirtilmiştir.

2. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde radar, konum, sensör ve görü olmak üzere farklı algılayıcı türlerine sahip şeritten ayrılma uyarı sistemleri bulunmaktadır [6]. Şekil 2.1'de şeritten ayrılma uyarı sistemlerinin sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Şeritten ayrılma uyarı sistemlerinin sınıflandırılması

2.1. Radar Temelli Çalışmalar

Radar tipi algılayıcı kullanan şerit tespit sistemlerinde en popüler algılayıcı olarak LIDAR (Light Detection and Ranging) teknolojisi öne çıkmaktadır [7]. LIDAR günümüzde mimarlık, arkeoloji, haritalandırma gibi farklı kullanım alanlarına sahiptir. LIDAR temel olarak şu şekilde çalışmaktadır: kaynaktan çıkan lazer darbeleri yansıtıcı yüzeye çarpıp alıcı sensöre ulaşır. Ulaşan lazer darbelerinin üretilme ve alıcı sensöre ulaşma zamanı arasındaki fark kullanılarak uzaklık, alıcı sensöre ulaşan darbe genliği kullanılarak ise yüzeyin yansıtıcılığı elde edilmektedir. LIDAR algılayıcı kullanan yöntemlerin temel olarak şerit işaretlerinin yol yüzeyine göre yansıtıcılık oranlarının yüksek olmasından faydalanmaktadır.

[8]'de 2-boyutlu LIDAR kullanan yöntemde yansıyan ışıklılık değerinden faydalanarak yol işaretleri tespit edilmektedir. Önerilen yöntemde öncelikle yol sınırları belirlenerek yol işareti tespit işleminin sadece bu alanda yapılması sağlanmaktadır. Uyarlanmış Otsu [9] yöntemi kullanılarak yol yüzeyi ve şerit işaretleri bölütlenmektedir (segmentation). Çalışmada yöntemin farklı yol işareti tiplerinde (devamlı şerit işareti, kesikli şerit işareti vb.) başarılı sonuçlar verdiğini rapor edilmiştir.

Çoklu katmanlı 1-boyutlu LIDAR taraması kullanan [10]'daki çalışmada ışıklılık ve uzaklık bilgisinin aynı anda analiz edilmesine olanak sağlayan bir şerit tespit edici ızgara yöntemi önerilmiştir. Ayrıca bu yöntemde tespit edilen bölgeler adaptif bir eşikleme ile yol yüzeyi ve şerit işareti olarak ayrılmaktadır. Son olarak şerit parametrelerinin tespitinde Kokusuz Kalman Filtresi (Unscented Kalman Filter) [11] kullanılmaktadır. Yöntemin gece zamanı, yağmurlu ve güneşli hava durumu gibi farklı çevresel koşullarda iyi bir performansa sahip olduğu belirtilmektedir..

[12]'deki yöntemde 2-boyutlu LIDAR ile tarama işlemi sonrası bir ön işlem olarak tespit edilen noktalar yer (ground) ve nesne olarak sınıflandırılmaktadır. Yer olarak sınıflandırılan bölgelerde büyük devamlı ve yüksek ışıklılığa sahip istifler (chunk) aranmaktadır. Bu yöntemle bulunan bölgeler üzerinde Radon dönüşümü [13] uygulanarak şeritler tespit edilmektedir.

Zaman-uzamsal birleştirme algoritması olarak adlandırılan [14]'deki yöntemde 1-boyulu LIDAR taraması sonucu elde edilen yansıma verileri belirli zaman aralıklarında alınarak ve üst üste eklenmesi sonucu 2-boyutlu bir tarama verisi elde edilmektedir. Elde edilen 2-boyutlu veride maksimum ve sıfıra yakın değerler bir ön işlem olarak elenmektedir. 2-boyutlu verinin histogram ortalaması kullanılarak belirlenen dinamik bir eşik değeri ile eşikleme işlemi uygulanmaktadır. Canny kenar tespiti [15] ve dikey pencereleme metodu ile aday şerit konumları tespit edilmektedir. Klotoid (Clothoid) yol modeli uygulanarak tespit edilen aday konumlarından şerit işaretleri elde edilmektedir. Geliştirilmiş Kalman filtresi (Extended Kalman filter) [16] ile şerit konumlarının zamansal ilişkisi kurularak olası hataların engellenmesi amaçlanmaktadır.

[17]'de görüntü ve LIDAR yöntemlerini birleştirerek şerit işareti tespit eden bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntemde hesapsal yükü azaltmak amacıyla ön işlem olarak LIDAR taraması ile elde edilen 3-boyutlu noktalar kullanılarak RANSAC temelli yüzey uydurma ile yer yüzeyi tespit edilmektedir. Kameradan alınan görüntü üzerinde yer yüzeyi sınırları içerisinde görüntü işleme temelli bir filtre kullanılarak şerit işaretlerine ait konumlar belirlenmektedir. İlgili yatay tarama katmanın ortalaması ile LIDAR tarayıcıdan elde edilen her bir noktanın farkı alınmaktadır. Bu fark deneysel olarak tespit edilen eşik değerinden büyük ise tarama noktası şerit işareti

olarak işaretlenmektedir. Görüntü üzerinden LIDAR taraması ile elde edilen noktaların izdüşümü oluşturulur. Bu izdüşüm ile görüntü işleme sonucu elde edilen şerit konumlarının korelasyonu oylanarak şerit işareti konumları tespit edilmektedir. Tespit edilen konumlar tekrar LIDAR koordinat düzlemine dönüştürülmektedir. Önerilen yöntem AVC 2014 veritabanı üzerinde %90 doğruluk (accuracy) ile farklı çevresel koşullarda başarım göstermektedir.

2.2. Konum Temelli Çalışmalar

Konum temelli algılayıcılardan faydalanan sistemlerde konum bilgisi ile sürüş yapılan aracın anlık konumu belirlenebilmektedir. Ayrıca oluşturulmuş yol haritaları ile konum bilgisi kullanılarak yol özellikleri bilgisi de elde edilebilmektedir. Ancak sadece GNSS (Global Navigation Satellite System) sistemi ile elde edilen konum bilgisi yeterli doğrulukla aracın konumunu belirleyemediğinden yol haritası üzerinde diğer sensörlerden gelen bilgiler birleştirilerek kullanılmaktadır.

[18]'deki çalışma GPS, odometre ve görüntü işleme temelli yol şerit işareti tespiti ve yol işaret haritası gibi bilgileri birleştirmektedir. GPS sensörü kullanılarak aracın konumu ve yol bilgisi elde edilmektedir. Bu yöntemde 2 adet yanal kamera bulunmaktadır. Bu kameralar aracın sağ ve sol olmak üzere iki yan tarafında yola yönelik bir şekilde konumlandırılmıştır. Görüntü işleme temelli yöntemlerden faydalanarak tespit edilen şerit çizgileri ile aracın yol sınırlarına olan uzaklığı tespit edilmektedir. Konum ve şerit işareti bilgileri kartografi eşleme yöntemiyle birleştirilerek yol işareti haritası üzerinde aracın konumu 10 cm gibi yüksek bir doğrulukla belirlenmektedir.

Santimetre seviyesinde konum belirleme doğruluğuna sahip [19]'daki yöntemin en önemli özelliği şekil tescil (shape registration) algoritması adı verilen yöntemdir. Şekil tescil algoritması görüntü işleme yöntemi ile tespit edilen şerit işaretleri ve GPS temelli yol şeklinin birlikte yorumlanarak nihai şerit işaretlerinin tespit edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca kamera yönelimi bilgisi için görüntü işleme yönteminde IMU'dan (Inertial Measurement Unit) faydalanılmaktadır. Yöntemin görüntü işleme kısmında faydalanılan perspektif dönüşümü, yolun eğime sahip kısımlarında başarımı olumsuz etkilemektedir.

Mobil bir platform üzerinde gerçekleştirilen [20]'deki çalışmada bir akıllı telefonun kamera, GPS ve hareket sensörlerinden faydalanılmaktadır. Her 5 dakikada bir akıllı telefonun kamerasından alınan görüntü işlenerek şerit işaretleri görüntü işleme yöntemiyle tespit edilmektedir. Hareket sensörlerinden elde edilen bilgiler ise belirli boyutlardaki kesitler şeklinde incelenmektedir. Bu kesitler bir makine öğrenmesi yöntemiyle değerlendirilerek istemli ve istemsiz şerit değişikliği olarak karar verilmektedir. Böylelikle GPS algılayıcı kullanan sistemlere şerit seviyesinde konum algılayabilen bir destek sistemi geliştirilmiştir.

[21]'deki çalışmada kullanılan navigasyon filtresi GPS, IMU, kamera ve LIDAR bilgilerini birleştirerek aracın yönelimini belirlemektedir. Kameradan alınan görüntü üzerinde görüntü işleme temelli yaklaşımla şerit işareti konumları tespit edilmektedir. Aynı zamanda LIDAR algılayıcı kullanılarak yansıma verileri ile de şerit tespit edilmektedir. Aracın tespit edilen şerit işaretlerine olan yatay uzaklığı GPS verileri ile birleştirilerek aracın konumu desimetre seviyesinde doğrulukla belirlenmektedir. Bu yöntemde birden fazla algılayıcı kullanılması olası olumsuz çevresel koşullara karşı gürbüz çalışma olanağı sağlamaktadır.

2.3. Sensör Temelli Çalışmalar

Şeritten ayrılma tespiti için şerit işaretlerinin tespit edilmesine ihtiyaç duymayan yöntemlerde literatürde bulunmaktadır. Bu yöntemler araç üzerinde bulunan dâhili veya harici sensörlerden alınan ölçüm verilerinin anlık değişimlerinin yorumlanmasıyla ya da araç dinamiklerinden faydalanılarak şerit değişikliklerini tespit edebilmektedir.

Aracın direksiyon değişim bilgisinden faydalanan [22]'deki yöntemde sürücünün istemsiz şerit değişikliklerinin tespiti amaçlanmaktadır. İstemsiz şerit değişiklikleri Kompozit Lyapunov fonksiyonları, polihedral-benzeri değişmez kümeler ve lineer matris eşitsizliği (LMI) kullanılarak belirlenmektedir.

Direksiyon açısı ve araç hızı bilgileri kullanan [23]'deki çalışmada makine öğrenmesi temelli bir yöntem ile şerit değişiklikleri tespit edilmektedir. Yöntem 3 aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak dönüş, durma ve geri gitme durumları tespit edilerek elenmektedir. Sonrasında bu çalışma kapsamında önerilen spektral segmentasyon

yöntemi ile olası şerit-değiştirme ve şerit-takip zaman kesitleri elde edilmektedir. Şerit-değiştirme ve şerit-takip olaylarının zamanları değişken olabildiğinden bu aday zaman kesitleri değişken uzunluklara sahiptir. Son olarak aday zaman kesitleri Dinamik Zaman Bükmesi (Dynamic Time Warping - DTW), k-en yakın komşu sınıflandırma ve Saklı Markov Modelleri (Hidden Markov Models – HMM) kullanılarak şerit-değiştirme veya şerit-takip olarak sınıflandırılmaktadır. Önerilen yöntem %80,6 sağ şerit değiştirme ve %83,22 sol şerit değiştirme tespit doğruluğu ile başarılı bir performansa sahiptir.

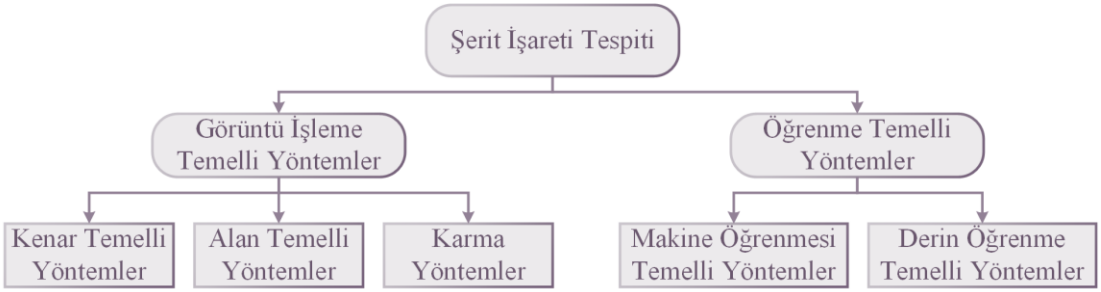
[24]'teki çalışma istemsiz şeritten ayrılmaların tespiti için üç-katmanlı algılayıcı (perceptron) sinir ağı kullanmaktadır. Bu çalışmada, 6 serbestlik dereceli sürüş platformu olan VIRTTEX tarafından üretilen sürücü deneyi verileri kullanılmıştır. 16 farklı sürücüden elde edilen örneklerin rastgele seçilmiş üçte ikisi ağın eğitim verisi olarak kullanılmıştır. Önerilen yöntem 0,2 saniyelik tahminler için %99,74 kesinlik (precision) ve %99,66 duyarlılık (recall) performansına sahiptir. Ağ 0,5 saniyelik tahminler için daha az duyarlı hale gelmekte ve bu değerler sırasıyla %99,23 ve %85,9'a düşmektedir.

Akıllı telefonların dahili sensörlerinden faydalanan [25]'deki çalışmada sağ/sol dönüş, sağ/sol şerit değiştirme ve "U" dönüşü olarak 5 farklı sürüş yönlendirmesi (steering) tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada sürüş yönlendirme tespiti için jiroskop (gyroscope) ve ivme ölçerden elde edilen verilerden faydalanılmaktadır. Sürüş bilgileri karmaşık ve farklı uzunluklarda olduğundan geleneksel sabit kayan pencereleme yöntemi ile hareket bilgisi bütün bir şekilde elde edilememektedir. Önerilen yöntemde bu yaklaşımdan farklı olarak "MultiWave" adını verdikleri filtre kullanılmaktadır. Bu filtrenin çalışma prensibi elde edilen işaretin maksimum değerinin ve uzunluğunun belirli bir eşikle karşılaştırılması sonucu tespit edilmesine dayanmaktadır. Elde edilen dalga-formları 6 farklı makine öğrenmesi yöntemiyle sınıflandırılarak performansları incelenmiştir. En yüksek sınıflandırma başarımı %98 olarak elde edilmiştir.

2.4. Görü Temelli Çalışmalar

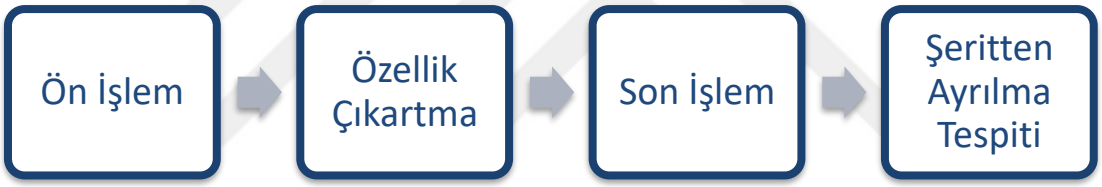
Görü temelli sistemlerde şerit ihlallerinin tespit edilebilmesi için şerit işaretlerinin başarılı bir şekilde tespit edilmesi önemlidir. Bu tez çalışması kapsamında şerit

işaretlerinin belirlenmesine yönelik görü temelli çalışmalar Şekil 2.2'de gösterildiği sınıflandırılmıştır [6, 26, 27].



Şekil 2.2. Görü temelli çalışmaların genel gösterimi

Görü temelli şeritten ayrılma takip sistemleri üzerine yapılan çalışmalar yakın geçmişte önemli miktarda artış göstermiştir. Literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde şeritten ayrılma tespit sistemlerinin genel yapı olarak Şekil 2.3'de belirtilen 4 ana işlem bloğundan oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 2.3. Şeritten ayrılma sistemleri genel gösterimi

Ön işlem: Araç üzerindeki kameradan elde edilen görüntülerde şerit işaretlerinin tespit edilmesi yoldaki yansımalar, işaretlerin zamanla aşınması, gölge ve hava şartları gibi nedenlerden dolayı zorlaşmaktadır. Ön işlem aşamasının başarımı sistem başarısını doğrudan etkilediğinden önemlidir. Bu aşamadaki temel amaç şerit işaretlerinin tespit edilmesini zorlaştıracak olumsuz etkilerin giderilmesi ve şerit işaretlerinin diğer aşamalarda tespit edilmesini kolaylaştıracak bir hale getirilmesini sağlamaktır. Şerit işaretlerinin yüksek piksel geçiş değerlerinden faydalanan ve yapısal özelliklerini kullanan çeşitli ön işlem yöntemleri mevcuttur.

Özellik çıkartımı: Görüntü üzerinde şerit çizgilerinin belirlenmesi amacıyla belirli özelliklerin çıkarılması amaçlanmaktadır. Bu özellikler tespit edilip yorumlanarak hangi çizgilerin şerit çizgisi olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Şerit çizgilerinin belirlenmesi aşamasında renk farklılıkları, şerit çizgilerinin incelenen görüntü düzlemine bağlı olarak (dünya düzlemi veya kamera düzlemi) sadece yatay veya dikey

çizgilerin incelenmesi, 1-boyutlu ve/veya 2-boyutlu filtrelerle elde edilen sonuçlar şerit işaretlerinin belirlenmesi için bir kıstas olabilmektedir. Literatürde belirlenen şerit çizgisi adaylarının arasının belirli uzaklığa sahip olması ve birbirlerine paralel olması özelliğinden faydalanan yaklaşımlar da mevcuttur.

Son işlem: Şerit işaretlerinin yol yapısına bağlı olarak çeşitli çizgi modellerini sağlamaları beklenmektedir. Araç üzerindeki kameradan elde edilen görüntüler incelendiğinde şerit işaretleri görüntülerin yakın alan bölgesinde düz çizgi modeliyle tespit edilebilirken, uzak alan bölgesi parabolik modeller kullanılarak tespit edilebilmektedir. Yol modeli oluşturulurken bu bilgiler dikkate alınmalıdır. Literatürde Hough dönüşümü [28-30], RANSAC (RANdom SAmple Consensus) [31], B-spline [30] tabanlı yöntemler vb. içeren çizgi tespitine yönelik yöntemler bulunmaktadır. Bu aşamada ayrıca tespit edilen şerit işaretleri konumlarının çerçeveler arası zamansal ilişkisi kullanılarak anlık hatalı tespitlerin önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Tespit edilen şerit işaretleri konumlarının çerçeveler arası takibi ile olumsuz koşullarda dahi sistem şerit işaretlerini tespit edebilmektedir. Bu yaklaşım tespit performansına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Son işlem aşaması kısaca şerit işareti tespit işleminin iyileştirmesine olanak sağlayan ek bilgilerin kullanılması olarak ele alınabilir.

Şeritten ayrılma tespiti: Araçların şerit çizgileri arasındaki şerit bölgesinde sürüş yapmaları gerekmektedir. Sürücülerin sürüş sırasında uykuya dalmaları nedeniyle araçlarının kontrolünü kaybederek şerit değiştirdikleri bilinmektedir. Seyir halindeki bir aracın sürücünün kontrolü dışında şerit değiştirdiği tespit edilerek sürücüye uyarı verilmesi sağlanmalıdır. Şerit çizgilerinin konumları ile araç konumunun birlikte yorumlanmasıyla şeritten ayrılmaların tespit edilmesi mümkündür.

Literatürdeki yöntemler incelendiğinde şeritten ayrılma tespit aşaması bulunmayan daha çok şerit işareti tespitine yönelen yöntemler olduğu gözlenmiştir. Literatürde bulunan şeritten ayrılma tespit sistemleri bu 4 aşamalı yapı üzerinden incelenecektir.

2.4.1. Görüntü işleme temelli yöntemler

Görüntü işleme temelli şerit işareti tespit yöntemleri 3 kategoriye ayrılabilir: kenar temelli yöntemler, alan temelli yöntemler ve karma yöntemler. Kenar temelli

yöntemlerde kenar bilgisi gibi düşük seviyeli özellikler kullanılarak elde edilen haritalar üzerinden şerit işaretleri tespit edilmektedir. Alan temelli yöntemler yol bölgesinin yol veya yol olmayan bölge ve şerit işareti veya şerit işareti olmayan bölge şeklinde sınıflandırılmasını amaçlamaktadır. Karma yöntemlerde kenar ve alan temelli yöntemler birbirlerini destekleyecek şekilde birlikte veya paralel çalışmaktadır.

2.4.1.1. Kenar temelli yöntemler

[33]'de çiftli (stereo) kameradan alınan görüntü IPM (Inverse Perspective Mapping) [34] yöntemi kullanılarak kamera düzleminden dünya düzlemine çevrilmektedir. Dünya düzlemindeki görüntülerde belirli açı doğrultularında sadece önceden tanımlı boyutta kesit alanları alınarak bu alanlar incelenmektedir. Şeritlerin olduğu kesitlerde histogram ortalamasının yüksek olması gerekliliğinden yola çıkılarak bu kesitin merkezi şerit çizgilerinin tespitinde kullanılmaktadır. Sağ ve sol dünya düzlemi görüntüsünde elde edilen bu aday şerit çizgileri çapraz korelasyon yöntemiyle karşılaştırılarak aday şerit çizgileri belirlenmektedir. Yol geometrisinin karmaşıklığını karşılayacak Catmull-Rom splines yöntemiyle nihai şerit çizgileri tespit edilmektedir. Parçacık filtresiyle de şerit işaretleri zamansal olarak takip edilmektedir. Bu yöntem 2,67 GHz işlemci üzerinde PC ortamında 200 ms/çerçeve işlem zamanı harcamaktadır. Şerit işaretlerinin düşük kontrastlı, gürültülü, farklı hava şartları ve farklı oryantasyonlarda tespit edilmesini sağlamasına karşın hesapsal yükü fazladır.

[35]'de bir aracın yolculuk esnasında istenmeyen şerit değişimlerini tespit etmek amacıyla geliştirilen bir yöntem tanıtılmaktadır. Bu yöntem kameradan alınan görüntülerin ön işlem aşamasında PLSF (Piecewise Linear Stretching Function) yönteminin kullanılması, ilgi alanı (region of interest - ROI) belirlenmesi ve Hough dönüşümü yöntemiyle şerit tespiti ve son olarak Öklid (Euclidean) uzaklığı tabanlı yöntemle şerit değişikliklerinin tespit edilmesi olmak üzere 3 adımdan oluşmaktadır. Ön işlem aşamasında, renkli görüntü gri seviyeli görüntüye çevrilir ve oluşturulan gri seviyeli görüntü [0, 1] değerleri aralığına normalize edilir. Bu oluşan normalize edilmiş gri değerler PLSF yöntemiyle yeni gri değerlerine dönüştürülmektedir. PLSF eğrisi 5 alandan oluşmaktadır. Alan-1 yol yüzeyinin, alan-3 sarı ve mavi renkteki yol çizgilerinin, alan-5 ise yol yüzeyindeki şerit çizgilerinin tespit edilmesine yönelik bilgiler sağlamaktadır. PLSF işlemiyle görüntünün karşıtlık (contrast) değerleri

iyileştirilerek Otsu yöntemi kullanılarak şerit çizgilerinin daha başarılı tespit edilebildiği ikili görüntü elde edilmektedir. Şerit tespit aşamasında hesapsal yükü azaltmak amacıyla belirlenen ROI, sol ve sağ şerit çizgileri tespit etmek amacıyla ikiye ayrılmaktadır. Şerit işaretlerini tespit etmek amacıyla Hough dönüşümü oluşturulan her alt bölgeye uygulanmaktadır. Hough dönüşümü yardımıyla şerit işaretleri ile ilgili parametreleri kestirmek için Öklid uzaklığı tabanlı aday özellikler çıkarılmaktadır. Önerilen şerit değişikliği tanımlama yöntemine göre oluşturulan şeritten ayrılma ölçü değeri yorumlanarak sürücü uyarılmaktadır. Şeritten ayrılma uyarısı, araç ile gerçek şerit çizgileri arası uzaklığın minimum 10 cm olduğu durumlarda oluşturulmaktadır. Önerilen yöntem Intel Core i3 2,53 GHz işlemciye sahip bir PC üzerinde test edilmiştir. Test edilen veri tabanları üzerinde yaklaşık olarak 35,71ms? işlem süresi ve %96 şerit tespit oranına sahiptir. Geliştirilen PLSF yöntemi ile düşük ışık koşullarında da şeritlerin tespit edilmesine olanak sağlamaktadır.

Işıklandırma (illumination) koşulları, görüntü işleme tabanlı yöntemlerde sistem başarımını etkileyen en önemli etkenlerden biridir. [36]'da ışıklandırma etkisine karşı gürbüz çalışabilen doğrusal ayırgaç analizi (Linear Discriminant Analysis - LDA) tabanlı gradyen iyileştirme yaklaşımını önermektedir. Bu yöntemde şerit çizgilerinin yol yüzeyinden ayrılması için şerit çizgileri üzerindeki gradyenlerin maksimum hale getirilmesi amaçlanmaktadır. RGB renk kanalları bu amaçla uygun bir şekilde ağırlıklandırılarak gri-seviyeli bir görüntü oluşturulmaktadır. Bu gri-seviyeli görüntü üzerinde maksimum gradyenler elde edilmektedir. Şerit çizgileri LDA tabanlı dönüşüm sonrası Canny kenar tespiti, Hough dönüşümü ve eğri model uydurma işlemleri ile elde edilmektedir.

Gece zamanlarında, şerit işaretlerini tespit etmek gündüz zamanlarına göre genel olarak daha zordur. Bu durumun temel sebebi ışık seviyesinin düşük olması nedeniyle kameradan alınan görüntülerde ortalama ışıklılık değerlerinin gündüz zamanlarında elde edilen görüntülere göre daha düşük olmasıdır. Işık seviyesinin düşük olduğu durumlarda şerit tespiti için [37]'de önerilen yaklaşımın ön işlem adımında ortalama filtreleme, 8-yönlü Sobel operatörü [38] ve Otsu eşikleme işlemleri bulunmaktadır. Eşiklenmiş görüntü üzerinde piksel dağılımları incelenerek aday şerit noktaları tespit edilmektedir. Bu inceleme kapsamında bir pikselin komşuları ile ilişkisi farklı yönler için genel olarak aynıysa bu nokta aday şerit noktası olarak elde tutulurken, diğer

pikseller gürültü olarak değerlendirilip elenmektedir. Sonraki adımda sadece aday şerit noktalarını içeren görüntüye Hough dönüşümü uygulanarak şerit çizgileri elde edilmektedir.

[39]'da önerilen yöntemde ilk olarak giriş görüntülerinin 4-noktalı eğme perspektif yöntemi (4-points warp perspective method) ile elde edilmiş kuşbakışı görüntüleri üzerinde dikey kenar tespiti ve Öklid temelli yönlü uzaklık haritası oluşturma işlemleri uygulanmaktadır. Ön işlem sonrası elde edilen yönlü uzaklık haritasının satır bilgileri analiz edilerek süperparçacık filtresi (superparticle filter) ile şerit çizgileri tespit edilmektedir. Ayrıca tespit edilen şerit konumlarının çerçeveler arası ilişkisi de takip edilmektedir. Önerilen yöntem gece, gündüz ve yağmur gibi farklı ve zorlayıcı senaryolarda test edilmiştir.

[40]'taki çalışmada mobil robot platformu üzerinde Hough dönüşümü tabanlı gerçek zamanlı bir şerit tespit yöntemi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin ön işlem aşamasında dikey 1-boyutlu Sobel filtresi ve eşikleme uygulanmaktadır. Sonrasında Hough dönüşümü ile görüntü üzerindeki çizgiler tespit edilmektedir. Hough dönüşümü ile elde edilen çizgiler incelenerek iki aşamalı bir algoritma sonucu şerit çizgileri tespit edilmektedir. İlk aşama şerit çizgilerinin birbirine paralel olması olgusuna dayanmaktadır. Elde edilen şerit çizgilerinin alt ve üst noktalarının IPM dönüşümü kullanılarak dünya koordinat noktaları bulunmaktadır. Paralel olan doğruların karşılıklı her noktası arası uzaklık eşit olacağından bu noktalar arası uzaklığı eşit olan doğrular paralel olarak kabul edilebilir. İkinci aşamada ise şerit genişliğinin önceden belirlenen değerlerde olması kontrol edilmektedir. Bu iki şartı sağlayan paralel çizgilerden Hough skoru yüksek olan çift şerit çizgisi olarak belirlenmektedir. Uygun ölçütleri sağlayan iki adet şerit çizgisi bulunamadığında tek şerit çizgisi olup olmadığı aranır. Tek şerit çizgisi tespiti için tespit edilen şerit çizgilerinden alt noktasının mobil robotun kapladığı alanın dışında olan ve Hough skoru en yüksek değere sahip olan çizgi şerit çizgisi olarak tespit edilir. Çalışmada hesapsal yükü azaltmak amacıyla bazı yöntemler önerilmiştir. Geleneksel olarak Hough dönüşümü uzayında bütün açı değerleri için rho değeri hesaplanmaktadır. Bunun yerine sadece kenar bilgilerinin gradyenleri kullanılarak bulunan açı değeri çevresinde rho değerinin hesaplanmasının hesapsal yükü yaklaşık olarak 13 kat azalttığı belirtilmiştir. Trigonometrik fonksiyonların değerlerini elde ederken işlemci çok zaman kaybetmektedir. Bu

değerlerin her trigonometrik fonksiyon kullanımında hesaplanması yerine bir defa hesaplanıp ilgili değerlerin oluşturulan referans tablosuna (Look-up Table) aktarılması sayesinde hesapsal yükün yaklaşık olarak 3 kat azaldığı belirtilmiştir.

Kameradan alınan görüntülerde incelendiğinde şerit çizgileri virajlarda eğriler olarak görünmektedir. [41]'de yapılan çalışmada düz şerit çizgilerinin ve eğri şeklindeki şerit çizgilerinin tespiti için ayrı işlemler gerçekleştiren bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemin ilk aşaması olarak giriş görüntüsü üzerinde çalışma yapılacak ROI belirlenmektedir. Görüntüde olabilecek bozucu etkenlere (araç, hava şartları vb.) karşın sistem başarımını arttırmak amacıyla belirlenen ROI iki kısma ayrılmıştır. ROI'nin parçalarında Sobel ve histogram filtresi yardımıyla yatay kenarlar işleme alınmaz. Bu işlem sonucu Canny filtresi ve Hough dönüşümüyle çizgiler tespit edilir. Bu çizgiler yorumlanarak bu çizgilerin düz çizgi veya eğri olduğu kararı verilir. Bu karar doğrultusunda çizgiler düz çizgiyi temsil ediyorsa çizgilerin en üst noktası ve en alt noktası arası birleştirilir. Çizgiler eğriyi temsil ediyorsa B-spline eğri uydurma yöntemiyle şerit çizgisi belirlenir. Yöntemin uygulanabilirlik açısından basit olması gömülü platformlarda gerçekleştirilmesine imkân sağlamaktadır. Şerit tespitinde %85 civarında başarım sağladığı belirtilmektedir. Sistemde öne sürülen ROI'nin iki parçaya ayrılarak işleme alınması bozucu etkenleri gidermesine karşın eğrilerin tespitinde performansı düşürücü bir etken olarak görülmektedir.

Kameradan alınan görüntülerde ışıklılık değişimleri şerit tespitinde önemli rol oynamaktadır. Bu duruma çözüm olarak [42]'de farklı pozlama süreleriyle elde edilen görüntülerden oluşturulan HDR (High Dynamic Range) görüntülerinin kullanılması önerilmiştir. Bu yöntem geleneksel HDR görüntü elde etme yöntemlerinden farklı olarak görüntülerin eşiklenmesi sonucu elde edilen ikili görüntülerinin birleştirilmesine dayanmaktadır. Bu yaklaşım hesapsal yükü önemli ölçüde azaltmaktadır. Sistem Sobel kenar tespiti ve Hough dönüşümü kullanılarak şerit çizgileri tespit etmektedir. Önerilen yöntem bir çerçeveyi 100 ms'de işlemektedir. HDR görüntülerinin kullanılması başarımı arttırmasına karşın bu görüntüler yazılımsal olarak oluşturulduğudan hesapsal yükü oldukça arttırmaktadır. HDR görüntüleri oluşturmak yerine HDR görüntü verme özelliğine sahip bir kamera kullanılması daha uygun olacaktır.

Şerit tespit sistemlerinde aracın hareket ettiği şeridin sağ veya sol şeridinde hareket halindeki araçlar, sürücülerin araç sürüşünü olumsuz etkileyebilmektedir. [43]'de önerilen yöntem bu gibi durumlara çözüm olarak sunulmaktadır. Önerilen yöntemin ön işleme aşamasında bütün çerçevenin işlenmesi yerine ufuk çizgisinin altında kalan alanda işlem yapılmaktadır. Ufuk çizgisi giriş görüntüsünün dikey eksende yarısı olarak belirlenmiştir. Çizgilerin tespiti aşamasında Otsu yöntemiyle eşikleme ve sonrasında Hough dönüşümü uygulanmaktadır. Hough dönüşümü sonrası oluşan çizgilerin belirli açı aralıkları dikkate alınmaktadır. Bulunan şerit çizgileri kesikli şerit çizgileri ve devamlı şerit çizgisi ayrımı yapılmaksızın ufuk çizgisine kadar izdüşümleri alınmaktadır. Aracın hareket ettiği şerit çizgileri tespit edildikten sonra bitişik şerit çizgisi tespit edilmektedir. Şerit çizgisinin uzunluğunun 1/3 değeri kadar yatay uzaklığında şerit çizgisiyle aynı uzunlukta belirlenen paralel çizgisi bitişik şerit çizgisi olarak adlandırılır. Şerit çizgisiyle bitişik şerit çizgisi arasında kalan alan incelenerek olası hataların önüne geçilebilmektedir. Şerit çizgilerinin eski konumlarıyla yeni tespit edilen konumları arasında uzaklık ilişkisi kurularak anlık hataların önüne geçilmiştir. Sağ ve sol şerit çizgisinin yatay konumunun ROI merkezine uzaklığı incelenerek aracın şeritten ayrılma tespiti sağlanmaktadır. Şeritten ayrılma tespit başarımı ile ilgili bilgi verilmemesine karşın şerit tespiti başarımı %94 civarındadır. 1 çerçeve 0,023299 saniyede işlendiğinden gerçek zamanlı bir sistemdir. Önerilen yöntemin çalışma başarımı düz çizgilerde sınırlıdır. Virajlarda elde edilecek şerit görüntülerinde sistem başarımı düşecektir.

Şeritten ayrılma tespiti için [44]'de bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde kameradan alınan görüntüler üzerinde üç bölümden oluşan bir alan incelenmektedir. Bu alanın şerit çizgilerinin yatay sınırlarına olan uzaklığı dm ve ds olarak adlandırılmaktadır. Bu uzaklıklar analiz edilerek uzamsal ve zamansal adı verilen iki faklı yöntemle şerit değişikliği tespit edilmektedir. Uzamsal yöntemde, dm ve ds uzaklıklarının belirlenen eşik değerini aşması durumunda sistem uyarı vermektedir. Zamansal yöntemde ise, şerit konumlarının zamansal değişimi ve dm-ds konumlarının toplamının dm veya ds'ye göre değişimi incelenmektedir. Şerit konumlarının zamana göre değişiminin yüksek olması durumunda tehlikeli durum oluştuğu anlaşılmaktadır. Bu durumda dm ve ds toplamının zamana göre oluşturulan eğrisi incelenmektedir. Bu eğride eğim değişiminin de büyük olması durumunda şerit değişim uyarısı oluşturulmaktadır.

Gömülü platformda Windows CE sistemi kullanılarak gerçekleştirilen sistemde 320×240 görüntülerde 66,67 ms çalışma süresi ile başarım oranı %98 olarak belirtilmiştir.

DSP (Digital Signal Processor) üzerinde 6,25 ms işlem süresinde çalışan [45]'deki yöntemin ön işlem bloğunda Sobel filtresinin çıkışında tespit edilen kenar sayısını indirgemek amacıyla uzamsal renk filtresi de uygulanmaktadır. Böylece çizgi tespit bloğuna girdi olabilecek hatalı kenarların indirgenmesinin yanı sıra hesapsal yükte azaltılmıştır. Şerit tespit bloğunda Hough dönüşümü kullanılmıştır. Hough dönüşümü kullanılarak şerit çizgilerinin tespiti aşamasında hafıza kullanımını azaltmak amacıyla Non-Maximum Supression (NMS) [46] algoritması kullanılmıştır. Bulunan yerel maksimum koordinatlarında şerit çizgisi kontrolü sağlanarak şerit çizgileri tespit edilmektedir. Bulunan şerit çizgileri konumları Kalman filtresi yardımıyla takip edilmektedir. Hesapsal yükü azaltmak amacıyla bu işlem 10 çerçevede bir yapılmaktadır. Hough dönüşümü sonucu elde edilen rho ve açı değerleri oranının Destek Vektör Makineleri (Support Vektör Machine - SVM) [47] ile sınıflandırması sonucu şerit değişiminin olup olmadığı kararı verilmektedir. Sistemin test çalışmaları ile ilgili yeterli bilgi belirtilmemesine karşın 720×480 kamera çözünürlüğünde %99,1 başarım ile çalışmaktadır.

[48]'de ki çalışmada şeritten ayrılma tespitine ek olarak öndeki araç ile olan mesafe tespiti yapılan bir yöntem üzerine çalışılmıştır. Öndeki araç ile olan mesafe tespiti, öndeki aracın gölgesinin bulunmasından faydalanılarak gerçekleştirilmektedir. Çalışmanın şeritten ayrılma tespitinin ön işlem aşamasında kameradan elde edilen görüntülerde Sobel filtresiyle kenar bilgileri bulunarak, Otsu eşikleme yöntemiyle görüntüden ikili görüntü elde edilmektedir. İkili morfolojik genişletme (dilation) işlemi kullanılarak çizgilerinin tespitinin kolaylaştırılması amaçlanmaktadır. Şerit çizgilerinin tespiti aşamasında Hough dönüşümünün en yüksek değerleri incelenmektedir. Yine Hough uzayının açı bilgisi yorumlanarak şerit değişimi tespiti yapılmaktadır. Bu yöntem 720p çözünürlükte 6,25 ms işlem süresiyle FPGA üzerinde uygulanmıştır. Çalışmada sistem başarımı hakkında yeterli bilgi verilmemektedir. Şerit değişimi tespiti için sadece Hough uzayının açı değerlerinin incelenmesiyle yüksek şerit tespit performansının yakalanmasının mümkün olmadığı değerlendirilmektedir.

[49]'da önerilen yöntemde farklı şerit işareti türleri (kesikli, devamlı, kesikli devamlı ve çift devamlı) tespit edilebilmektedir. Ön işlem aşamasında şeritlerin sınırlarının bulunmasına yönelik işlemler gerçekleştirilmektedir [50]. Şerit sınırları kenar dağılım fonksiyonu (Edge Distribution Function - EDF) [51] ve Hough dönüşümü kullanılarak tespit edilmektedir. Şeritlerin özellikleri incelendiğinde kameradan alınan görüntünün yakın kesitlerinde düz çizgi özellikleri gösterirken, uzak kesitlerinde parabolik özellikler göstermektedir. Şerit işaretlerinin tespit edilmesi aşamasında şerit sınırları merkezlerinde alınan 1-boyutlu tarama bantları kullanılmaktadır. Bu tarama bantları giriş görüntüsünün kamera kalibrasyonu kullanılarak elde edilen kuş bakışı görüntüsü üzerinden alınmaktadır. Tarama bantları belirli aralıklarla alınarak hesapsal yükün azaltılması amaçlanmaktadır. Türev bilgilerinin maksimum noktaları yorumlanarak şerit işaretlerinin tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Fakat yol çizgilerinin durumu, çizgilerin rengi ve ışıklılık bilgisinin değişken olması sebebiyle maksimum noktaların tespiti zorlaşmaktadır. Bu nedenle 1-boyutlu Gauss filtresi kullanılarak bozucu etkilerin giderilmesi amaçlanmaktadır. Tespit edilen maksimum nokta bilgisi kullanılarak Gauss karışımlarına (Gaussian mixtures) dayalı Bayes sınıflandırma [52] ile şerit işaretleri sınıflandırılmaktadır. Önerilen şerit tespit yöntemi Intel Core i7 işlemcisi üzerinde full HD görüntülerde 16,67 ms işlem süresiyle çalışmaktadır. Test edilen video dizilerinde yöntem %96 şerit işareti sınıflandırma başarımına sahiptir.

[53]'de verilen çalışmada ilk olarak önerilen şerit tespit yönteminin perspektif bozunumlardan en az şekilde etkilenmesi amacıyla IPM dönüşümü ile kuşbakışı görüntüleri elde edilmektedir. Elde edilen görüntülere filtreleme ve eşikleme işlemleri uygulanarak dikey çizgilerin ön plana çıkarılması amaçlanmaktadır. Bu çizgilerin tespiti için RANSAC yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde hesapsal yükü azaltmak amacıyla ufuk çizgisinin altında kalan alan şerit tespiti için incelenmektedir. Ufuk çizgisinin altında kalan alanda tekrar alt bölgelere ayrılıp şerit tespit işlemleri bu bölgelerde uygulanarak şerit işaretleri tespit edilmektedir. Tespit edilen şerit işaretlerinin konumları Kalman filtresi ile takip edilmektedir. Yöntem Quad core 2,3 GHz ARM Cortex-A15 CPU, Tegra K1 GPU ve 2 GB DDR3 hafızaya sahip NVIDIA JETSON TK1 geliştirme kiti üzerinde 22,72 ms işlem süresinde çalışmaktadır. Yazarlar tarafından oluşturulan Inha veritabanı ve CalTech veri tabanı üzerinde ortalama %96 tespit başarımı gösterdiği belirtilmektedir. Yöntemde filtreleme işlemi

ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmemektedir. Ayrıca şerit tespit performansı için yapılan değerlendirme için metrik ve ölçütler de çalışmada verilmemiştir.

Basit görüntü işleme teknikleriyle tespit edilen 3-özellik temelli şerit tespit yöntemi [54]'te önerilmektedir. Bu 3-özellik başlangıç noktası, yönelim (orientation) ve gri-seviye ışıklılık özellikleridir. Yöntemin belirli bir ilgi alanı üzerinde çalışmaktadır. Ön işlem aşamasında Sobel çekirdeği ile kenar bilgileri iyileştirilmektedir. Elde edilen çok sayıda şerit çizgisi adayından bir önceki şerit vektöründen en az bir mesafede olan seçilmektedir. Bu seçim her bir özelliğe farklı bir ağırlık verildiği ağırlıklı bir uzaklık metriğine göre yapılmaktadır. Son aşamada algılama hatası oranını en aza indirgemek amacıyla evrimsel algoritma ile üç özelliğin birleşimi için en uygun ağırlıklar bulunmaktadır. Evrimsel algoritmanın kullanılmasıyla ortalama %96,7 olan tespit performansı %100'e çıkmaktadır. Önerilen yöntem 33,3 ms işlem süresiyle gerçek zamanlı uygulamalar için uygundur.

[55]'deki çalışmada öncelikle Canny kenar tespiti ve Hough dönüşümü temelli ufuk noktası (vanishing point) tespit edilerek, gerçek zamanlı çalışma için hesapsal yükü azaltmak amaçlanmıştır. Ön işlem aşamasında giriş görüntüsünün YCbCr kanallarının histogramını inceleyen bir şerit filtresi ile şerit işaretlerini öne çıkaracak uygun bir eşik değeri elde edilmektedir. Şerit filtresi sonrasında oluşan ikili (binary) görüntüye [56]'da önerilen şerit işareti etiketleme algoritması uygulanmaktadır. Etiketlenen görüntü piksellerinden en küçük kareler çizgi uydurma yaklaşımı (LSLF - Least Square Line Fitting) [56] ile uydurulan çizgilerin, eğim ve görüntünün dikey ekseni kesme özelliklerine bakılarak kümeleme yapılmıştır. Kümeleme sonrası etiket sayısı ve şerit işareti uzunluğu temelli bir ölçüt ile eleme işlemi uygulanmaktadır. Eleme işlemi sonrası şerit çizgileri elde edilmektedir.

Springrobot adı verilen otonom araç projesi için önerilen şerit tespit algoritması [57]'de sunulmaktadır. RGB uzayındaki renkli görüntünün kırmızı ve yeşil kanalları gri-seviyeli görüntü oluşturmak için kullanılır. Hesapsal yükü azaltmak amacıyla ortaya çıkan gri-seviyeli görüntünün boyutu azaltılır ve gri-seviyeli bir kenar görüntüsü elde etmek için çok düşük bir eşiğe sahip Sobel operatörü kullanılır. Uyarlamalı rastgele Hough dönüşümünde, gri-seviyeli kenar görüntüsünün piksel değerleri, gradyen büyüklüklerine karşılık gelen ağırlıklarına göre rastgele

örneklenmektedir. Normal rastgele Hough dönüşümünde [58] oluşan eğrinin 3-boyutlu parametrik alanı, 2-boyutlu ve 1-boyutlu alana indirgenmiştir. 2-boyuttaki eşleştirilmiş parametreler, gradyen yönleri ile tahmin edilir ve 1-boyuttaki son parametre, tahmin edilen parametreleri histogram ile doğrulamak için kullanılmaktadır. Boyut azaltılmış görüntülerde çalışıldığı için aslında parametreler kabaca belirlenmektedir. Ancak nicemleme doğruluğu önerilen çoklu-çözünürlük stratejisi ile bir miktar arttırılmaktadır. Önerilen yöntem Carnegie Mellon University (CMU), Robotics Institue gibi farklı yol sahnelerinde test edilmiştir. Nesnel sonuçları metin içerisinde belirtilmeyen yöntem görsel karşılaştırmalarda başarılı sonuçlar sunmaktadır.

[59]'daki çalışmada şerit işareti tespitinde RGB renk uzayının yeşil kanalı giriş görüntüsü olarak kullanılmaktadır. Çalışmada bunun sebebi olarak yol ve şerit işareti arasındaki ışıklılık farkının daha belirgin olduğu ifade edilmektedir. Hesapsal yükü azaltmak amacıyla şerit tespit işlemleri aracın önündeki 3 metre ile 30 metrelik alanı kapsayacak bir ROI üzerinde uygulanmaktadır. Şerit işareti aday noktaları, oluşturulan şerit işareti genişliğiyle orantılı basamak benzeri filtrelerle konvolüsyon işlemine tabii tutulmaktadır. Hesapsal yükü azaltmak amacıyla integral görüntü [60] yönteminden faydalanan bir hesaplama yaklaşımıyla aday şerit işareti konumları tespit edilmektedir. Aday şerit işareti konumları uzaklıklarına göre kümelenmektedir. Kümelenen aday şerit noktaları kullanılarak IPM ile dünya düzleminde çizgiler elde edilmektedir. Elde edilen çizgiler belirli koşullara göre eşleştirilerek sağ ve sol şerit işaretleri tespit edilmektedir. Son işlem olarak genişletilmiş Kalman filtresi ile şerit işareti konumları takip edilmektedir. Şerit işareti çifti bir kez tespit edildikten sonra sonraki çerçevelerde şerit tespit işlemleri sadece bu şerit işaretleri konumları etrafında belirlenen ROI üzerinde gerçekleştirilmektedir. Böylece hesapsal yük büyük oranda azaltılarak çevresel bozucu etkilerin performansı etkilemesi engellenmektedir. Önerilen yöntem gündüz ve gece zamanı görüntülerini barındıran 6 farklı görüntü setinde %96 üzerinde şerit işareti tespit performansı göstermektedir. Geliştirilen sistem 320×240 çözünürlükteki bir giriş görüntüsünü 40 ms'de işlemektedir.

Kameradan alınan görüntülerde paralel çizgiler ufuk noktasında birleşmektedir. Şeritlerde birbirine paralel çizgilerin belirlediği alanlar olduğundan ufuk noktasının bu özelliğinden [61]'de önerilen yöntemde faydalanılmaktadır. Görüntünün ufuk

noktasına yönelimi kullanılarak oluşturulan yönlendirmeli filtreler ile kenar bilgileri elde edilmektedir. Özellik çıkartımı aşamasında paralel Hough dönüşümünü [62] ufuk noktası kullanarak geliştiren bir yöntem önerilmektedir. Burada normal Hough dönüşümünden farklı olarak Hough uzayı başlangıç noktası ufuk noktası olarak belirlenmektedir. Bu şekilde hafızadan kazanç sağlanırken aynı zamanda başlangıç noktasından geçmeyen çizgilerinde elenmesi sağlanmaktadır. Şeritten ayrılmalarında tespit edildiği sistem FPGA üzerinde 25 ms işlem süresinde çalışma kapasitesine sahiptir.

Ufuk noktasından faydalanan diğer bir yaklaşım olan [63]'teki yöntem giriş görüntüsünde bulunan çizgileri LSD (Line Segment Detector) [64] yöntemi ile çıkarmaktadır. Olasılıksal oylama yöntemi ve çizgilerin kesişim noktası ile ufuk noktası tespit edilmektedir. Şerit işareti tespit işlemi ufuk noktasını merkeze alacak şekilde belirlenen yelpaze benzeri bir alanda uygulanmaktadır. Şeritlerin tespiti için tespit edilen ufuk noktası ve çizgiler arasındaki geometrik ilişki temelli bir skor fonksiyonu kullanılmaktadır. Taşkın watershed algoritması (flooding watershed algorithm) bu skor fonksiyonuna uygulanarak şerit işaretleri tespit edilmektedir. Tespit edilen şerit çizgileri de ufuk noktası ve şeritlerin konumlarının değişmezliğinden faydalanan çerçeveler-arası benzerlik ilişkisi ile iyileştirilmektedir. Ayrıca ufuk noktası tespitinde referans tablosu (Look-up Table - LUT) kullanılarak hesapsal yükün azaltılması amaçlanmaktadır. Önerilen yöntem Caltech veritabanında ortalama %92,43 şerit tespit performansına sahiptir. Bu çalışmada kullanılan LUT ile bir çerçevenin işlenmesi için gereken toplam süre 2000 ms'den, 180 ms'ye indirilmektedir.

2.4.1.2. Alan temelli çalışmalar

CalTech Üniversitesi'nde [5] geliştirilen şerit takip sisteminin ön işleme bloğunda kameradan alınan görüntünün kırmızı kanalında bir ilgi alanı belirlenmektedir. Bu ilgi alanı üzerinde IPM dönüşümü sonrası 2-boyutlu Gauss filtresi ve eşikleme işlemi uygulanmaktadır. Çizgilerin çıkartılması aşamasında Hough dönüşümü ve RANSAC yöntemi kullanılmıştır. Tespit edilen çizgilerin etrafında alınan pencerede RANSAC yöntemi tekrar uygulanmaktadır. Bu işlem sonucu belirlenen uygun adaylardan Bezier Spline [65] yöntemiyle şerit işaretleri tespit edilmektedir. Bu yöntem 1200 görüntü

üzerinde test edilmiştir. Yöntem iyi sonuçlar vermesine karşın çizgilerin çıkartılması aşamasında yapılan eşikleme işleminde şerit çizgilerinin olmadığı veya iyi durumda olmadığı koşullarda yanlış tespitler yapılabilmektedir. Ayrıca şerit çizgilerinin tespiti her bir görüntü çerçevesi için ayrı olarak yapılmaktadır. Bu durumda şerit çizgilerinin önceki konumlarıyla ilişki kurulmaması tespit performansı düşürmektedir.

Şerit işaretlerinin paralellik özelliğinden faydalanmak amacıyla [34]'de geliştirilen yöntemde kameradan alınan görüntüler IPM (Inverse Perspective Transform) yöntemi kullanılarak kameradan alınan görüntüler dünya düzlemine çevrilmektedir. Bu işlem temel olarak kameradan alınan görüntünün 3-boyutlu z = 0 düzleminde ilgili noktalara eşleştirilmesidir. IPM dönüşümünde kameranın içsel ve dışsal parametreleri, kameranın yüksekliği ve kameranın yatay düzlem ile olan açısından faydalanılmaktadır. Yöntemin ön işlem aşamasında elde edilen kuşbakışı görüntüde sağ ve sol komşuları inceleyen bir filtre ve komşuların maksimum değeri kullanılan adaptif bir eşikleme kullanılmaktadır. Elde edilen eşiklenmiş görüntü üzerinde her bir satırda bulunan sıfırdan farklı pikseller ile olası şerit genişlikleri tespit edilmektedir. Şerit genişliklerden histogram oluşturularak nihai şeritler elde edilmektedir. Bu çalışmada IPM işlemi donanımsal olarak SIMD (Single Instruction Multiple Data) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak SIMD işlemi için özelleşmiş donanımsal birimleri kullanmak aynı zamanda ekstra bir hesapsal yük gerektirmektedir. Şerit işareti tespit işlemi 30 ms sürmektedir. Tespit performansı %95 olup sadece yol koşullarının iyi olduğu durumlar dikkate alınmıştır.

[66]'daki çalışmada aracın ön ve arkasında olmak üzere iki kameradan alınan görüntüler üzerinde çalışılmaktadır. Alınan görüntülerde sadece belirlenen ROI üzerinde işlemler gerçekleştirilmiştir. Bu alanda bir ön işlem olarak 1-boyutlu 2.dereceden Gaussian filtresiyle konvolüsyon işlemi uygulanmaktadır. Bu filtre yaklaşık olarak şerit işareti genişliği dikkate alınarak oluşturulmuştur. Konvolüsyon işlemi sonrası şerit işaretleri öne çıkmaktadır. Sonraki aşamada Hough dönüşümü uygulanmaktadır. Hough dönüşümü çıktısı olarak oluşan skor değerleri eksiltici kümeleme algoritması (subtractive clustering algorithm) [67] aracılığıyla yorumlanarak şerit çizgileri tespit edilmektedir. Küme merkezleri Kalman filtresiyle çerçeveler arası takip edilmektedir. Bu çalışmada otomotiv standartlarına uygun şekilde şeritten ayrılmalar tespit edilmektedir. Şerit ihlalleri araç konumu ve tespit

edilen şerit konumları kullanılarak belirlenmektedir. Şerit tespit başarımı ve şeritten ayrılma tespit başarımı farklı çevresel koşullarda ayrıntılı irdelenmiştir. Şerit tespit performansı yaklaşık %98, şeritten ayrılma tespit performansı ise yaklaşık %100 olarak verilmektedir. Çalışmada verilen karşılaştırmaya göre şerit tespiti işleminde, tek kamera kullanılan yönteme göre çift kamera kullanılması başarımı arttırmaktadır.

Kesikli şerit çizgilerinin, devamlı şerit çizgilerine göre tespiti daha zor olabilmektedir. Bu durumuna çözüm sunmak amacıyla [68]'de yapılan çalışmada belirli aralıklarda (örneğin 3 çerçevede bir) ardışık çerçevelerin ortalaması alınarak elde edilen görüntüde kesikli şerit çizgilerinin devamlı şerit çizgileri haline geldiği yaklaşımı kullanılmıştır. Oluşturulan ortalama imge üzerinde şerit çizgilerinin paralellik özelliğinden yararlanmak amacıyla IPM dönüşümü kullanılarak kamera düzlemi yerine dünya düzleminde çalışılmaktadır. Yöntemde şerit çizgilerinin çıkartılması aşamasında aday şerit noktaları Hough dönüşümü ile elde edilmektedir. Olası bozucu etkileri elemek amacıyla elde edilen aday noktaları üzerinde giriş görüntüsü ile 1-boyutlu korelasyon işlemi uygulanmaktadır. Korelasyon işlemi sonrası belirlenen aday şerit noktaları üzerinde RANSAC çalıştırılarak şerit çizgileri tespit edilmektedir. Yöntemde şerit çizgilerinin tespit edilen konumları arasında Kalman filtresi yardımıyla zamansal ilişki kurularak olası hataların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Yöntem şerit tespiti açısından başarılı olmasına karşın ön işleme kısmında bütün sisteme girdi olarak kullanılan ortalama imgenin elde edilmesi sistem başarımını etkileyen ana etken olarak ortaya çıkmaktadır. Ortalama imgenin elde edilmesi için alınan çerçevelerin aralık değerlerinin hızla ilişkisi kurulmadığından kesikli çizgilerden devamlı çizgilerin elde edilemediği durumlar oluşabilmektedir. Ayrıca şerit çizgilerinin aday noktalarının belirlenmesi aşamasında, şerit çizgilerinin görüntüde olmadığı durumlarda korelasyon sonucunun yapay şerit çizgilerine yönlendirmesi gibi bir durumda ortaya çıkmaktadır.

Mammeri vd. [69], MSER (Maximally Stable Extremal Regions) [70] ve Hough dönüşüm tabanlı bir şerit tespit yaklaşımı önermiştir. İlk olarak olası şerit alanları MSER ile elde edilmektedir. Üç aşamalı bir arıtma (refinement) algoritması ile istenmeyen alanlar elenmektedir. Arıtma işlemi sonrasında kalan alanlar üzerinden özellik noktaları elde edilmektedir. Bu özellik noktaları kullanılarak PPHT (Progressive Probabilistic Hough Transform) [71] ile şerit çizgileri tespit edilmektedir.

Son olarak tespit edilen şerit çizgileri Kalman filtresi kullanılarak takip edilmektedir. Arıtma algoritmasının kullanılması yöntemin gerçek zamanlı çalışmasını sağlamakla birlikte birçok yanlış tespite de neden olmaktadır.

Yönlendirmeli filtrelerden faydalanan [72]'deki yöntem ışık değişimleri ve gölgeler gibi olumsuz koşullara karşı gürbüz çalışmaktadır. Önerilen yöntemin ön işlem aşamasında yönlendirmeli filtre konvolüsyon ile şerit işaretleri ön plana çıkarılmaktadır. Bu aşamada iki ayrı eşik uygulanmaktadır. İlk eşik değeri ile hız düşürücü tümsekler belirlenirken, ikinci eşik değeri ile şerit çizgileri belirlenmektedir. Tespit edilen şerit çizgisi açıları yönlendirmeli filtrelere geri besleme sağlayarak sonraki çerçevelerde kullanılmaktadır. Tespit edilen şerit işareti konumları Kalman filtresi kullanılarak takip edilmektedir. Önerilen yöntem gölge, ışıklılık koşulları, farklı şerit işaretleri ve araçlar içeren 9000 görüntü üzerinde test edilmiştir. Şerit işareti tespit performansı ve yöntemin çalışma hızı ile ilgili detaylı bilgi verilmemektedir.

[73]'deki çalışmada farklı çevresel koşullarda (ışıklılık değişimi, yol yüzeyi değişimi, gölge) şerit işareti tespitinde başarılı sonuçlar veren bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntemin gürbüz bir şekilde çalışması yönlendirmeli filtre kullanmasından kaynaklanmaktadır. Hesapsal yükü azaltmak amacıyla yönlendirmeli filtreler dikey ve yatay bileşenlerine ayırılarak görüntü ile ayrı ayrı konvüle edilmektedir. Sonraki aşamada sistem performansını iyileştirmek amacıyla araç-durum bilgileri ile görsel bilgiler kullanılarak yolun eğriliği hesaplanmaktadır. Son olarak Kalman filtresi ile tespit edilen şerit işareti konumları takip edilmektedir. Takip işleminde sadece önceki çerçevelerde tespit edilen şerit işaretlerinin çevresindeki adaylar kullanılmaktadır. Böylece diğer araçlar ve yol işaretleri nedeniyle oluşan bozucu değerlerin sistemi etkilemesi önlemektedir. Önerilen sistemin nicel değerlendirmesini sağlamak için, tespit hatası ortalama mutlak hata, hatanın standart sapması ve yanal pozisyon değişikliği oranındaki hatanın standart sapması olmak üzere üç farklı metrik kullanılmıştır. Ortalama tespit hatasının yaklaşık 10 cm olması sistemin şerit işareti konumlarını başarılı bir şekilde tespit ettiğini göstermektedir. Bu çalışma detaylı literatür araştırması ve nesnel şerit tespit performansı değerlendirmesiyle bu alanda yapılan çalışmalar arasında öne çıkmaktadır.

FPGA üzerinde gerçek zamanlı çalışan bir yöntem [74]'te önerilmektedir. Bu yöntemde giriş görüntüleri HDR kamera ile alınmaktadır. Yöntemin ön işlem aşamasında çok-ölçekli bir Gauss temelli uyumlu (matched) filtre ile şerit işaretleri ön plana çıkarılmaktadır. Giri Değişkenlik-sabit yanlış alarm oranı kullanılarak filtrelenmiş görüntü pikselleri şerit işareti ve yol yüzeyi olarak sınıflandırılmaktadır. FPGA'in paralel hesaplama gücü, LUT ve run-length kodlama gibi donanım ve yazılım özelliklerinden iyi bir şekilde faydalanılan yöntem 16,67 ms işlem süresinde çalışmaktadır.

2.4.1.3. Karma Yöntemler

Literatürde bulunan yöntemler genel olarak ortam bilgilerini (trafik durumu, araç önünde başka araç olması) dikkate almaksızın aynı şerit tespit algoritmasını uygulamaktadır. [75]'de aracın durumuna, hızına ve aracın sensörlerinden elde edilen bilgilere göre şerit tespit performansını iyileştirebilen bir yöntem geliştirilmiştir. Ortam bilgilerinin değerlendirilmesinin bir sonucu olarak hesapsal yükte azalmaktadır. Önerilen CLEF (Context-aware Lane Estimation Framework) yöntemi iki modülden oluşmaktadır. Ortam tanımlama modülü hangi şerit tespit yönteminin kullanılacağına karar vermektedir. Bu modüle olan girişler; aracın CAN (Controller Area Network) arayüzünden elde edilen araç hızı, ivme, fren bilgileri, hız ve güç gibi sistem sabitleridir. Şerit tespit modülü, ortam tanımlama modülünden gelen ortam bilgileri ve çeşitli kontrol sinyalleri doğrultusunda ölçekleme işlemine karar vermektedir. Şerit tespit yöntemi LASeR [76, 77] yönteminin ortamsal bilgileri içerecek şekilde yeniden düzenlenmiş halini kullanılmaktadır. LASeR yönteminin ön işlem aşamasında kameradan alınan görüntüler IPM yöntemi kullanılarak dünya düzlemine çevrilmektedir. Bu görüntüler üzerinde belirli genişliklerde 2-boyutlu alanlar alınarak eşikleme işlemi uygulanmaktadır. Görüntü üzerindeki çizgilerin bulunması aşamasında elde edilen ikili 2-boyutlu alan görüntüleri üzerinde Gauss filtresi kullanılarak kaydır ve eşle işlemi doğrultusunda her bir bant için aday şerit çizgisi noktaları bulunur. Yöntemin şerit çizgileri tespit aşamasında tespit edilen bu noktalar kullanılarak belirlenen yol modeli doğrultusunda şerit çizgileri elde edilmektedir. Şerit çizgileri Kalman yöntemi kullanılarak takip edilmektedir. CLEF, LASeR yönteminin alan genişliği ve alanların belirlenen ROI üzerindeki sıklıklarının ölçeklenmesi temeline dayanmaktadır. Bu ölçekleme işlemi yolun eğriliği, araç hızı ve trafik

durumlarına göre değişiklik göstermektedir. Yöntem sistem başarımından ödün vermeksizin %90 hesapsal yük kazancına sahip olmasıyla gömülü platformlar için uygundur. Önerilen yöntemde ölçekleme oranı arttıkça sistem başarımı düşeceğinden kötü hava koşulları ve yol bozuklukları gibi olumsuz koşullarda yanlış tespit oranı artacaktır.

[78]'de önerilen yaklaşımda öncelikle yol alanı belirlenerek sonraki işlemlerin sadece tespit edilen bu alan üzerinde uygulanması sağlanmaktadır. Yol alanı çıkartım işlemi Gabor dokusal özellikler (Gabor textural features) ve ortalama-kaydırma kümelemesi (mean-shift clustering) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Şerit çizgileri sırasıyla yönlendirmeli filtre (steerable filter), IPM, Hough dönüşümü ve MSAC (M-estimator Sample and Consensus) [79] yöntemlerinin kullanılması ile tespit edilmektedir. Şerit çizgileri tespit başarımı genişletilmiş Kalman filtresi (extended Kalman filter) kullanılarak iyileştirilmektedir. Önerilen sistemde sadece yol alanı üzerinde çalışılması şerit işaretleri tespiti için işlenmesi gereken alanı azalttığından olası hatalı tespitlerin önüne geçerek sistem performansını iyileştirmektedir. Yol alanı tespitinin getirdiği ek hesapsal yük ile sistem performansı iyileştirmesi arasında bir tercih yapılması gerekmektedir.

Çok düşük hesapsal yüke sahip [80]'de blok temelli bir şeritten ayrılma uyarı sistemi önerilmektedir. Yöntemin ön işlem aşamasında bir ROI belirlenmekte ve YCbCr renk uzayındaki giriş görüntüsü şerit işaretlerinin tespiti kolaylaştıracak şekilde iyileştirilmektedir. İyileştirilen ROI'nin ortalama ışıklılık değerine göre adaptif bir eşikleme işlemi ile şerit işareti alanları öne çıkarılmaktadır. Karmaşıklığı azaltmak için ROI örtüşmeyen bloklara ayrılarak ilgili bloklara ait bir gradyen ve açı değeri hesaplanmaktadır. Sürüş koşulları dikkate alınarak gereksiz hesaplamaları ortadan kaldırmak adına ROI 6 açısal aralığa bölünmektedir. Bu aralıklardaki aynı açı değerinde en yüksek blok değerine sahip olanlar gruplandırılarak aday şerit işaretleri belirlenir. Blok değeri 6 farklı bölge üzerinde bulunan şerit işareti adaylarının sol, orta-sol, orta-sağ ve sağ şerit işareti olarak 4 grupta toplanmasıyla elde edilmektedir. Belirlenen adaylardan en yüksek blok değerine sahip iki şerit işareti sağ ve sol şerit işareti olarak tespit edilmektedir. Şeritten ayrılma kararı şerit işareti açılarının daha önceden belirlenen şerit değiştirme açı değerlerine eşit olması durumunda verilmektedir. Önerilen yöntem 1920×1080 çözünürlükte giriş görüntüsünü 4,28

ms'de işleyerek gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır. Bu çalışma KITTI [81] ve Caltech veritabanlarında test edilmiş ve şerit tespit başarımı %96,2, şeritten ayrılma tespit başarımı ise %98,60 olarak elde edilmiştir.

[82]'de önerilen yöntem şerit işaretlerini kenar, renk, araç hızı özellikleri birlikte değerlendirilmesi ile tespitini amaçlamaktadır. Yöntem araç hızına göre değişen durma mesafesiyle orantılı adaptif bir ROI'de çalışmaktadır. Kenar bilgileri RGB renk uzayının kırmızı kanalı kullanılarak çıkarılmaktadır. Kırmızı kanalın kullanılmasındaki amaç bu kanalı sarı ve beyaz renkte sağladığı yüksek karşıtlıktır. İstatiksel eşikleme parametresi ve Otsu yöntemi kullanılarak görüntü eşiklenmektedir. Sonrasında Canny kenar operatorü ile görüntü üzerindeki kenarlar tespit edilmektedir. RGB renk uzayı ve HSV renk uzayının satürasyon kanalı kullanılarak oluşturulan olasılık yoğunluk fonksiyonu (probability density function - PDF) ile şerit işaretlerine ait renk piksellerinin konumlarını gösteren ikili bir renk maskesi oluşturulmaktadır. Tespit edilen renk maskesi ve piksel konumlarının merkezi bitsel "VE" işlemine tabii tutularak ilgili konumlar belirlenir. Sonraki aşamada tespit edilen konumlar uzaklıklarına göre kümelenmektedir. Kümelerden doğru ve eğri uydurma modelleri kullanılarak şerit işaretleri tespit edilmektedir. Ayrıca bu çalışmada tespit edilen şerit işaretleri kullanılarak uygulanan yol geometrik modeliyle şerit alanlarının tespit edilmesine olanak sağlanmaktadır. Yöntem yağmurlu, sisli ya da gece zamanı gibi zorlu koşullarda test edilmemiştir. Kullanılan PDF sınıflandırma ile ışık değişimleri ve gölge durumlarında tespit performansına katkı sağlanmaktadır. Önerilen yöntem 28,3 ms işlem süresinde %96,84 şerit tespit başarımına sahiptir.

Yakın zamanlarda yayınlanan görüntü işleme temelli şerit tespit yöntemlerinin karşılaştırılması Tablo 2.1'de verilmektedir. Bu tabloda, ön işlem, özellik çıkartımı ve son işlem aşamalarında kullanılan yöntemler, uygulama platformu ve işlem hızları hakkında bilgiler verilmektedir.

Tablo 2.1. Yakın zamanda önerilen şerit tespit yöntemlerinin karşılaştırılması

Yöntem	Ön İşlem	Özellik Çıkartımı	Son İşlem	Platform / Süre (ms)
(Bertozzi ve Broggi, 1998) [34]	IPM, Komşuluk filtresi, Adaptif eşikleme	Satır bazlı tepe analizi, Şerit genişliği temelli histogram	—	PC / 30,03
Yim ve Oh [54] (2003)	ROI, Sobel kenar iyileştirme	Ağırlıklı uzaklık metriği, Evrimsel algoritma	—	—
(Li ve diğ., 2004) [57]	R ve G kanalları ile gri seviyeli görüntü oluşturma, görüntü boyut azaltımı	Sobel filtresi, Uyarlamalı RHT	—	PC / 33,3
(McCall ve Trivedi, 2004) [72]	Yönlendirmeli filtre ile konvolüsyon	İki adımlı eşikleme	Kalman	—
McCall ve Trivedi [73] (2006)	—	Yönlendirmeli filtre ile konvolüsyon	Paraobolik yol modeli, Kalman	—
(Aly, 2008) [5]	IPM, 2-boyutlu Gaussian filtresi, Adaptif eşikleme	Hough dönüşümü, RANSAC,	Bezier Spline	PC / 20
(Chunzhao ve diğ., 2010) [33]	Çiftli kamera, IPM	Kesit bölgelerinin histogramı, Sağ ve sol kamera görüntülerinin çapraz korelasyonu	Catmull-Rom splines, Parçacık filtresi	PC / 200
(Hsiao ve diğ., 2011) [44]	Gaussian filtresi	Sobel kenar tespiti, Kenar tepe analizi	—	Gömülü / 66,67
(Cualain ve diğ., 2012) [66]	Çiftli kamera (ön ve arka), ROI	1-boyutlu konvolüsyon, Hough dönüşümü, Eksiltici kümeleme algoritması	Kalman filtresi	PC / 1515,15
(Kou ve diğ.,2012) [42]	HDR görüntü oluşturulması, Sobel filtresi	Hough dönüşümü	—	PC / 100
(Prasad ve Yogamani, 2012) [45]	Uzamsal renk filtresi, Sobel filtresi	Hough dönüşümü, SVM	—	Gömülü / 6,25
(Borkar ve diğ., 2012) [68]	Zamansal bulanıklaştırma, Adaptif eşikleme, IPM	Hough dönüşümü, 1-boyutlu konvolüsyon	RANSAC, Kalman filtresi	PC / 800
(Choi ve diğ., 2012) [59]	RGB renk uzayının yeşil kanalı, ROI	Şerit şablonu ile konvolüsyon, Kümeleme	RANSAC, EKF	PC / 40
(Yoo ve diğ., 2013) [36]	LDA temelli gradyen iyileştirme, Adaptif Canny kenar tespiti,	Hough dönüşümü, kenar-bağlama yöntemi	Clothoid eğri modeli ile çizgi uydurma	PC / 50
(You ve diğ., 2013) [37]	Komşuluk ortalama filtreleme, 8-yönlü Sobel operatörü, Otsu eşikleme, İlgi alanı	Piksellerin dağılımı (gradyen, ışıklılık), Hough dönüşümü	—	PC / 58,82
(An ve diğ., 2013) [61]	Ufuk noktası tespiti, Ufuk noktası temelli yönlendirmeli filtre	Ufuk noktası temelli paralel Hough dönüşümü	Kalman benzeri bir algoritma	Gömülü / 25

Tablo 2.1. (Devam). Yakın zamanda önerilen şerit tespit yöntemlerinin karşılaştırılması

Yöntem	Ön İşlem	Özellik Çıkartımı	Son İşlem	Platform / Süre (ms)
(Espinoza ve Torriti, 2013) [78]	Ortalama-kaydırma kümeleme, Gabor ve GMRF dokusal özellikler	Yönlendirmeli filtreler, IPM, Hough dönüşümü	Clothoid model denklemleri, MSAC, Genişletilmiş Kalman filtresi	PC / 178,57
(Küçükyıldız ve Ocak, 2014) [40]	Dikey 1-D Sobel filtresi, Eşikleme	Hough dönüşümü, IPM	Metrik analiz (Şerit genişliği)	Gömülü / 33,3
(Li ve diğ., 2014) [41]	Sobel filtresi, Histogram analizi,	Canny kenar tespiti, Hough dönüşümü,	B-spline	PC / 14
(Kalaki ve Safabakhsh, 2014) [43]	Ufuk çizgisi alt alanı, Prewit filtresi, Otsu eşikleme	Hough dönüşümü	—	PC / 23,31
(Zhao ve diğ., 2014) [48]	Sobel kenar tespiti, Otsu eşikleme, Morfolojij genişletme	Hough dönüşümü	—	Gömülü / 6,25
(Gaikwad ve Lokhande, 2015) [35]	ROI, PLSF	Hough dönüşümü	Öklid uzaklığı	PC / 35,71
(Son ve diğ., 2015) [55]	Canny kenar tespiti, Hough Transform temelli ufuk çizğisi tespiti, renk temelli eşikleme filtresi	LSLF, şerit konum analizi	—	PC / 33,3
(Shin ve diğ.,2015) [39]	Kuşbakışı görüntü, Dikey kenar tespiti, yönlü uzaklık dönüşümü	Satır işlemleri, Süper parçacık filtresi	Zamansal ilişki	PC / 62,5
(Zhang ve diğ., 2015) [74]	Çok-ölçekli eşlenen (matched) filtre	GV-CFAR sınıflandırma	LUT, run-length kodlama	Gömülü / 16,67
(Satzoda ve diğ., 2015) [75]	CLEF, Tarama bantları, IPM,	Gaussian temelli kaydır ve eşleme	Polinominal doğru uydurma, Kalman	PC / 50
(Paula ve Jung, 2015) [49]	EDF, Hough dönüşümü	1-boyutlu tarama bantları, 1-boyutlu Gaussian filtresi, Bayesian sınıflandırıcı	—	PC / 16,67
(Lee ve Kim, 2016) [53]	—	IPM, Çizgi çekirdek filtresi, Eşikleme	RANSAC, Kalman	Gömülü / 22,72
(Mammeri ve diğ.,2016) [69]	MSER	MSER arıtma, tarama algoritması, PPHT	Kalman filtresi	PC / 41,66
(Cáceres ve diğ., 2016) [82]	Araç hızı temelli Adaptif ROI, RGB renk uzayının kırmızı kanalı	Osu eşikleme, Canny, Renk bilgileri temelli PDF, Renk maskesi ve kenar bilgisi temelli tespit	Çizgi/Eğri uydurma	PC / 28,3
(Yoo ve diğ., 2017) [63]	—	LSD, Ufuk noktası tespiti, watershed algoritması, şerit tespit skor fonksiyonu	Şerit konum değişmezliği ve ufuk noktası temelli çerçeveler arası ilişki	PC / 181,81
(Wu ve diğ., 2018) [80]	ROI, YCbCr iyileşirme, Adaptif eşikler ile alan belirleme	Blok temelli grayden, 6 açısal aralık ile şerit işareti tespiti	—	PC / 4

2.4.2. Öğrenme temelli yöntemler

Görüntü işleme temelli yöntemler giriş görüntüsü üzerinde şerit işareti özellikleri ile belirlenen denklemler ve kurallar çerçevesinde şerit işaretlerinin tespit edilmesini amaçlamaktadır. Öğrenme temelli yöntemler ise kural tabanlı olmayıp gerçekleştirilen işlemlerde kararların sistemin öğrendiği bilgilere göre elde edilmesini amaçlamaktadır. Öğrenme temelli yöntemler makine öğrenmesi temelli yöntemler ve derin öğrenme temelli yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Makine öğrenmesi temelli şerit tespit yöntemlerinde görüntü üzerinde uygun öznitelikler çıkartılarak tercih edilen makine öğrenmesi yöntemi eğitilir. Bu eğitim sonucuna oluşturulan öğrenme fonksiyonuna uygulanan yeni girdiler yorumlanarak çıkış değerleri elde edilmektedir. Makine öğrenmesi temelli yöntemlerde öznitelik seçimi ve öğrenme yöntemi seçimi tespit performansını etkileyen önemli birer unsurdur. Derin öğrenme temelli yöntemlerde sistem verilen giriş görüntülerine uygun öznitelikleri kendi belirlemektedir. Ayrıca derin öğrenmenin yapısı gereği ilk katmalarda uygun ön işlem filtreleri de yöntemin doğası gereği kendiliğinden oluşmaktadır. Böylece şerit işareti tespit sistemlerinin 3 aşamasından ikisi olan ön işlem ve özellik çıkartımı aşamaları derin öğrenme yöntemi ile kullanılan görüntülerden öğrenilerek elde edilmektedir.

2.4.2.1. Makine öğrenmesi temelli yöntemler

Çoklu-şerit tespitine uygun [83]'te önerilen yöntemde kamera açıları tespit edilen ufuk çizgisi kullanılarak bulunmaktadır. Giriş görüntüsüne IPM dönüşümü uygulanarak, şerit işareti adayları 2-boyutlu cLoG (complement Laplacian of Gaussian) kernel kullanılarak çıkartılmaktadır. Sonrasında Otsu eşikleme yöntemi ile ikili görüntü elde edilmektedir. Şerit işareti adayları iki aşamalı ikili bölge (binary blob) filtrelemesi ile analiz edilmektedir. Her bölge açı değerinin elde edilebileceği bir elips ile temsil edilebilmektedir [84]. Bölgeler, açı, bölgedeki piksel sayısı ve şeritler arası uzaklık kriterleri kullanılarak elenmektedir. Bu eleme işleminde elenmeyen bölgelerden eksen uzunluk oranı belirlenen değerden büyük olanlar şüpheli olarak değerlendirilmektedir. Şüpheli bölgeler görüntü üzerinde uygulanan ters IPM dönüşümü sonrası tespit edilerek bölgeyi içine alacak görüntü parçaları elde edilmektedir. Bu görüntü parçaları HoG [85] özellikleri kullanılarak SVM sınıflandırıcı ile doğrulanmaktadır. Son olarak Hough dönüşümü ile eleme işlemi sonrası elde edilen ikili görüntü üzerinde çizgi

uydurmak için uygun pencere alanları belirlenmektedir. Bu pencere alanlarında RANSAC koşturularak şerit işaretleri tespit edilmektedir. Yöntem Caltech veritabanı üzerinde ortalama 500 ms işlem süresinde %98,1 tespit performansına sahiptir. Bu çalışmada kullanılan bölge analizi yöntemleri ile zorlu koşullarda şerit işareti tespitini mümkün kılmaktadır. Ancak çok aşamalı eleme işlemleri hesapsal yükü arttırıcı etken olarak öne çıkmaktadır.

[86]'daki yöntemin ön işlem aşamasında görüntünün belirlenen bir oranı ROI olarak belirlenerek ortanca (median) filtresi uygulanmaktadır. Sonrasında Canny operatörü ile kenar bilgileri çıkartılmaktadır. Özellik çıkartım aşamasında ortanca filtresi çıkışı ve kenar tespit çıkışı üzerinde her bir pixel konumu merkez alacak 3×3'lük alanlar alınmaktadır. Bu alanların ayrı ayrı Haar-benzeri özdeğerleri elde edilerek geliştirilmiş hızlandırma algoritmasıyla bir sınıflandırıcı oluşturulur. Hesapsal yükü azaltmak amacıyla [60]'daki yöntemden farklı olarak Haar-benzeri özelliklerin sadece beyaz bölgeleri dikkate alınmaktadır. Oluşturulan sınıflandırıcı ile giriş görüntüsü üzerindeki her bir piksel gürültü ve şerit işareti olarak işaretlenmektedir. Son işlem olarak en küçük kareler uydurma ile şerit çizgiler tespit edilmektedir. Yöntem farklı sahne özelliklerinde 200 adet görüntüye sahiptir. Bu görüntülerin yarısı eğitim diğer yarısı test için kullanılmıştır. ROC eğrisi analiziyle performansı değerlendirilen sistem SVM sınıflandırıcıya göre daha başarılı sonuç göstermektedir.

Aday bölgelerin sınıflandırılmasına dayalı bir yöntem [87]'de önerilmektedir. Yöntemin ön işlem aşamasından ışıklık değişimini dengelemek amacıyla öncelikle DC-çentik filtresi (DC-notch filter) [88] kullanılmaktadır. Sonrasında görüntünün karşıtlık değerleri yayılarak Otsu eşikleme yöntemi ile ikili görüntüye dönüştürülmektedir. Bağlantı bileşeni analizi (connect component analysis) ile parlak bölgeler, onları sınırlayacak kutular şeklinde belirlenmektedir. Bölgelerin özellikleri yatay projeksiyon fonksiyonu ile elde edilmektedir. Sınıflandırma işlemi için yapay sinir ağları tercih edilmiştir. Yatay projeksiyonu oluşturulmuş bölgelerin standart sapması, normal bölgelerin ortalaması ve standart sapması yapay sinir ağının girişlerini oluşturmaktadır. Ağ giriş, çıkış ve bir adet saklı katman içermektedir. Sınıflandırma işlemi sonucu tespit edilen çizgiler yönelim açılarına göre sağ ve sol olmak üzere ayrılmaktadır. Birden fazla çizgi tespiti durumunda eğim ve benzerlik kriterleri ile nihai şerit işaretleri tespit edilmektedir. Uzaklık ölçütü temelli bir

yöntemle şerit işaretleri çerçeveler arası takip edilmektedir. Şerit işareti tespit performansı sadece görsel sonuçlar ile sunulmaktadır. Ön işlem aşamasındaki iyileştirmeler ile gece zamanı şerit tespitleri için uygun bir yöntemdir. Bir çerçeveyi ortalama 2 ms'de işlemesi ile önerilen yöntem gerçek zamanlı sistemler için uygundur

Şerit işareti tespit üzerine farklı sınıflandırıcılar [89]'da önerilen yöntemde test edilmiştir. Bu test sonucu SVM daha başarılı sonuçlar vermesine karşın hesapsal yük açsısından da sınıflandırıcılar değerlendirildiğinde art arda bağlı yapay sinir ağları tercih edilmiştir. Bu çalışmada ön işlem aşaması olarak giriş görüntüsü homografi matrisi [90] kullanılarak kuş bakışı görüntüsüne dönüştürülmektedir. Bu görüntü RGB renk uzayının kanallarının ağırlıklandırılmasıyla gri-seviyeli görüntüye dönüştürülmektedir. Sonrasında gürültüleri elemek amacıyla Gauss filtre ile yumuşatma kullanılmıştır. Görüntü üzerinde 9×3 boyutlarında alınan pencereler yapay sinir ağları ile sınıflandırılmaktadır. Sonraki aşamada kübik spline eğri modeli ve RANSAC algoritması kullanılarak şerit işaretleri tespit edilmektedir. Tespit edilen şerit işaretleri ise parçacık filtresi (particle filter) kullanılarak takip edilmektedir. Önerilen yöntem 100 ms işlem süresine sahiptir. İmge perspektif dönüşümü sistemin en çok zaman harcadığı yerdir. Şerit işareti tespit performansı %80 olarak belirtilmektedir.

Yakın zamanlarda yayınlanan makine öğrenmesi temelli şerit tespit yöntemlerinin karşılaştırılması Tablo 2.2'de verilmektedir. Bu tabloda, ön işlem, özellik çıkartımı ve son işlem aşamalarında kullanılan yöntemler, uygulama platformu ve işlem hızları hakkında bilgiler verilmektedir.

Tablo 2.2. Yakın zamanda önerilen makine öğrenmesi temelli şerit tespit yöntemlerinin karşılaştırılması

Yöntem	Ön İşlem	Özellik Çıkartımı	Son İşlem	Platform / Süre (ms)
(Kim, 2008) [89]	Ağırlıklandırılmış gri-seviye dönüşüm, Homografi matrisi, Gaussian yumuşatma,	Art arda bağlı yapay sinir ağı ile sınırlandırma	Kübik spline, RANSAC, Parçacık filtresi	PC / 100
(Chao ve diğ., 2014) [86]	Ortanca filtresi	Canny kenar tespiti, haar-benzeri sınıflandırıcı, Geliştirilmiş hızlandırma algoritmasıyla	En küçük kareler çizgi uydurma	—
(Lim ve diğ., 2014) [87]	DC-çentik filtresi, Konstrast yayma, Otsu eşikleme	Bağlantı bileşeni analizi, Yapay sinir ağı ile sınıflandırma	Uzaklık temelli çerçeveler arası takip	PC / 2
(Piao ve Shin, 2017) [83]	IPM, Ufuk noktası tespiti, Otsu eşikleme	İkili bölge filtrelemesi, HoG temelli SVM	Hough dönüşümü ile pencere alanı belirleme, RANSAC ile eğri uydurma	PC / 500

2.4.2.2. Derin öğrenme temelli yöntemler

SegNet [91], segmentasyon işlevi için geliştirilen derin öğrenme temelli bir çalışmadır. Çalışma alanı olarak özellikle yol görüntüleri seçilmiştir. SegNet'in ağ modeli VGG16'dan [92] esinlenilmiştir. Kodlayıcı kısmı, VGG16'nın 13 adet konvolüsyon katmanını içermektedir. Çözücü kısmı ise, ağın ters çevrilmesiyle elde edilen konvolüsyon katmanlarıyla oluşturulmuştur. Çözücünün son katmanı softmax sınıflandırıcı [93] ile sınıflandırılarak her bir piksele ait sınıf etiketleri belirlenmektedir. SegNet yol, bina, araba, yaya, şerit işaretleri, kaldırım gibi 11 sınıfa sahiptir. Giriş görüntüleri ağa uygulanmadan önce yerel karşıtlık normalizasyonu (local contrast normalization) işlemine tabii tutulmaktadır. Alt örnekleme aşamasında tespit edilen max-pooling indisleri çözücü aşamasında üst örnekleme işlemi için kullanılmak üzere saklanmaktadır. Bu üst örnekleme yapısında diğer ağlardan farklı olarak eğitim aşamasında elde edilen filtrelerin kullanılması yerine hafızada saklanan max-pooling indisleri ile oluşturulan filtreler kullanılmaktadır. Böylece hafıza kullanımı artmasına karşı nesnelere ait sınır bilgilerinin geri elde edilmesinde başarı sağlanmıştır. Ayrıca eğitim zamanı azaltılmıştır. Konvolüsyon filtrelerinin ağırlıkları VGG16'nın eğitilmiştir ağırlıklarıdır. Bu çalışma kapsamında softmax sınıflandırıcı sadece CamVid [94] yol dataseti ile eğitilmiştir. Böylece, SegNet çıkışında piksellerin her bir sınıfa ait olasılıkları elde edilmektedir. Caffe [95] platformu üzerinde uygulanan yöntemin 360×480 çözünürlüğe sahip bir görüntüyü işleme süresi (bir defa ağın üzerinden geçiş süresi) 422,5 ms'dir. SegNet CamVid yol dataseti üzerinde ortalama %90,4 sınıf segmentasyonu başarımına sahiptir.

İşaretli veri sayısı derin öğrenme temelli yöntemlerin başarımlarında önemli bir etkendir. [96]'da önerilen derin öğrenme temelli şerit tespit sisteminde elle işaretlenmemiş veriler kullanılmıştır. Bu veriler önerilen GPS haritası ve kamera-dünya düzlemi projeksiyon bilgileri kullanılarak otomatik bir şekilde oluşturulmuştur. Önerilen yöntemde giriş görüntüsündeki her bir pikselin sınıflandırılarak şerit işaretine ait olup olmadığının bilgisinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Piksel-tabanlı çıkış ile çıkış görüntüsünden farklı modellerle şerit işaretini elde etmek mümkün olmaktadır. Yapılan denemeler sonucu 9 katmanlı konvolüsyon ve 1 katmanlı batch normalizasyonu [97] içeren bir derin öğrenme ağ modeli oluşturulmuştur. Bu ağ modelinin ilk katmanlarında oluşan gürültüyü engellemek ve eğitim işlemini

basitleştirmek için batch normalizasyonu kullanılmaktadır. Son katmanın aktivasyon fonksiyonu sigmoid seçilerek çıkışın bir olasılık haritası olarak yorumlanması sağlanmaktadır. Giriş görüntüleri 480×480 boyutlarında rastgele kırpılarak ağa verilmesi yöntemi pozisyondan bağımsız ve aynı görüntünün birden fazla kez eğitimde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Eğitim işlemi Lasagne [98] ve Theano [99] üzerinde uygulanmaktadır. Eğitiminde 18000 görüntünün kullanıldığı ağ %98,46 doğruluk oranıyla 37 ms sürede çalışmaktadır.

Segmentasyon yaklaşımını kullanan derin öğrenme temelli yöntemler sağ ve sol şerit işaretlerinin tespiti bir son işlem adımı bulundurmaları gerekmektedir. [100]'de önerilen yöntem bu soruna bir çözüm olarak bölge sağ ve sol şerit işaretlerinin ayrı ayrı tespit edilebildiği bölge tabanlı bir yöntem önermektedir. Önerilen yöntem SegNet ağını temel aldığı iki aşamalı bir yapı içermektedir. Eğitim aşamasında yeterli miktarda eğitim verisinin bulunmadığı durumlara kullanılan Öğrenme transferi (Transfer Learning) [101] yaklaşımdan faydalanılmaktadır. İlk aşamada kullanılan SegNet ağı VGG16 eğitim ağırlıkları ile ilklendirilerek giriş yol görüntülerini piksel bazlı segmentasyon ile 11 sınıfa ayrılmasını sağlayacak eğitim ağırlıkları elde edilmektedir. İkinci aşamadan ilk aşamadaki ağırlıklarla ilklendirilerek 3 farklı alanın tespiti sağlanmaktadır. Bu alanlar sol şerit çizgisi alanı, sağ şerit çizgisi alanı ve arka plandır. Şerit alanı tespit başarımının iterasyona bağlı olarak oluşturulan eğri üzerinden değerlendirilmektedir. Eğri incelendiğinde önerilen yöntemin tespit performansının başarılı olduğu görülmektedir. Önerilen yöntem herhangi bir son işleme gerek duyulmadan şerit işaretlerinin tespitine olanak sağlamaktadır. İşlem süresi hakkında metin içerisinde bilgi verilmemesine karşın iki adet SegNet ağının kullanılması nedeniyle yöntemin [91]'de belirtilen işlem süresinin iki katına sahip olacağı öngörülmektedir.

Yanal yerleştirilmiş kameralar kullanan derin öğrenme temelli şerit işareti tespit yöntemi DeepLanes [102]'de önerilmektedir. DeepLanes şerit işareti tespitini bir sınıflandırma problemi olarak ele almaktadır. Yanal kameralardan alınan görüntülerde şerit işaretlerinin araca en yakın satır pozisyonunun tespiti amaçlanmaktadır. Bu amaçla 240×360 çözünürlükte giriş görüntülerinden 317 çıkışlı bir sınıflandırma sonucu elde edilmektedir. Giriş görüntüsü 360 yüksekliğe sahip olmasına karşın görüntünün alt ve üst kısımlarında şerit işareti olmayacağı varsayılarak 316 sınıf

bulunmaktadır. Buna ek olarak 1 sınıf da alınan görüntüde şerit işaretinin olmamasını temsil etmektedir. Bu çalışmada 2 adet konvolüsyon ve 3 adet tamamen bağlı katmanları (Fully Connected Layer - FCL) barındıran bir ağ önerilmektedir. Ağın çıkışında bulunan softmax sınıflandırıcı ile şerit işaretlerinin satırsal konumu kestirilmektedir. Ağın eğitimi aşamasında 80000 gerçek dünya görüntüsü ve 40000 sanal oluşturulmuş görüntü kullanılmıştır. Şerit işaretlerinin %99 başarımla tespit edildiği ve en fazla 5 piksel hatasının olduğu belirtilmektedir. Önerilen yöntem PC ortamında 1,7 ms, Nvidia DrivePX gömülü platformunda 9,4 ms sürede çalışması ile gerçek zamanlı çalışma kapasitesine sahiptir.

[103]'te Overfeat [104] nesne tespit yönteminin [105]'te sunulan maske detektörüyle iyileştirdiği bir şerit işareti tespit yöntemi önerilmektedir. Bu yöntemde kullanılan derin öğrenme ağının 6 tahmin yapması beklenmektedir. Bu 6 tahminin 4 tanesi şerit işaretinin pozisyonlarını iki tanesi ise derinliğini temsil etmektedir. LIDAR ve GPS'ten faydalanarak oluşturulan 616 bin şerit işareti yer doğruları eğitim veri seti olarak kullanılmıştır. Bu verilerden hatalı olanlar bir izleyici tarafından düzeltilerek olası yanlış işaretlemelerin önüne geçilmiştir. Ayrıca eğitim aşamasında öteleme ve 7 farklı perspektif değişim uygulanarak eğitim aşaması güçlendirilmiştir. Önerilen çalışma 22,72 ms çalışma süresinde %100 F-1 skoruna sahiptir. Çalışma kapsamında doğru tespit kararı tespit edilen şerit işareti ile yer doğrusu arasındaki uzaklığın 50 cm'den az olması durumunda verilmektedir. Ayrıca gömülü bir platform olan Nvidia DrivePX üzerinde de test edilen sistem bir çerçeveyi 200 ms'de işleyerek gömülü platformlar için de uygun olduğunu ve hesapsal yükünün az olduğunu göstermektedir.

Şerit tespitinin bir örnek segmentasyon problemi olarak ele alan yöntem [106]'da önerilmektedir. LaneNet olarak adlandırılan ağ ikili şerit segmentasyonunun ve tek-adımlı (one-shot) örnek segmentasonu için tasarlanan kümeleme fonksiyonunun birlikte kullanılmasından faydalanmaktadır. LaneNet kodlayıcı-çözücü bir ağ yapısına sahip olan ENet'ten [107] esinlenilmiştir. Önerilen çalışmanın ağ yapısında ikili segmentasyon ve örnek segmentasyonu olmak üzere iki dal bulunmaktadır. Bu dalların kodlayıcıları aynı ancak çözücü kısımları ayrı bir şekilde eğitilmiştir. İkili segmentasyonun yer doğruları araç veya kesikli çizgi ayırt edilmeksizin kesintisiz bir doğru bölgesi şeklinde oluşturulmuştur. Örnek segmentasyonunda uzaklık ölçütü öğrenmeye dayalı tek-adımlı bir yöntem kullanılmaktadır. Örnek segmentasyonundaki

kayıp fonksiyonuyla çıkış sonucundaki aynı şerit işaretine ait değerler küçük elde edilirken, farklı şerit işaretine ait değerler yüksek elde edilmektedir. LaneNet piksel temelli bir çıkışa sahiptir. Piksel değerlerinden şerit işaretlerinin tespit edilmesi zor olacağından kuş bakışı görüntüler üzerinden polinominal çizgi uydurma gerçekleştirilmiştir. Kuş bakışı görüntülere geçiş için gerekli olan parametreler H-Net adı verilen derin öğrenme temelli ağ ile kestirilmektedir. H-Net 6 konvolüsyonel ve 2 adet tamamen bağlı katman içermektedir. Önerilen yöntem tuSimple [108] şerit veritabanında %96,4 doğruluk oranına sahiptir. LaneNet, H-Net, bütün sistemin çalışma süreleri sırasıyla 16 ms, 2,40 ms ve 20 ms olarak belirtilmiştir.

[109]'da Konvolüsyonel Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks) temelli bir yaklaşım önerilmiştir. İlk olarak şerit tespitinin görüntüden kaynaklanan bozucu etkilerden en az etkilenmesi amacıyla 5×5 Gauss kernel ile yumuşatılmaktadır. Sonrasında ise şerit işaretlerinin yapısına benzerliğinden hat-shape kernel adı verilen kernel ile görüntü konvolüsyon işlemine tutularak şerit işaretlerinin öne çıkarılması amaçlanmaktadır. Kernel sonucu oluşan görüntü RANSAC yöntemiyle çizgi bulma amacıyla değerlendirilerek şerit çizgilerinin bulunması amaçlanmaktadır. Bu nedenle bir konvolüsyonel sinir ağı modeli oluşturularak bu ağın sonucunda oluşan özellik haritası üzerinden RANSAC yöntemiyle çizgi tespitinin şerit işaretlerinin tespitinde performansı iyileştirdiği öne sürülmektedir. Konvolüsyonel sinir ağı aşırı makine öğrenmesi (Extreme Machine Learning - EML) [110] kullanılarak uygulanmıştır (ELCNN). EML sayesinde, konvolüsyonel sinir ağı karmaşık sahnelerden özelliklerin çıkarılmasında ve eğitim süresinin önemli ölçüde azaltılmasında performansı korurken daha küçük bir veri kümesi ile eğitilebilir hale gelmektedir. Konvolüsyonel sinir ağı modeli ve RANSAC yönteminin beraber kullanılması ile şerit tespitlerinin zor olacağı sahnelerde bile başarımın arttığı görülmektedir. Sistemin eğitim süresi belirtilmesine karşın bir tek görüntünün işlem hızıyla ilgili bilgi verilmemektedir. Bu çalışma da eğitim aşamasının hızının karşılaştırılan yöntemlere göre düşük olduğu belirtilmektedir. Caltech veritabanında tespit başarımı ortalama olarak %96'nın üzerindedir. Ancak değerlendirme ölçütleri belirtilmemektedir.

Ufuk noktası tarafından desteklenen uçtan-uca eğitilebilen şerit ve yol işaretlerinin beraber tespit edilebildiği bir yöntem [111]'de sunulmaktadır. Bu çalışma kapsamında farklı hava koşullarını (yağmurlu, yağmursuz, çok yağmurlu ve gece) içeren 20 bin

görüntüye sahip bir veritabanı oluşturulmuştur. Veritabanı üzerinde şerit işaretleri ve ufuk noktası elle işaretlenmiştir. VPGNet adı verilen ağ modeli [103] ve [112]'den esinlenerek oluşturulmuştur. Giriş katmanı ızgara-seviyesinde (grid-level) işaretlenmiştir. Trafik işaretleri ve araçlar tek bir kutu içerisinde tespit edilebilirken şerit işaretlerini bir kutu ile tespit etmek mümkün değildir. Bu yüzden ızgaraların en yakın ve uygun sınıfa ait hücrelerinin birleştirilmesi ile şerit işaretlerinin tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Şerit sınıfları nokta örnekleme, kümeleme ve şerit regresyonu ile incelenmektedir. Şerit işaretlerinin tespit edilmesini sağlayacak aday noktalar bölgelerdeki yerel en yüksek olasılık değerlerinin örneklenmesiyle elde edilmektedir. Sonrasında IPM uygulanmış aday noktalar yoğunluk temelli olarak kümelenmektedir. Son adım olarak, her şerit kümesinin en uzak örnek noktası ufuk noktasına yakınsa, bir polinom modelini tahmin etmek için onu kümeye dahil etmektedir. VPGNet 6 paylaşılan konvolüsyonel katman ve her bir işleve ait 2 adet konvolüsyonel katman ile 8 katmanlı bir ağ yapısına sahiptir. Önerilen yöntem Nvidia GTX üzerinde bir çerçeveyi 50 ms'de işlemektedir. Şerit tespit performansı F-1 skoruna göre Caltech veritabanı üzerinde 0,87'den kendi oluşturdukları veritabanı üzerinde ise 0,74'den yüksektir.

Yakın zamanlarda yayınlanan derin öğrenme temelli şerit tespit yöntemlerinin karşılaştırılması Tablo 2.3'de verilmektedir. Bu tabloda, ön işlem, özellik çıkartımı ve son işlem aşamalarında kullanılan yöntemler, problemin çözümünden kullanılan yaklaşım, uygulama platformu ve işlem hızları hakkında bilgiler verilmektedir.

Tablo 2.3. Yakın zamanda önerilen derin öğrenme temelli şerit tespit yöntemlerinin karşılaştırılması

Yöntem	Ön İşlem	Özellik Çıkartımı	Son İşlem	Yaklaşım	Platform / Hız (fps)
(Huval ve diğ., 2015) [103]	8 katmanlı ağ (5 konv. ve 3 FCL)		—	Nesne tespiti	Caffe / 22,72
(Gurghian ve diğ., 2016) [102]	5 katmanlı ağ (3 konv., 2 FCL), Softmax sınıflandırıcı		—	Sınıflandırma	Caffe / 1,70
(Badrinarayanan ve diğ., 2017) [91]	Yerel karşıtlık normalizasyonu	13 konv. (VGG16) ve 13 dekonv. Katmanı, Softmax sınıflandırıcı	—	Segmentasyon	Caffe / 423,72
(Behrendt ve diğ., 2017) [96]	Gaussian gürültü, Işıklılık değişimi	9 konvolüsyon ve 1 batch normalizasyon katmanı	—	Segmentasyon	Lasagne ve Theano / 37,03
(Kim ve Park, 2017) [100]	İki adet SegNet ağı 2 × (13 konv. ve dekonv. katmanı Softmax sınıflandırıcı)		—	Segmentasyon	Caffe / 847,45
(Lee ve diğ., 2017) [111]	Izgara-seviyeli maske, 8 katmanlı konvolüsyonel ağ		IPM, Kümeleme, Polinom uydurma	Nesne tespiti	Caffe / 50
(Kim ve diğ., 2017) [109]	2-boyutlu Gaussian filtresi	ELCNN(3 konv., 2 FCL, EML)	RANSAC	Segmentasyon	— / —
(Neven ve diğ., 2018) [106]	LaneNet (3 konv. ve 4 deconv. Katmanı),		Kümeleme, H-Net, Derin öğrenme temelli polinom uydurma	Segmentasyon	— / 20

3. TEZ KAPSAMINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN ŞERİT TESPİT VE ŞERİTTEN AYRILMA UYARI SİSTEMİ ÇALIŞMALARI

Bu bölümde tez çalışması kapsamında geliştirilen gömülü platformlar için uygun şerit işareti tespit yöntemleri detaylı bir şekilde ele alınacaktır. Önerilen yöntemlerde temel olarak düşük hesapsal yükte yüksek şerit tespit performansının elde edilmesi amaçlanmıştır.

3.1. Şerit İşareti Tespit Performanslarının Değerlendirilmesi

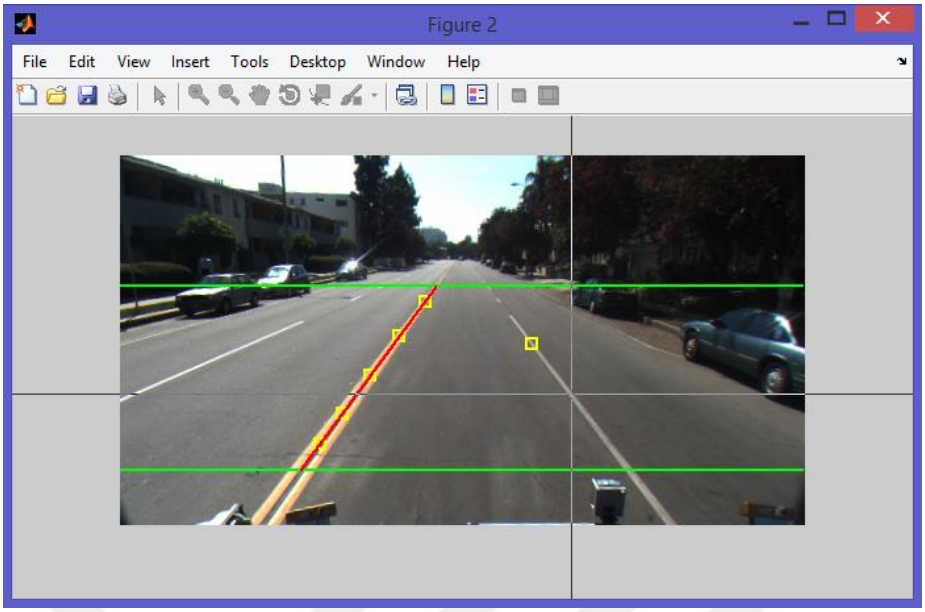
Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen şerit tespit sistemlerinin performans değerlendirmesi için Caltech ve (Borkar ve diğ., 2012)'nin veritabanları kullanılmıştır. Caltech veritabanı 1225 çerçeveye sahipken (Borkar ve diğ., 2012)'nin veritabanı 2800 çerçeveye sahiptir. Böylece yöntemler zorlu giriş görüntüleri içeren toplam 4025 görüntü üzerinde karşılaştırılmıştır. Caltech veritabanı Cordova1, Cordova2, Washington1 ve Washington2 görüntü setlerinden oluşmaktadır. Cordova1 şerit işaretlerinin açıkça görüldüğü en az olumsuz etkiye sahip görüntü dizisidir. Cordova2 dizisi ışıklılık nedeniyle yol alanında aşırı parlak bölgelere sahiptir. Bu durum şerit işaretlerinin en önemli özelliği olan DLD ışıklılık geçişini etkilemektedir. Washington1 dizisinde yoğun olarak görülen gölgeler, şerit işaretlerinin deforme olmasına ve şerit işaretlerinin üzerindeki piksel değerlerinin azalmasına neden olur. Washington2 dizisinde yol yüzeyi işaretleri benzer yazılar içermektedir. Genel olarak, yol yüzey işaretleri şerit işaretleriyle aynı renge sahiptir. Washington2 dizisindeki metinler gibi yol yüzeyindeki bazı işaretler şerit işareti tespit performansını etkileyebilir. Çünkü metnin karakterleri şerit işaretleriyle aynı güçlü kenarları olan ince şekle sahiptir. (Borkar ve diğ., 2012)'nin veritabanı S1C1 ve S2C1 görüntü setinden oluşmaktadır. S1C1 dizisi şerit işaretlerine benzeyen yol bozulmalarına sahiptir ve S2C1 dizisi araç şerit işaretlerinin yakınında gölgeler ve yol yüzeyi işaretlerine sahiptir. Bu olumsuz etkiler şerit işaretlerinin tespit edilmesini zorlaştırmaktadır.

Şerit işareti tespit başarımını değerlendirmek için literatürde yaygın kabul görmüş genel bir yöntem bulunmamaktadır. Bazı çalışmalarda tespit başarımı öznel olarak görsel bir şekilde değerlendirilmekte, bazı çalışmalarda ise çeşitli nesnel ölçütler kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise Eşitlik (3.1)'de verilen ortalama karesel hata (Mean Square Error -MSE) ölçütü kullanılmıştır. MSE değeri tespit edilen şerit çizgisi noktası (X_{tespit}) ile yatay eksende tespit edilen şerit çizgisi noktasına karşılık gelen yer doğrusu (ground truth) noktası ($X_{\text{yer doğrusu}}$) arasında hesaplanmaktadır. Bu eşitlikteki *N* MSE hesaplamasının yapılacağı nokta sayısını belirtmektedir.

$$\text{MSE}= \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(X_{\text{tespit}}(i)- X_{\text{yer doğrusu}}(i))^2 \tag{3.1}$$

Bir şerit işaretinin tespit başarımını değerlendirmek için öncelikle o şerit işaretine ait yer doğrusu bilgilerinin olması gerekmektedir. Otomatik yer doğruları oluşturmak amacıyla [68]'de zaman dilimli (time sliced) görüntüler üzerinde kübik aradeğerleme kullanana bir teknik önerilmektedir. Bu teknik şerit işaretlerinin açıkça belli olduğu ve uzun süreli veri dizilerinde iyi çalışmaktadır. Ancak aradeğerleme işlemi işaretlenmemiş yol çerçevelerinde hataya neden olmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında Caltech veritabanı için yer doğruları el ile işaretleme yöntemiyle oluşturulurken, (Borkar ve diğ., 2012)'nin veritabanına ait yer doğruları kendileri tarafından sağlanmaktadır. Her bir görüntü için karşılaştırma yapılacak alan üzerinde şerit işaretlerinin başlangıç, bitiş noktaları ve arada bulunan birkaç nokta daha işaretlenerek en az aradeğerleme yöntemiyle şerit işaretlerine ilişkin yer doğruları oluşturulmuştur. Şekil 3.1'de örnek bir yer doğruları işaretleme işlemi gösterilmektedir.



b)

Şekil 3.1. Elle işaretleme yöntemiyle yer doğrusu oluşturma

Bu yer doğruları daha sonra karşılaştırma işleminde kullanılmak üzere XML (Extensible Markup Language) dosya formatında kaydedilmiştir. Şekil 3.1'de örnek bir veritabanı için oluşturulan XML dosya yapısı gösterilmektedir.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<GroundTruth>
   <Author>Ayhan KUCUKMANISA</Author>
   <FrameCount>250</FrameCount>
   <Annotation>
      <Fr ID="1">
         <Left>
            <X>298 297 296 296 295 294 293 293 292 291 291 290 289 288
            <Y>200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213
         </Left>
         <Right>
            <X>336 337 338 339 339 340 341 342 343 344 344 345 346 347
            <Y>200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213
         </Right>
      </Fr>
      <Fr ID="2">
         <Left>
            <X>297 296 296 295 294 294 293 292 292 291 290 289 289 288
            <Y>200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213
         </Left>
         <Right>
            <X>341 342 343 343 344 345 346 346 347 348 348 349 350 351
            <Y>200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213
         </Right>
      </Fr>
      <Fr ID="3">
         <Left>
            <X>300 299 298 298 297 296 296 295 294 294 293 292 291 291
            <Y>200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213
         </Left>
         <Right>
            <X>341 342 343 344 344 345 346 346 347 348 349 349 350 351
            <Y>200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213
         </Right>
      </Fr>
```

Şekil 3.2. Yer doğrusu XML dosya yapısı

Kaydetme formatı oluşturulan yer doğrularının çerçeve numarası ve sağ ve/veya sol şeritleri olmasına göre bu şerit noktalarının yatay ve dikey konum bilgilerinden oluşmaktadır.

Performansı değerlendirmelerinde genel olarak doğru pozitif oranı (true positive rate - TPR) , yanlış pozitif oranı (false pozitif rate - FPR) ve doğruluk (accuracy - ACC) ölçütü kullanılarak kullanılmaktadır. Bu ölçütler sırasıyla Eşitlik (3.2), Eşitlik (3.3) ve Eşitlik (3.4)'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$TPR = \frac{TP}{(TP+FN)} \tag{3.2}$$

$$FPR = \frac{FP}{(FP+TN)} \tag{3.3}$$

$$ACC = \frac{TP+TN}{(TP+FN+FP+TN)} \tag{3.4}$$

TP (True Positive) bir şerit işareti için yer doğrusu varken yöntemin başarılı bir şekilde şerit tespit etmesi, FP (False Positive) görüntü üzerinde bir şerit işareti mevcut olmadığı halde yöntemin şerit işareti tespit etmesi, TN (True Negative) görüntü üzerinde bir şerit işareti bulunmadığı durumda yönteminde şerit işareti tespit etmemesi, FN (False Negative) ise şerit işareti mevcut olduğu halde yöntemin şerit işaretini tespit edememesi durumudur.

Bu çalışmada bir şerit işaretinin doğru bir şekilde tespit edilmesi kararı, tespit edilen şerit işareti ile yer doğrusu arasındaki uzaklığın ortalama otoyol şerit işareti genişliğinden daha az olması durumunda verilmektedir.

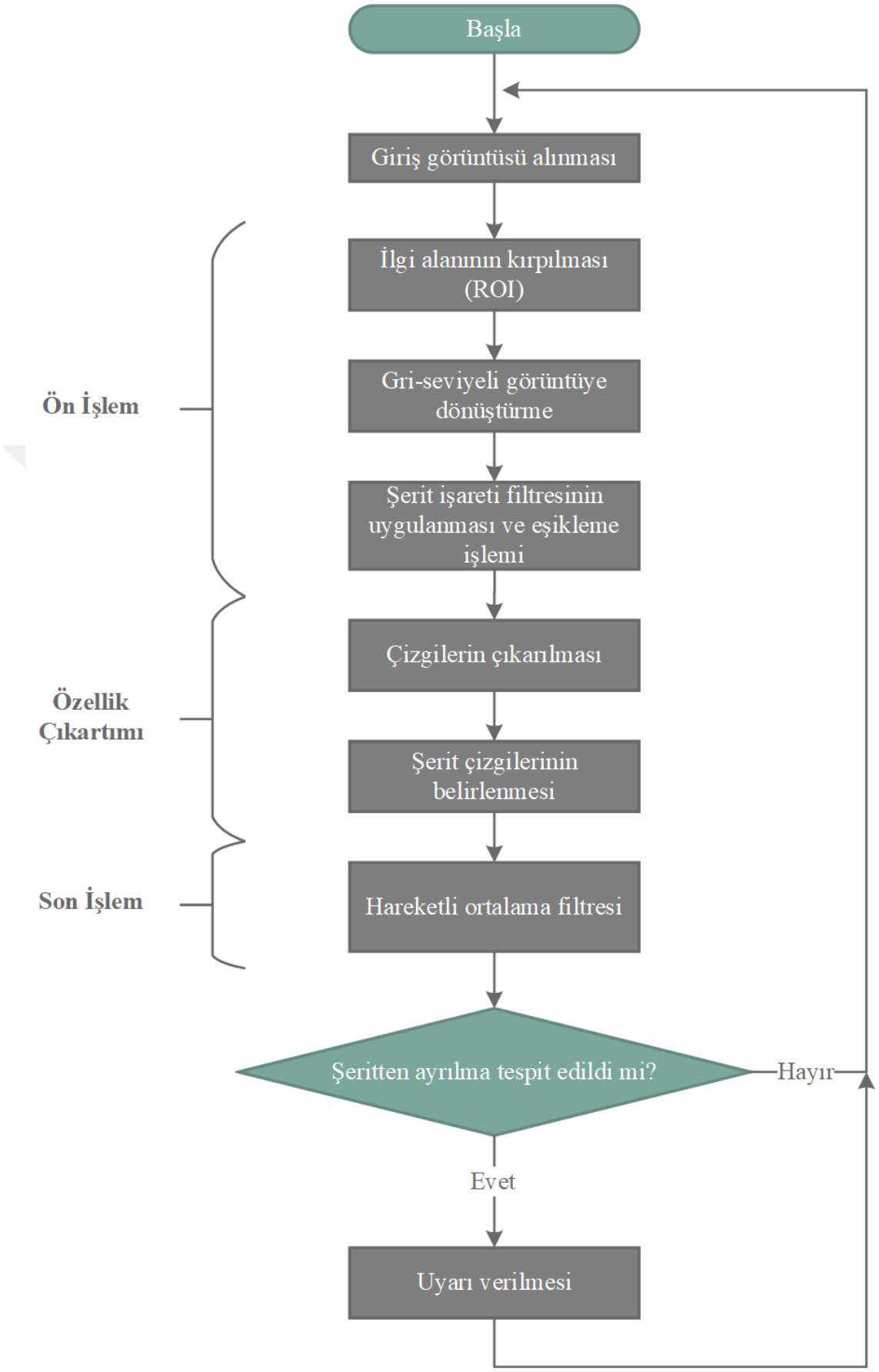
Önerilen yöntemlerin performanslarını değerlendirmek amacıyla literatürde yakın zamanda önerilen (Borkar ve diğ., 2012), (Espinoza ve Torriti, 2013), (Küçükyıldız ve Ocak, 2014), (Gaikwad ve Lokhande, 2015) ve (Mammeri ve diğ., 2016) yöntemleri kullanılmıştır. MATLAB platformunda uygulanmıştır. Bu yöntemler literatürdeki farklı yöntemleri temsil eder niteliktedir. (Borkar ve diğ., 2012) yöntemi Hough dönüşümünden faydalanan ve çerçeveler arası ilişkiyi kullanan bir yöntemdir. (Espinoza ve Torriti, 2013) karma bir yöntem olup şerit işareti tespit işlemleri ön işlem aşamasında tespit edilen yol alanı üzerinde gerçekleştirilmektedir. (Küçükyıldız ve

Ocak, 2014) tarafından önerilen şerit işareti tespit algoritması DSP üzerinde uygulanmıştır. Bu yönüyle literatürde bulunan az sayıda yöntemden biridir. (Gaikwad ve Lokhande, 2015) şerit işareti ön işlem filtresi ile şerit işaretlerini ön plana çıkarmaktadır. Alan temelli yöntemlerden olan (Mammeri ve diğ., 2016) bu tez çalışması kapsamında da faydalanılan MSER yaklaşımını bir ön işlem olarak kullanmaktadır. Ayrıca (Borkar ve diğ., 2012) çalışması, kullandığı veri setini ve yer doğrularını paylaşarak yöntemlerin nicel olarak performanslarının değerlendirilmelerine olanak sağlamaktadır.

(Borkar ve diğ., 2012), (Espinoza ve Torriti, 2013), (Küçükyıldız ve Ocak, 2014), (Gaikwad ve Lokhande, 2015) ve (Mammeri ve diğ., 2016) MATLAB platformunda aynı optimizasyon seviyesinde uygulanmıştır. (Espinoza ve Torriti, 2013) yöntemlerinin MATLAB uygulamasını paylaşmıştır. (Borkar ve diğ., 2012) ve (Küçükyıldız ve Ocak, 2014) yöntemlerinin uygulanma aşamasında yazarların görüşleri alınarak gerçekleme yapılmıştır.

3.2. Hough Dönüşümü Temelli Çok Düşük Karmaşıklığa Sahip Gömülü Şeritten Ayrılma Uyarı Sistemi

Bu çalışmada gerçekleştirilen şeritten ayrılma tespit sistemi şerit çizgilerinin tespiti için Hough dönüşümü temelli bir yöntem kullanmaktadır. Şerit çizgilerinin konumları uyarlamalı bir zamansal yapı ile değerlendirilmektedir. Aracın şeritten ayrılması durumu şerit çizgilerinin konumunun yorumlanmasıyla tespit edilmektedir. Yol ve hava şartları nedeniyle olası kısa süreli çizgi tespit edilememesi durumunda şerit çizgilerinin yeri önceki çerçevelerdeki şerit bilgisi kullanılarak kestirilmektedir. Bu çalışmada geliştirilen yöntem gömülü bir platform üzerinde gerçek zamanlı olarak da çalıştırılmıştır. Önerilen yöntemin aşamaları ve akış diyagramı Şekil 3.3'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Önerilen yöntemin akış diyagramı

3.2.1. Şerit işaretlerinin tespiti

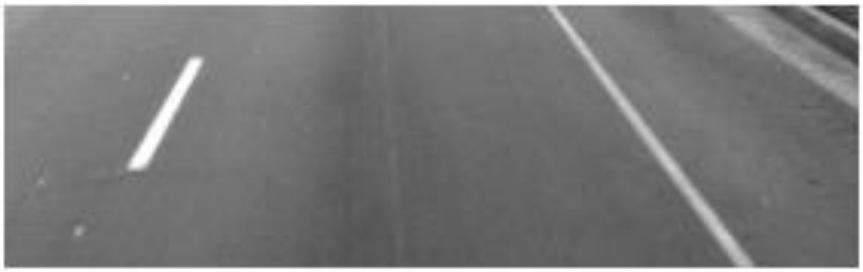
3.2.1.1. Ön işlem

Şeritlerin belirlenebilmesi için öncelikle şerit işaretlerinin belirlenebilmesi gerekmektedir. Şerit işaretlerinin yapıları yoldaki yansımalar, işaretlerin zamanla aşınması, gölge ve hava şartları gibi nedenlerden bozulabilmektedir. Bu yüzden şerit işaretlerinin bu gibi etkilerden daha az etkilenmesini sağlamak amacıyla [113] çalışmasında kullanılan Eşitlik (3.5)'de verilen şerit filtresi kullanılmaktadır. Bu denklemdeki T şerit çizgisinin yatay olarak piksel cinsinden kalınlığını, x giriş imgesini, y çıkış imgesini, i ise piksel pozisyonunu göstermektedir.

$$y_i = 2x_i - (x_{i-T} + x_{i+T}) - | x_{i-T} - x_{i+T} | \quad (3.5)$$

Şerit filtresinin amacı şerit işaretlerinin bir özelliği olan DLD ışıklılık geçisini tespit etmektedir. Bu amaçla merkez pikselin değeri ile yatay olarak sağ ve sol tarafında T kadar uzaklığında olan piksel değerlerinin farkı değerlendirilmektedir. Bu farkın büyük olması, ilgili merkez pikselin bir şerit işaretine ait olabileceğini göstermektedir. T değeri bu çalışma kapsamında kullanılan görüntülerde yapılan ölçümlerin ortalaması olacak şekilde 16 olarak belirlenmiştir . Yapılan çalışmalar sonucu şeritten ayrılma tespit sisteminde araç içinde bulunan kameradan alınan görüntünün bütün olarak incelenmesi yerine, aracın doğrudan ön bölgesi sınırları içinde kalan ve sadece yol bilgisini içeren belirli bir kısmının incelenmesinin başarımı etkilemediği buna karşın hesapsal yükü azalttığı görülmüştür.

Bu doğrultuda şerit filtresi kamera alınan görüntünün bütününe değil, kamera yerleşimine göre önceden belirlenen bir ilgi alanına uygulanmaktadır. Şekil 3.4'de örnek bir yol görüntüsünün ilgi alanı ve şerit filtresi çıkışı gösterilmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.4. Şerit işaretleri filtresi a) Orijinal görüntü b) Şerit filtresi sonucu c) Önerilen şerit filtresi çıkışı

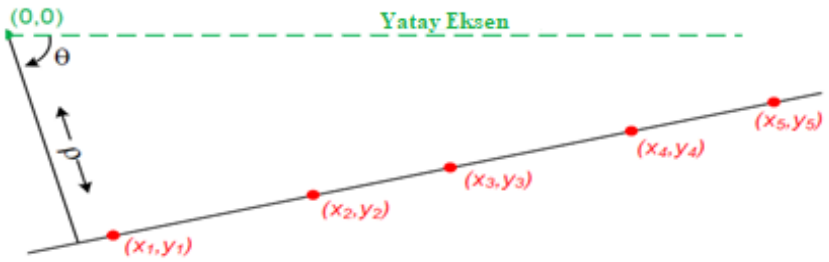
[113]'deki yöntemde bu işlem sonrasında Hough dönüşümü kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında ise bu süzgecin çıkışı sabit bir eşik değeri ile karşılaştırılarak ikili (binary) bir şerit imgesi elde edilerek eşiklenmiş görüntüye Hough dönüşümü uygulanmaktadır. Sabit eşik değeri çalışma kapsamında yapılan denemeler sonucu en iyi sonucu verecek şekilde 60 olarak belirlenmiştir . Şekil 3.4(c)'de önerilen şerit işareti filtresinin çıkışı gösterilmektedir.

3.2.1.2. Çizgilerinin çıkarılması

Düz bir çizgi Eşitlik (3.6)'daki gibi ifade edilebilmektedir.

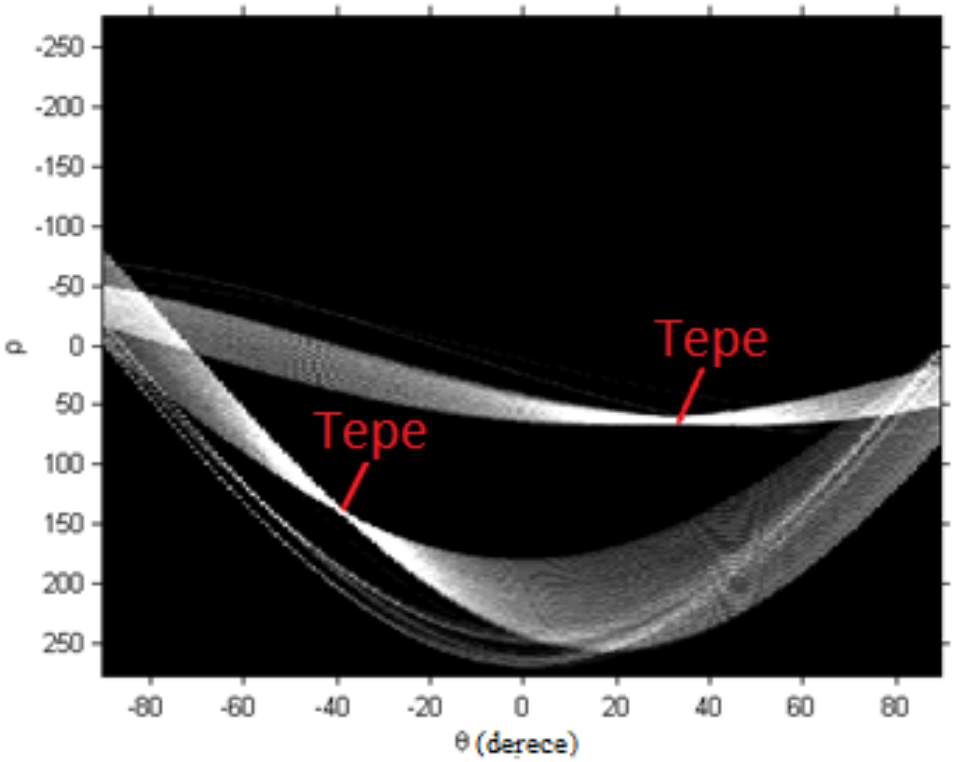
$$p=x_i\cos\theta + y_i\sin\theta \tag{3.6}$$

Şekil 3.5'te gösterildiği gibi (x_i, y_i) değeri sıfır olmayan pikselleri, p çizgiyle başlangıç noktası arası dik uzaklığı (sol üst), θ ise dik uzaklık ile başlangıç doğrusu arası açı değerini temsil etmektedir.



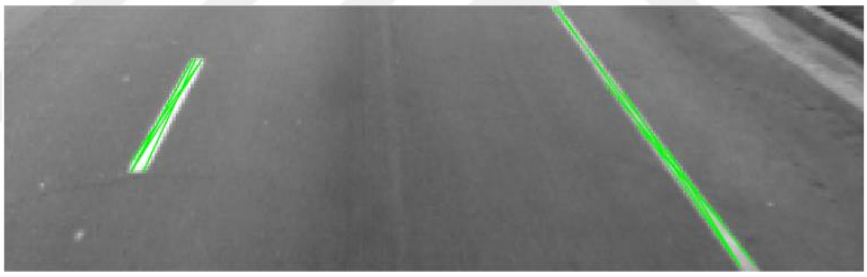
Şekil 3.5. Örnek bir çizgiye ait noktalar [68]

Önerilen yöntemde elde edilen siyah beyaz görüntülerde çizgiler belirgin hale gelmiştir. Şeritlerin tespit edilebilmesi için şerit çizgilerin başlangıç noktası, bitiş noktası ve normalle yaptıkları açı değerlerinin bulunması gerekmektedir. Bunun için bu çalışmada popüler çizgi bulma yaklaşımlardan biri olan Hough dönüşümü kullanılmıştır. Hough dönüşümü Eşitlik (3.6)'da belirtilen p ve θ değerlerini bulmayı amaçlamaktadır. Şekil 3.6'da Şekil 3.4'te gösterilen örnek görüntünün Hough dönüşüm uzayı gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Örnek bir Hough uzayı

Oluşturulan Hough dönüşüm uzayında en yüksek değere sahip olan noktalar incelenerek görüntü üzerindeki çizgiler bulunmaktadır. Çizgilerin tespiti aşamasında θ uzayı ± 90º aralığında taranmaktadır. Tez çalışmasının bu aşamasında önerilen yöntemde θ uzayının çözünürlüğü "1°" olarak belirlenmiştir. Şekil 3.6 incelendiğinde iki adet tepe noktası görülmektedir. Bu tepe noktalarının p ve θ değerleri görüntü üzerinde tespit edilen çizgileri göstermektedir. Bu değerler kullanılarak çizgiler elde edilmektedir. Şekil 3.7'de Şekil 3.6'da gösterilen Hough uzayı ile bulunan çizgiler gösterilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi Hough dönüşümü ile şerit çizgileri üzerinde bulunan doğruların tespiti sağlanabilmiştir. Hough dönüşümünde θ parametresinin daha düşük değerleri ile tespit edilen çizgilerin konumlarını iyileştirmek mümkündür. Tez kapsamında yapılan çalışmalarda θ uzayının çözünürlüğü için 1'den düşük değerler de denenmiştir. Düşük değerlerin tespit performansını kayda değer ölçüde iyileştirmediği ve hesapsak yükü arttırdığı görülmüştür.



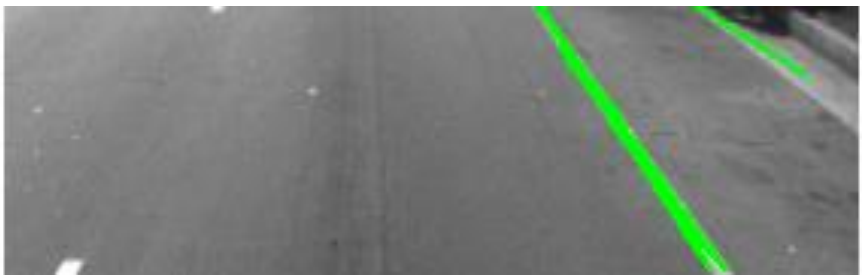
Şekil 3.7. Hough Dönüşümü sonrası elde edilen çizgiler

3.2.1.3. Şerit çizgilerinin belirlenmesi

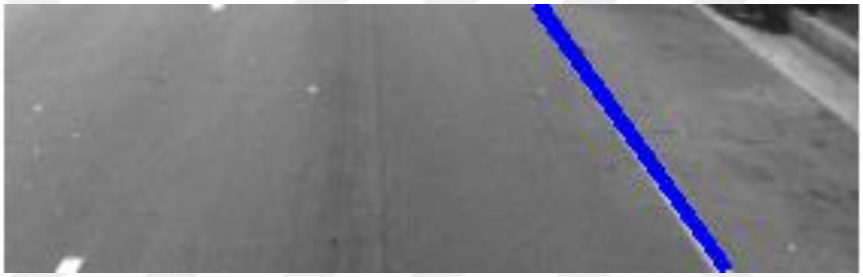
Hough uzayı görüntü üzerinde bulunan bütün çizgilerin elde edilmesini sağlamaktadır. Bundan sonraki aşamada bu çizgiler yorumlanarak şerit çizgilerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında ilk olarak çizgiler yatay eksenle yaptıkları açı değerlerine göre sağ ve sol çizgiler olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Sağ ve sol çizgilerin ortanca değeri bulunarak çizgi öbeklerini temsil edecek tek bir çizgi (şerit çizgisi) elde edilmektedir. Ortanca hesabı çizgilerin orta noktaları üzerinden yapılmaktadır. Ayrıca ortanca hesabına sokulacak çizgilerin önceki çerçevede tespit edilen şerit çizgisinin orta noktasına önceden belirlenmiş belirli bir miktar uzaklıkta olması gerekmektedir. Aksi

durumda bu çizgi bozucu olarak işaretlenip ortanca hesabına katılmamaktadır. Böylelikle zamansal ilişki kullanımı ile olası bozucular (outlier) engellenmekte olup şeritlerin doğru bir şekilde tespit edilmesi sağlanmaktadır. Şekil 3.8'de örnek Hough çizgileri ve eleme işlemi sonrası belirlenen şerit çizgisi gösterilmektedir.



(a)



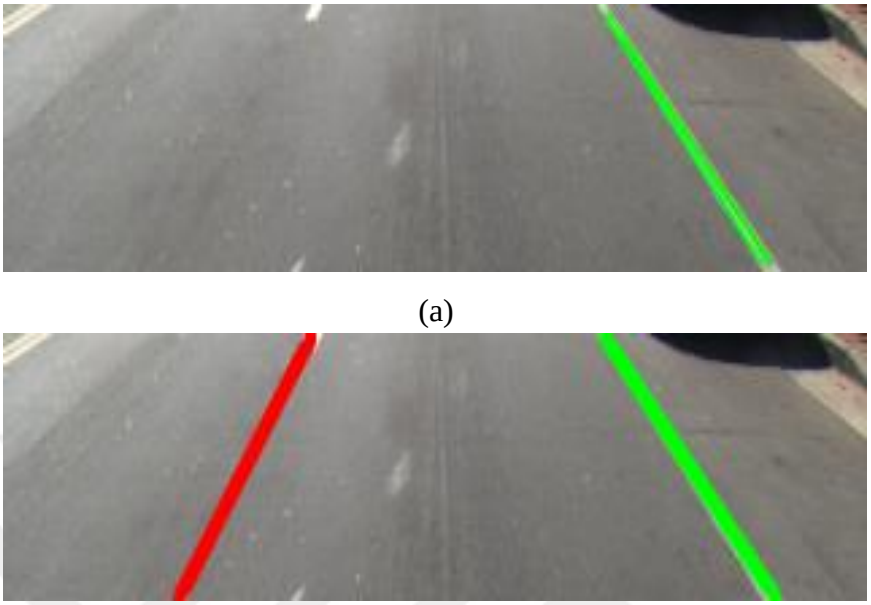
(b)

Şekil 3.8. Hough çizgilerinin elenmesi a) Hough çizgileri b) Zamansal ilişki kullanımı sonrası tespit edilen şerit çizgileri

3.2.1.4. Son işlem

Şerit çizgilerinin bulunamadığı çerçevelerde şerit çizgilerinin konumlarının çerçeveler arası zamansal ilişkisi incelenmektedir. Bu zamansal ilişki doğrultusunda çizgilerin tespit edilemediği çerçevelerde daha önceki çerçevelerde tespit edilen çizgi konumlarından şerit çizgileri kestirilmektedir. Zamansal ilişki için hareketli ortalama filtresi (moving average filter) kullanılmaktadır. Bu filtre sürekli belirli sayıdaki örneğin ortalamasını almaktadır. Ortalama hesabında her yeni gelen değer eklenirken en eski değer çıkartılmaktadır. Her yeni gelen değer ile birlikte ortalama güncellenmektedir. Tezin bu çalışması kapsamında hareketli ortalama filtresi için tespit edilen şerit işaretlerinin son 5 konumu kullanılmaktadır. Ortalama filtre hesabının performansını iyileştirmek amacıyla tespit edilen çizgilerin başlangıç ve bitiş noktalarının belirlenen ROI boyutlarına bağlı olarak izdüşümleri elde edilmektedir. Elde edilen yeni şerit işaretlerinin yatay eksendeki konumları ortalama

filtresine sokularak nihai şerit işareti konumları tespit edilmektedir. Şekil 3.9'da şerit çizgisi bulunamayan örnek bir görüntüde çizgilerinin kestirilmesi gösterilmektedir.



(a)

(b)

Şekil 3.9. Şerit çizgilerinin çıkartımı

3.2.2. Şeritten ayrılma tespiti

Araçlar seyir halindeyken bir şeritten başka bir şeride geçebilmektedir. Bu şerit değişimi sürücünün bilgisinde olabilir ya da sürücülerin dikkatsizliği veya uykusuzluğu sebebiyle olabilir. Bu çalışma kapsamında öncelikle bütün şerit değişimlerinin tespit edilmesi hedeflenmiştir. İstemsiz şerit değişimleri tipik olarak daha uzun sürede gerçekleşir. Geliştirilen yöntemdeki eşik değerlerinin uygun şekilde ayarlanması ile sadece istemsiz şerit değişimlerinin tespiti de mümkündür.

Şerit değişimi için temel olarak tespit edilen şerit çizgilerinin görüntüde önceden belirlenmiş bir alan içerisine girip girmediği kontrol edilmektedir. Bu alan Şekil 3.10'da gösterildiği gibi tipik olarak incelenen ROI'nin ortasındadır.



Şekil 3.10. Şerit değişikliği tespiti

Tespit edilen şeritlerin konumları belirlenen bölgeler üzerinden yorumlanır. Şeritler Normal Şerit Bölgelerindeyse uyarı oluşturulmazken, sağ ya da sol şeridin konumu Şerit Değiştirme Bölgesindeyse şerit değiştirilme tespit edilir. Şekil 3.11'de şerit değişikliğinin tespit edilmesi durumu gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Şeritten ayrılma tespiti

3.2.3. Deneysel sonuçlar

Geliştirilen şeritten ayrılma uyarı sistemi PandaBoard ES Rev-B1 üzerinde gerçeklenmiştir. Bu geliştirme kartı 1GHz hızında çalışan çift çekirdekli ARM Cortex-A9 mimarisinde bir işlemciye sahiptir. Görüntü işleme yöntemlerinin uygulanması için OpenCV kütüphanesinden yararlanılmıştır.

Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de önerilen yöntem ile (Borkar ve diğ., 2012), (Espinoza ve Torriti, 2013), (Küçükyıldız ve Ocak, 2014), (Gaikwad ve Lokhande, 2015), (Mammeri ve diğ., 2016)'nin önerdiği yöntemlerin Caltech ve Borkar [68] veritabanları üzerinde nicel (quantitative) performans değerlendirmeleri gösterilmektedir. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 sol şerit işareti tespit, sağ şerit işareti tespit, sol ve sağ şerit işareti tespit ortalaması ve dizilerde bulunan görüntü sayılarıyla orantılanarak elde edilen ortalama doğruluk (ACC) değerlerini göstermektedir.

Tablo 3.1. Şerit işareti tespit yöntemlerinin Caltech [5] veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC)

	(Borkar ve diğ., 2012)			(Espinoza ve Torriti, 2013)			(Küçükyıldız ve Ocak, 2014)			(Gaikwad ve Lokhande, 2015)			(Mammeri vd., 2016)			Önerilen Yöntem		
Sahne	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.
C1	0,77	0,68	0,72	0,63	0,66	0,64	0,83	**0,91**	**0,87**	0,68	0,36	0,52	0,88	0,70	0,79	**0,84**	0,87	0,86
C2	0,62	**0,51**	**0,57**	0,58	0,42	0,50	0,53	0,25	0,39	0,06	0,14	0,10	**0,78**	0,33	0,56	0,75	0,23	0,49
W1	0,49	0,67	0,58	0,62	0,36	0,49	0,76	0,79	0,78	0,67	0,11	0,39	0,27	0,26	0,27	**0,89**	**0,80**	**0,85**
W2	0,79	0,79	0,79	0,47	0,59	0,53	0,85	0,88	0,87	0,83	0,27	0,55	0,77	0,59	0,68	**0,85**	**0,89**	**0,87**
Ort.	0,65	0,64	0,64	0,58	0,49	0,53	0,71	0,65	0,68	0,50	0,20	0,35	0,66	0,44	0,55	**0,83**	**0,70**	**0,77**

Tablo 3.2. Şerit işareti tespit yöntemlerinin (Borkar ve diğ., 2012) veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC)

	(Borkar ve diğ., 2012)			(Espinoza ve Torriti, 2013)			(Küçükyıldız ve Ocak, 2014)			(Gaikwad ve Lokhande, 2015)			(Mammeri vd., 2016)			Önerilen Yöntem		
Sahne	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.
S1C1	**0,91**	0,58	0,75	0,78	0,44	0,61	0,74	**0,78**	**0,76**	**0,87**	0,55	0,71	0,66	0,70	0,68	0,67	0,41	0,54
S2C1	**0,62**	**0,51**	**0,57**	0,25	0,16	0,20	0,40	**0,51**	0,46	0,29	0,29	0,29	0,30	0,29	0,30	0,26	0,39	0,33
Ort.	**0,76**	0,55	**0,65**	0,51	0,30	0,41	0,57	**0,65**	0,61	0,58	0,42	0,50	0,48	0,49	0,49	0,47	0,4	0,43

Tablo 3.3'de ise geliştirilen yöntemin şeritten ayrılma tespit başarım oranları gösterilmektedir. Başarım oranları tespiti için bir otomobil ve bir minibüsün ön camına bağlanan kamera ile alınan görüntüler üzerinde çalışılmıştır. Bu sonuçlardan görüleceği üzere sistemin doğru tespit oranı %90 civarındadır. Yanlış tespitlerin temel nedeni ise kötü durumdaki yol çizgilerinin tespit edilememesi, kamera yerleşimi nedeniyle incelenen bölgenin uygun seçilmemesi veya kameradan alınan görüntüye aşırı ışık etkisinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.3. Şeritten ayrılma tespit başarım oranları

Araç	Sahne	TP	FP	FN	TPR	P
OTOMOBİL	1	8	-	2	0,8	1
	2	17	6	-	1	0,739
	3	20	-	1	0,952	1
	4	21	-	4	0,84	1
MİNİBÜS	5	7	3	2	0,777	0,7
	6	21	7	-	1	0,75
	7	16	-	10	0,615	1
	8	11	6	4	0,733	0,647
	9	41	4	6	0,872	0,911

*TP = True Positive, FP = False Positive, FN = False Negative, TPR = True Positive Rate, P = Precision

Tablo 3.4'te, Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de performans karşılaştırması verilen yöntemlerin ortalama çalışma süreleri verilmektedir. Bu çalışma süreleri önerilen yöntem ve diğer yöntemlerin benzer optimizasyon seviyesinde MATLAB'da kodlanarak 2,3 GHz Quad core işlemciye ve 16GB RAM'e sahip bir bilgisayar üzerinde koşturulması ile elde edilmiştir. Tablo 3.4'te verilen çalışma süreleri dikkate alındığında, önerilen yöntem hem yüksek performansı hem de en düşük hesapsal yüke sahip olması ile diğer yöntemlere göre şerit tespitinde öne çıkmaktadır.

Tablo 3.4. Şerit işareti tespit yöntemlerinin PC üzerinde bir çerçeve için ortalama çalışma süreleri

	(Borkar ve diğ., 2012)	(Espinoza ve Torriti, 2013)	(Küçükyıldız ve Ocak, 2014)	(Gaikwad ve Lokhande, 2015)	(Mammeri vd., 2016)	Önerilen Yöntem
Sahne	8520 ms	2520 ms	169 ms	180 ms	50 ms	**12 ms**

3.2.4. Sonuçlar

Bu bölümde açıklanan yöntem ile gerçek zamanlı gömülü sistem üzerinde çalışabilen bir şeritten ayrılma uyarı sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem kameradan alınan görüntülerden şerit çizgilerini elde etmektedir. Elde edilen şerit çizgileri yorumlanarak aracın şeritten ayrılması tespit edilmektedir. Kameradan alınan görüntüler üzerinden çalışan sistem gömülü platform üzerinde 25 ms'de bir çerçeveyi işleyerek gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır.

Bu çalışma ile şeritten ayrılma tespit sisteminde araç içinde bulunan kameradan alınan görüntünün bütün olarak incelenmesi yerine, sadece yol bilgisini içeren belirli bir kısmının incelenmesinin sistem başarımına ve çalışma performansına etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucu belirli bir alan üzerinde çalışmanın şerit tespiti

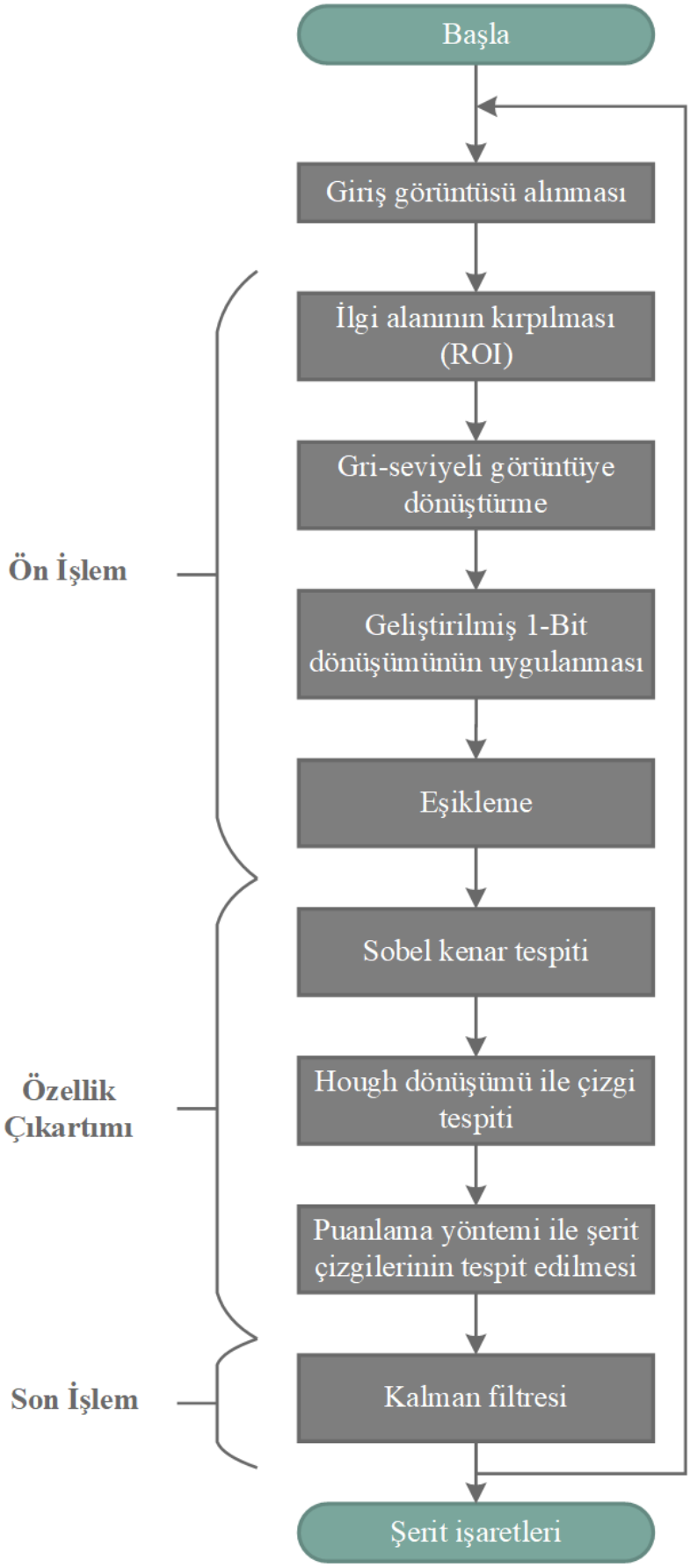
başarımını etkilemediği buna karşın hesapsal yükü azalttığı tespit edilmiştir. Sınırlı işlemci gücü ve sınırlı bellek kapasitesine sahip gömülü sistemler için etkin bir yaklaşım olabileceği görülmüştür.

3.3. Geliştirilmiş 1-Bit Dönüşümü Temelli Ön İşlem Kullanarak Gerçek Zamanlı Şerit İşaret Tespiti

Tez kapsamında önerilen bir diğer yöntemde 1-bit dönüşümü bir ön işlem olarak kullanılarak şerit tespiti için kullanılabilecek noktalar tespit edilmektedir. Sonrasında Sobel süzgeci ile özellik noktaları seçilmekte bu noktalar üzerinde korelasyon ve Hough dönüşümü temelli bir yaklaşımla aday şeritler bulunmaktadır. Son aşamada ise şerit çizgilerinin ardışık çerçeveler arasındaki zamansal ilişkisini kullanmak amacıyla Kalman süzgeci kullanılmaktadır.

3.3.1. Önerilen yöntem

Bu çalışmada önerilen şerit tespit yönteminin aşamaları ve blok gösterimi Şekil 3.12'de gösterilmektedir. Kameradan alınan görüntülerde gürültülerin azaltılması ve şerit işaretlerini öne çıkarmak amacıyla yöntemin bir ön işlemi olarak 1-bit dönüşümü [114] temelli bir yaklaşım kullanılmaktadır. Ayrıca bu çalışmada önerilen yöntem hesapsal yükü azaltmak amacıyla kameradan alınan görüntünün ROI'sine uygulanmaktadır.



Şekil 3.12. Önerilen yöntemin akış diyagramı

3.3.1.1. Ön işlem

Şerit tespit işlemleri genellikle ikili imgeler üzerinden gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla ikili imgeye dönüştürme işlemi de tasarlanan sistemin başarımında etkin bir rol oynamaktadır. İkili imgeye dönüştürme işlemi için genellikle Otsu vb. eşikleme algoritmaları kullanılmaktadır. Fakat bu tarz algoritmaların kullanılması ikili görüntüye dönüştürme işlemi sırasında görüntü üzerindeki detayların kaybolmasına neden olabilmektedir. [114]'te hareket kestirim amacıyla 8-bit çözünürlüklü giriş imgelerinin ikili imgeye dönüştürme işlemi için 1-bit dönüşümü temelli bir yöntemin kullanılması önerilmiştir. Bu yaklaşımda görüntü Eşiklik (3.7)'de verilen çoklu bant geçiren bir çekirdek ile süzgeçlenmektedir. Çekirdeğin yapısı sayesinde ikili görüntüye dönüştürme işlemi sırasında görüntü üzerindeki detaylar daha iyi bir şekilde korunabilmektedir.

$$K(i,j)=\begin{Bmatrix}1/25 \leftarrow i,j \in [1,4,8,12,16]\\ 0 \leftarrow i,j \notin [1,4,8,12,16]\end{Bmatrix} \tag{3.7}$$

Eşitlik (3.7)'de verilen süzgeç ile süzgeçleme işlemi gerçekleştirildikten sonra süzgeçlenmiş görüntü ile orijinal görüntü karşılaştırılarak ikili imge elde edilmektedir. Eşitlik (3.8)'te bu işlem verilmiştir.

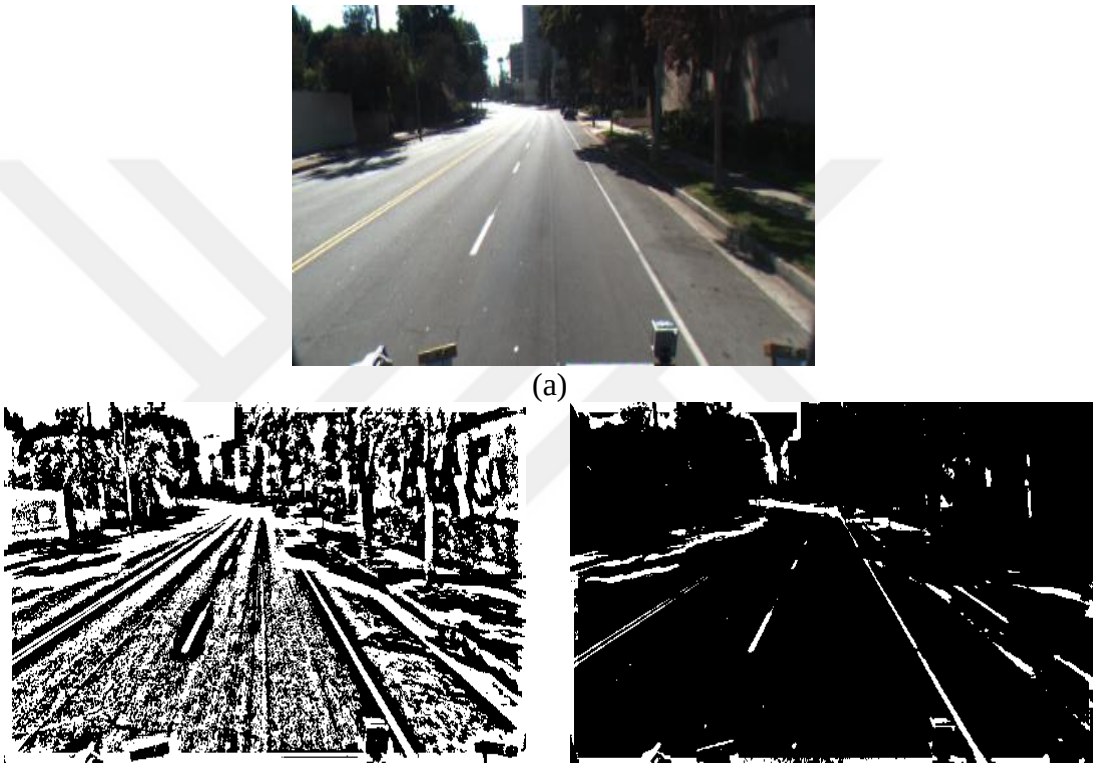
$$B(i,j)=\begin{Bmatrix}1 \leftarrow I(i,j) \geq I_F(i,j)\\ 0 \leftarrow I(i,j) < I_F(i,j)\end{Bmatrix} \tag{3.8}$$

Bu denklemde B ikili görüntüyü, I orijinal görüntüyü, I_F ise süzgeçlenmiş görüntüyü göstermektedir. [114]'te önerilen orijinal 1-bit dönüşümü yöntemi hareket kestiriminin donanımsal olarak etkin gerçeklenmesi amaçlı önerilmiştir. Bu çalışmada ise 1-bit dönüşümü özellik noktalarının çıkarılmasında bir ön işlem olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla Eşitlik (3.8)'teki ikilileştirme işlemi [114]'teki gibi Eşitlik (3.9)'da verilen şekilde kullanılmıştır.

$$B_M(i,j)=\begin{Bmatrix}1 \leftarrow I(i,j) \geq I_F(i,j)+th\\ 0 \leftarrow I(i,j) < I_F(i,j)+th\end{Bmatrix} \tag{3.9}$$

Bu denklemde th eşik değerini temsil etmektedir. th ikilileştirme aşamasında kullanılan değeri bir offset olarak değerlendirilebilir. Orijinal 1-bit dönüşümü gürültü

benzeri yapıları da ikili imgede ortaya çıkarmaktadır. Şerit tespiti uygulamalarında bu istenmeyen bir etkidir. Dolayısıyla Eşitlik (3.9)'da önerilen ikilileştirme aşamasında offset kullanımı ile bu tip gürültülerin azaltılması mümkün hale gelmektedir. Bu durum Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Şekil 3.13(a)'da Caltech veritabanından alınan örnek bir görüntünün [114]'te önerilen klasik 1-bit dönüşümü ve [115]'de önerilen yöntemin Eşitlik (3.9)'da açıklanan şekilde geliştirilerek ikilileştirilmiş hali sırasıyla Şekil 3.13 (b) ve Şekil 3.13(c)'de görülmektedir.



(a) (b) (c)

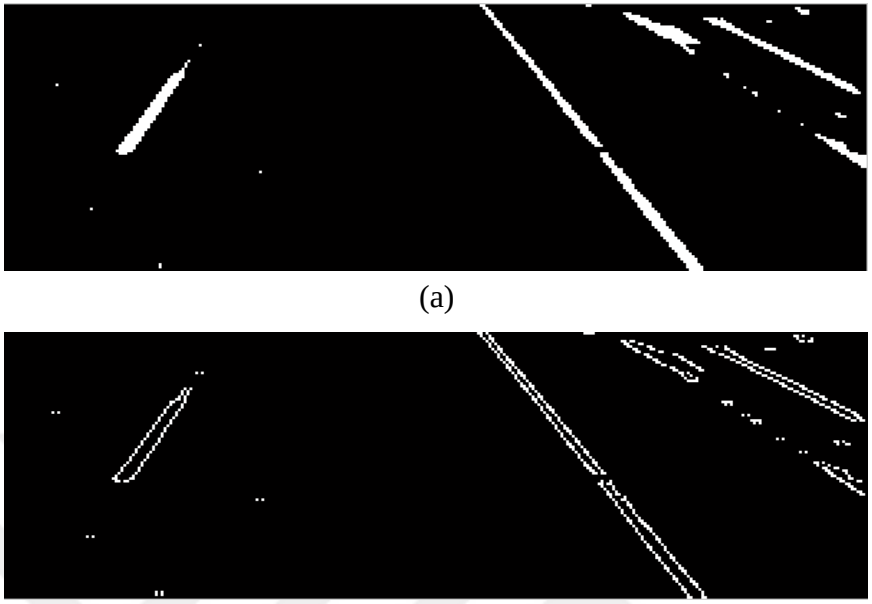
Şekil 3.13. Geliştirilmiş 1-bit dönüşümü a) Orjinal çerçeve b) th=0 ile 1-bit dönüşümü c) th=40 ile 1-bit dönüşümü

3.3.1.2. Özellik çıkartımı

Bu çalışmada şerit işaretlerinin iki önemli özelliğinden faydalanılarak şerit işaretleri tespit edilmektedir. Şerit işaretleri bir çizgi özelliği göstermekte ve örnek görüntüler yatay eksende incelendiğinde şerit işaretlerinin Gausssal bir piksel genliği dağılımına sahip olduğu gözlenmektedir.

Çizgi tespiti için ilk olarak geliştirilmiş 1-bit dönüşümü ile elde edilen görüntü üzerinde Sobel kenar tespiti işlemi uygulanarak kenar bilgileri elde edilmektedir.

Sobel kenar tespiti işlemi sonrası elde edilen örnek bir görüntü Şekil 3.14'de gösterilmektedir.

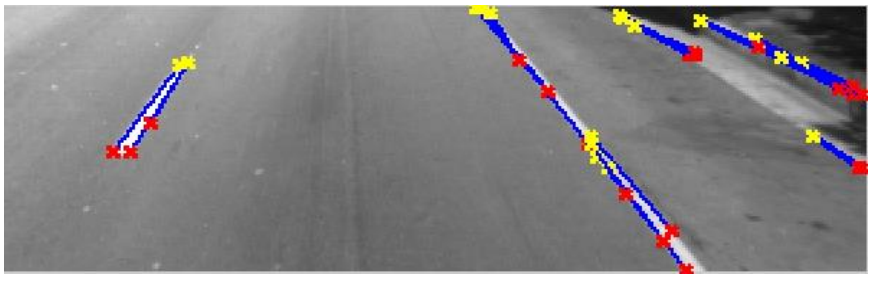


(a)

(b)

Şekil 3.14. Kenar tespiti işlemleri (a) Modifiye 1-bit dönüşümü sonucu (b) Modifiye 1-bit dönüşümü sonrası Sobel kenar tespiti sonucu

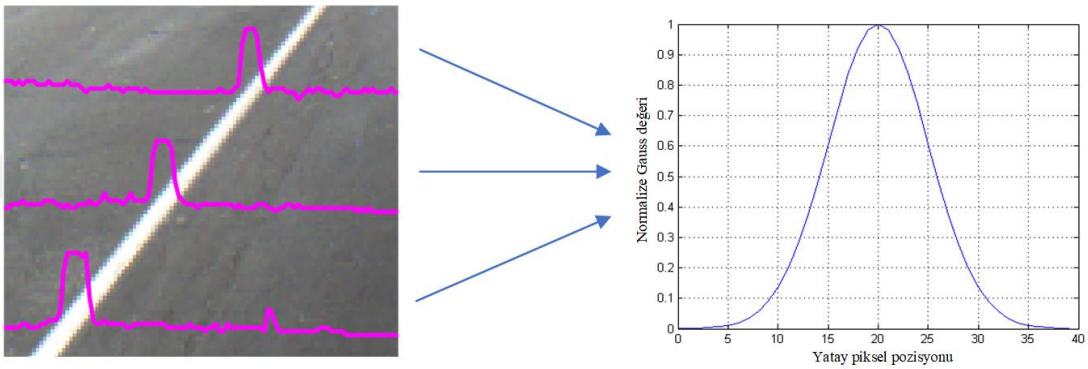
Görüntü üzerinde bulunan çizgileri tespit etmek amacıyla kenar bilgileri elde edilen görüntüye Hough dönüşümü uygulanmaktadır. Çizgilerin tespiti aşamasında Hough dönüşümünün θ uzayı ± 90º aralığında taranmaktadır ve θ uzayının çözünürlüğü "1" olarak belirlenmiştir. Şekil 3.15'de, Şekil 3.14(b)'deki görüntüden Hough dönüşümü ile bulunan çizgiler gösterilmektedir.



Şekil 3.15. Hough dönüşümü ile elde edilen çizgiler

Şekil 3.15'de görüldüğü üzere Hough dönüşümü ile şerit çizgileri üzerinde olmayan çizgiler de tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada bu bozucu çizgileri elemek ve şerit çizgilerini tespit etmek amacıyla şerit işaretlerinin önemli bir özelliği olan yatay

eksende gösterdikleri Gaussal piksel genliği dağılımından faydalanılmaktadır. Şekil 3.16'da şerit işaretlerini içeren bir yol görüntüsünün belirli aralıklarında alınan kesitlerinin 1-boyutlu dağılımı gösterilmektedir. Şekil 3.16(a)'da mor renk ile gösterilen bir boyutlu dağılımlar incelendiğinde, bu dağılımların şerit çizgileri üzerinde Şekil 3.16(b)'de gösterilen Gauss fonksiyonu dağılımı gösterdiği gözlenmektedir. Dolayısıyla tespit edilen bir çizgi şerit işareti üzerinde ise, bu çizgi üzerinde alınan bir nokta çevresinde Gauss fonksiyonu dağılımı görülmelidir.



(a) (b)

Şekil 3.16. Şerit işaretlerinin 1-boyutlu dağılımı (a) Şerit işareti görüntüsü ve belirli satırlarının 1-boyutlu dağılımı (b) Gaussal piksel dağılımı

Bu çalışmada bu dağılımın tespiti için tespit edilen çizginin orta noktasını merkez alacak şekilde bir-boyutlu bir kesit alınmaktadır. Bu kesit önceden tanımlı ortalama şerit işareti genişliği boyutundadır. Ortalama şerit işareti genişliği dikkate alınarak bir şablon şerit işareti oluşturulmaktadır. Oluşturulan şablon işareti ile kesit alanının çapraz korelasyonu Eşitlik (3.10)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{çapraz korelasyon}(x[n], f[n]) = \sum_{k=0}^{M} f[k]x[n+k] \qquad (3.10)$$

Bu denklemde x giriş işaretini (kesit alanı), f filtreyi (şablon işareti), M ise kesit alanı boyutunu temsil etmektedir. Sonuç olarak Hough dönüşümü ile tespit edilen çizgiler yorumlanmaktadır. Çizgiler normal ile yaptıkları açılara göre sağ ve sol çizgiler olarak gruplandırılmaktadır. Sağ ve sol gruptaki çizgiler için ayrı ayrı olmak üzere, bir puanlama yöntemi ile en yüksek puana sahip çizgiler şerit çizgileri olarak tespit edilmektedir. Eşitlik (3.11)'da verilen bu puanlama yöntemi şerit çizgilerinin çizgi ve Gauss fonksiyonu dağılımı özelliğinden faydalanmaktadır. α ve β parametreleri çizgi

uzunluğu ve korelasyon katsayısı değişkenlerini normalize etmek için kullanılan çalışma kapsamında yapılan denemeler sonucu tespit edilen değerlerdir (α=0.05, β=1).

Puan= α×Çizgi uzunluğu + β×Korelasyon katsayısı (3.11)

Şekil 3.17'de, Şekil 3.15'te gösterilen çizgilerden önerilen puanlama yöntemi kullanılarak tespit edilen şerit çizgileri gösterilmektedir.



(a)



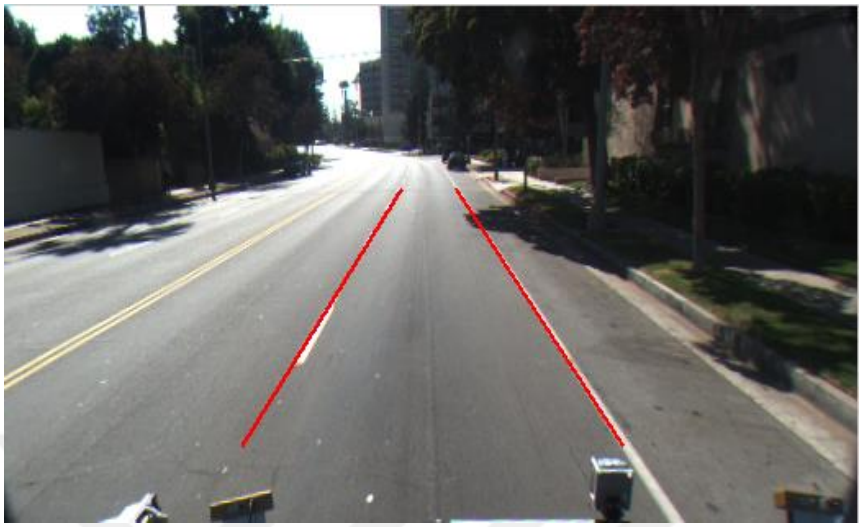
(b)

Şekil 3.17. Tespit edilen şerit çizgileri (a) ROI üzerinde gösterim (b) Giriş görüntüsü üzerinde gösterim

3.3.1.3. Son işlem

Işıklılık, gölge, hava şartları ve şerit işaretlerinin zamanla aşınması gibi olumsuz durumlar şerit işaretlerinin tespit edilmesini zorlaştırmaktadır. Şerit işareti tespit performansının bu gibi olumsuz durumlardan en az şekilde etkilenmesini sağlamak amacıyla Kalman filtresi ile şerit işareti konumlarının zamansal ilişkisi takip edilmektedir. Zamansal ilişkinin kurulabilmesi amacıyla tespit edilen çizgilerin başlangıç ve bitiş noktalarının belirlenen boyutlara bağlı olarak izdüşümleri elde

edilmektedir. Şekil 3.18'de şerit çizgilerinin izdüşümleri ile elde edilen şerit çizgileri gösterilmektedir.



Şekil 3.18. İzdüşümü yöntemiyle elde edilen şerit işaretleri

Sonraki adımda şerit işaretlerinin izdüşümlerinin başlangıç ve bitiş noktaları Kalman filtresi ile süzgeçlenmekte ve elde edilen yeni başlangıç ve bitiş noktaları ile son şerit çizgileri oluşturulmaktadır. Kalman filtresi bir sistem için durum tahmini gerçekleştirmektedir. Bu tahmin için sistemin süreç ve ölçüm gürültüsünden faydalanmaktadır. Süreç ve ölçüm gürültüsü sıfır ortalamalı Gauss dağılımlı varsayılmaktadır. Bu çalışmada Kalman filtresi sabit hızlanma (constant acceleration) modeli ile kullanılmaktadır. Eşitlik (3.12) ve Eşitlik (3.13)'de Kalman filtresinin doğrusal dinamik sistem formu verilmektedir [116, 117].

$$\begin{bmatrix} x(n) \\ y(n) \\ v_x(n) \\ v_y(n) \\ a_x(n) \\ a_y(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 & \frac{\Delta t^2}{2} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t & 0 & \frac{\Delta t^2}{2} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(n-1) \\ y(n-1) \\ v_x(n-1) \\ v_y(n-1) \\ a_x(n-1) \\ a_y(n-1) \end{bmatrix} + N(0, Q) \tag{3.12}$$

$$\begin{bmatrix} x_{gözlem}(n) \\ y_{gözlem}(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(n) \\ y(n) \\ v_x(n) \\ v_y(n) \\ a_x(n) \\ a_y(n) \end{bmatrix} + N(0,R) \quad (3.13)$$

Bu eşitliklerde $x(n)$ ve $y(n)$ yatay ve düşey düzlemdeki konum vektörlerini, Δt zamandaki değişimi, $v_x(n)$ ve $v_y(n)$ hızdaki değişimi, $a_x(n)$ ve $a_y(n)$ ise ivmedeki değişimi göstermektedir. Gözlem sonuçları olan $x_{gözlem}(n)$ ve $y_{gözlem}(n)$ Kalman filtresinin hataya bağlı olarak güncellenmesinde kullanılmaktadır. Bu eşitliklerde süreç ve ölçüm gürültüleri birbirinden bağımsız ve normal olasılık dağılımlı olacak şekilde N(0, Q) ve N(0,R) ile gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan Kalman filtresinin süreç gürültüsü 0,01, ölçüm gürültüsü ise 50 olarak belirlenmiştir.

3.3.2. Deneysel sonuçlar

Bu çalışmada şerit işaretlerinin tespit performansının değerlendirilmesi için doğruluk (accuracy -ACC) kullanılmaktadır. Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'da (Borkar ve diğ., 2012), (Espinoza ve Torriti , 2013), (Küçükyıldız ve Ocak, 2014), (Gaikwad ve Lokhande, 2015), (Mammeri ve diğ., 2016)'nin ve önerilen yöntemin şerit tespit performansı verilmektedir. Tablo 3.5 incelendiğinde önerilen yöntemin şerit tespit performansı olarak 4 farklı sahnede başarılı tespit sonuçları ile öne çıktığı görülmektedir. Tablo 3.7'de ise Tablo 3.5'deki yöntemlerin bir çerçeveyi işlemeleri için gereken ortalama çalışma süreleri verilmektedir. Önerilen yöntem ve diğer yöntemler benzer optimizasyon seviyesinde MATLAB'da kodlanmıştır. Tablo 3.7'deki çalışma hızları yöntemlerin 2,3 GHz Quad Core işlemciye ve 16GB RAM'e sahip bir bilgisayar üzerinde koşturulması ile elde edilmiştir.

Tablo 3.5. Şerit işareti tespit yöntemlerinin Caltech [5] veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC)

	(Borkar ve diğ., 2012)			(Espinoza ve Torriti, 2013)			(Küçükyıldız ve Ocak, 2014)			(Gaikwad ve Lokhande, 2015)			(Mammeri vd., 2016)			Önerilen Yöntem		
Sahne	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.
C1	0,77	0,68	0,72	0,63	0,66	0,64	0,83	**0,91**	**0,87**	0,68	0,36	0,52	0,88	0,70	0,79	**0,90**	0,79	0,85
C2	0,62	**0,51**	0,57	0,58	0,42	0,50	0,53	0,25	0,39	0,06	0,14	0,10	0,78	0,33	0,56	**0,87**	0,39	**0,63**
W1	0,49	0,67	0,58	0,62	0,36	0,49	0,76	**0,79**	**0,78**	0,67	0,11	0,39	0,27	0,26	0,27	**0,83**	0,73	**0,78**
W2	0,79	0,79	0,79	0,47	0,59	0,53	0,85	**0,88**	0,87	0,83	0,27	0,55	0,77	0,59	0,68	**0,96**	0,80	**0,88**
Ort.	0,65	0,64	0,64	0,58	0,49	0,53	0,71	0,65	0,68	0,50	0,20	0,35	0,66	0,44	0,55	**0,89**	**0,68**	**0,79**

Tablo 3.6. Şerit işareti tespit yöntemlerinin (Borkar ve diğ., 2012) veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC)

	(Borkar ve diğ., 2012)			(Espinoza ve Torriti, 2013)			(Küçükyıldız ve Ocak, 2014)			(Gaikwad ve Lokhande, 2015)			(Mammeri vd., 2016)			Önerilen Yöntem		
Sahne	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.
S1C1	**0,91**	0,58	0,75	0,78	0,44	0,61	0,74	**0,78**	**0,76**	**0,87**	0,55	0,71	0,66	0,70	0,68	0,73	0,51	0,62
S2C1	**0,62**	**0,51**	**0,57**	0,25	0,16	0,20	0,40	**0,51**	0,46	0,29	0,29	0,29	0,30	0,29	0,30	0,37	0,45	0,41
Ort.	**0,76**	0,55	**0,65**	0,51	0,30	0,41	0,57	**0,65**	0,61	0,58	0,42	0,50	0,48	0,49	0,49	0,55	0,48	0,52

Tablo 3.7. Şerit işareti tespit yöntemlerinin PC üzerinde bir çerçeve için ortalama çalışma süreleri

	(Borkar ve diğ., 2012)	(Espinoza ve Torriti, 2013)	(Küçükyıldız ve Ocak, 2014)	(Gaikwad ve Lokhande, 2015)	(Mammeri vd., 2016)	Önerilen Yöntem
Zaman	8520 ms	2520 ms	169 ms	180 ms	50 ms	**49 ms**

Tablo 3.5 incelendiğinde önerilen yöntemin en yüksek doğruluk oranına sahip olduğu görülmektedir. Ancak Tablo 3.6 incelendiğinde (Borkar ve diğ., 2012) veritabanında yoğun bir şekilde bulunan yol üzerindeki çatlak vb. bozulmaların önerilen yöntemin performansının düşmesine neden olduğu görülmektedir. Bu durum genel olarak çatlak vb. yapıların Sobel filtresinde kenar olarak tespit edilmesinden kaynaklanmaktadır. Tespit edilen kenar bilgisi sayısının artması sonraki adımlarında bulunan Hough dönüşümü ve çapraz korelasyona girdi olacak aday nokta sayısını da arttırmaktadır. İşlem yapılacak nokta sayısının artması ekstra hesapsal yüke neden olmaktadır. Önerilen yöntemde şerit çizgilerinin ayırt edilmesinde önemli rol oynayan çapraz korelasyon, tespit edilen çizgilerin sadece orta noktasına uygulanmaktadır. Çapraz korelasyonun uygulandığı nokta sayısı arttırılarak yanlış tespitlerin önüne geçilip yöntemin performansını iyileştirmek mümkündür. Ancak bu durum yöntemin temel amacı olan düşük hesapsal yükünün artmasına neden olacaktır.

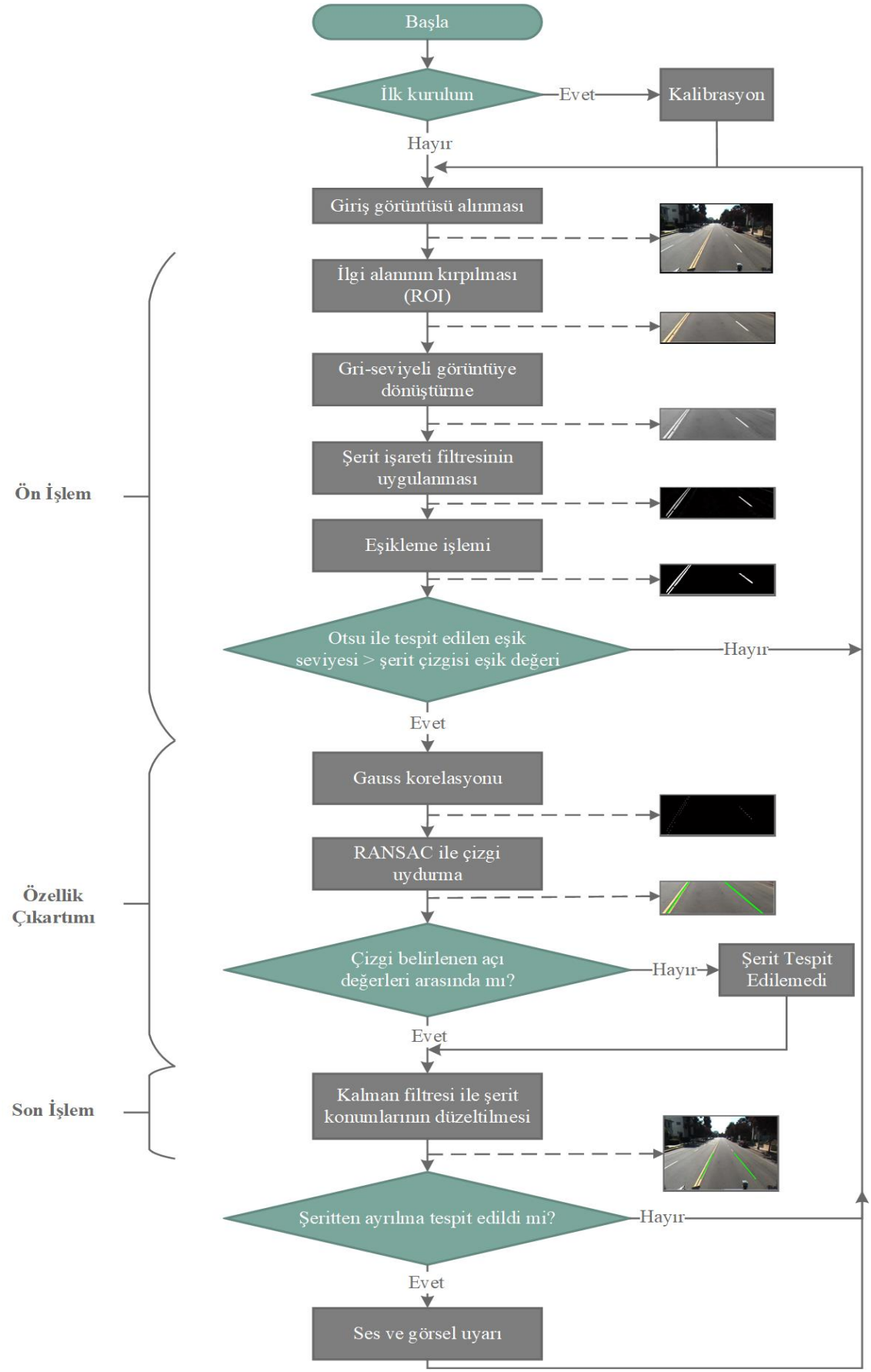
Sonuç olarak Tablo 3.5, Tablo 3.6 ve Tablo 3.7 birlikte değerlendirildiğinde önerilen yöntemin görece daha az hesapsal yük ile daha yüksek tespit performansına ulaşabildiği görülmekedir.

3.3.3. Sonuçlar

Bu çalışmada gerçek-zamanlı çalışan bir şerit tespit yöntemi önerilmiştir. Yöntem MATLAB üzerinde 49,01ms çalışma süresine sahiptir. Önerilen yöntem literatürde yakın zamanda önerilen yöntemler ile karşılaştırıldığında yüksek tespit performansı ve düşük hesapsal işlem yükü ile öne çıkmaktadır. Bu çalışmada önerilen yöntem düşük hesapsal yükü ile gömülü platformlar üzerinde çalışmaya uygundur.

3.4. Gömülü Bir Platform Üzerinde Gerçek Zamanlı Şeritten Ayrılma Uyarı Sistemi

Tezin bu kısmında önerilen şeritten ayrılma uyarı sistemi üç aşamadan oluşmaktadır. İlk adımda şerit işareti filtresi ve eşikleme işlemleri ile şerit çizgileri öne çıkarılmaktadır. Eşiklenmiş görüntü üzerindeki konumlarda giriş görüntüsüne Gauss fonksiyonu tabanlı bir korelasyon işlemi uygulanarak aday şerit noktaları tespit edilmektedir. Sonraki adımda aday şerit noktalarından belirli bir karakteristiğin dışındakiler RANSAC yöntemiyle elenerek şerit çizgileri tespit edilmektedir. Tespit edilen şerit çizgilerinin konumları arasındaki zamansal ilişki Kalman filtresi ile incelenerek olası hatalı tespitlerin önüne geçilmektedir. Önerilen sistemin akış diyagramı Şekil 3.19'da gösterilmektedir.



Şekil 3.19. Önerilen sistemin akış diyagramı

3.4.1. Şerit Tespiti

3.4.1.1. Ön işlem

Bu çalışmada hesapsal yükü azaltmak amacıyla kameradan alınan görüntünün bütün olarak incelenmesi yerine, sadece yol bilgisini içeren belirli bir kısmı incelenmektedir. Bu doğrultuda işlemler sadece ROI üzerinde gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.20'de örnek bir ROI gösterilmektedir. Bu ilgi alanı sistemin ilk kurulum aşamasında bir kalibrasyon işlemi ile sabit pozisyon ve büyüklükte olacak şekilde belirlenmektedir. İlgi alanı tekrar kurulum yapılmadığı sürece değişmemektedir.



(a)

(b)

Şekil 3.20. İlgi alanı (a) Giriş görüntüsü (b) İlgi alanı

Kameralardan alınan yol görüntülerdeki şerit işaretlerinin yapıları yoldaki yansımalar, işaretlerin zamanla aşınması, gölge ve hava şartları gibi nedenlerden bozulabilmektedir. Şerit tespit işlemlerinin bu gibi olumsuz durumlardan daha az etkilenmesini sağlamak amacıyla [113]'deki çalışmada önerilen ve Eşitlik (3.5)'de verilen şerit işareti filtresi kullanılmaktadır.

Giriş görüntüsü gri-seviyeli görüntüye dönüştürülerek şerit işareti filtresi uygulanmaktadır. Şekil 3.21'de CalTech [5] şerit veritabanından alınan örnek bir yol görüntüsü ve şerit işareti filtresi çıkışı gösterilmektedir. Şerit işareti filtresi sonuç görüntüsü Otsu yöntemiyle elde edilen eşik değerine göre ikili (binary) görüntüye dönüştürülür. Elde edilen ikili görüntü ile görüntü üzerinde işlem yapılan nokta sayısının azaltılması amaçlanmaktadır. Şekil 3.22'de, Şekil 3.21(b)'deki şerit işareti filtresi görüntüsünün eşikleme işlemi sonucu gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.21. Şerit işareti filtresi (a) Gri-seviyeli giriş görüntüsü (b) Şerit işareti filtresi sonucu



Şekil 3.22. Eşikleme işlemi sonucu

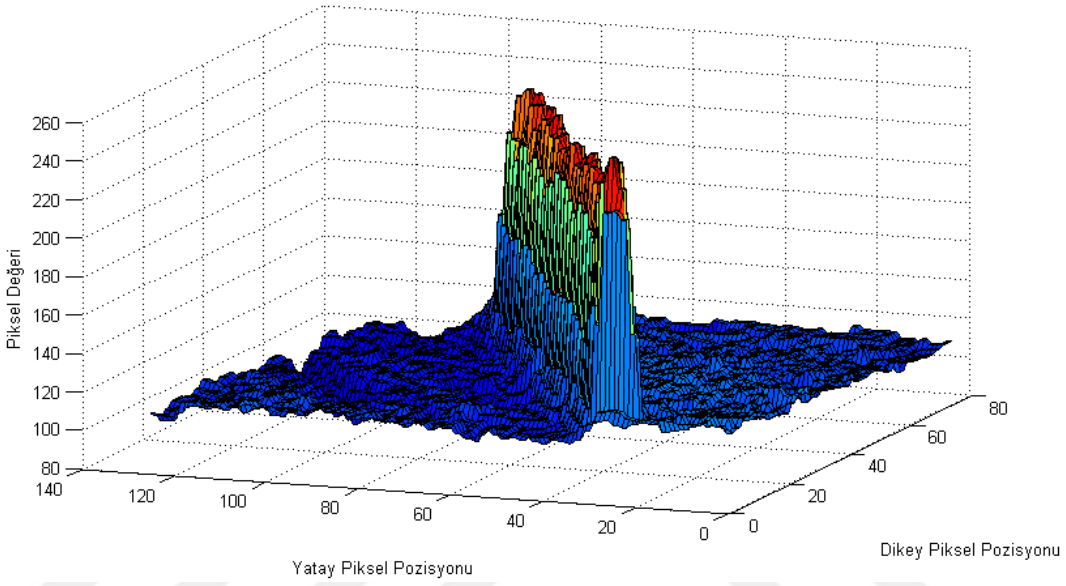
3.4.1.2. Özellik çıkartımı

Şerit çizgilerinin elde edilmesi için kullanılacak öznitelik bilgileri bu aşamada elde edilmektedir. Şerit işareti öznitelikleri, ön işlem aşamasında elde edilen eşiklenmiş görüntü üzerinden çıkarılmaktadır. Eşiklenmiş görüntü üzerinde eşik değeri aşan her

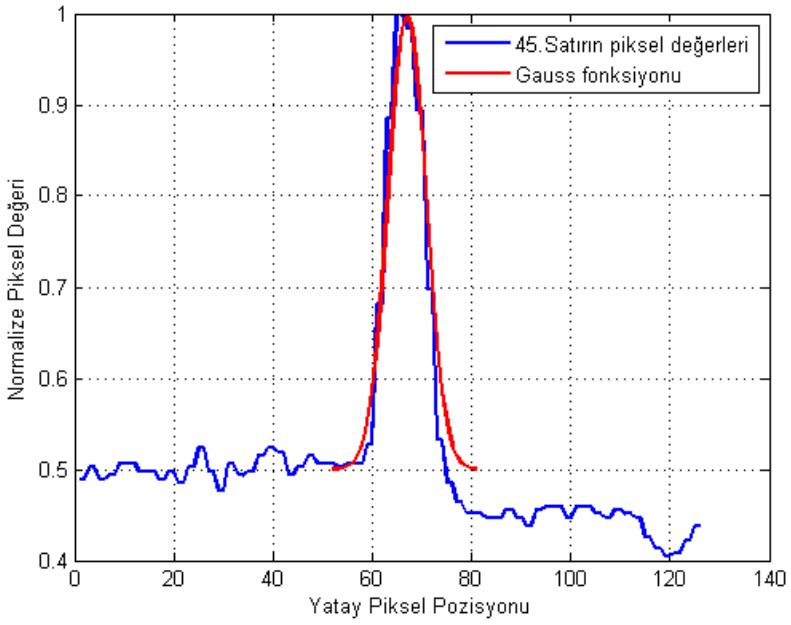
bir nokta şerit işaretlerinin tespitinde kullanılacak aday şerit işareti konumudur. Gri-seviyeli giriş görüntüsü üzerinde bu noktalar analiz edilerek şerit işaretlerinin tespitinde kullanılabilecek aday şerit işareti öznitelikleri elde edilmektedir. Analiz işleminde şerit işareti aday noktalarının gri-seviyeli görüntüde karşılık geldiği nokta ve çevresinin yatay eksendeki değerleri incelenmektedir. Örnek bir şerit işareti görüntüsü Şekil 3.23(a)'da verilmektedir. Şekil 3.23(b)'de ise bu görüntünün piksel değerleri yatay ve dikey pozisyonuna göre 3-boyutlu şekilde görselleştirilmiştir. Şekil 3.23(a) ve Şekil 3.23(b)'de gösterilen şerit işareti görüntüsünün 45. satırının piksel değerleri Şekil 3.23(c)'de 1-boyutlu olarak görselleştirilmiştir. Aynı şekil üzerinde 1-boyutlu belirli bir μ ve σ değerine sahip Gauss dağılımlı bir fonksiyon da gösterilmiştir. Bu şekilden şerit bölgesinin 1-boyutlu incelenmesi durumunda elde edilen işaretin Gauss biçimli bir yapıya sahip olduğu açıkça görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.23. Şerit işareti üzerindeki piksel dağılımı (a) Şerit işareti (b) Şerit işaretinin 3-B gösterimi (c) Şerit işaretinin 1-B piksel gösterimi ve Gauss fonksiyonu

Dolayısıyla gri-seviyeli görüntü üzerindeki bir piksel konumu şerit işaretine ait bir konumda ise bu konumu merkez alan piksel değerleri 1-boyutlu Gauss fonksiyonu ile benzer bir yapı göstermelidir. Bu durumun tespiti amacıyla önerilen yöntemde aday şerit işareti noktalarını merkez alacak şekilde alınan 1-boyutlu kesitler ile daha önceden tanımlı sabit boyutlu bir 1-boyutlu Gauss fonksiyonu korelasyon işlemine tabi tutulur. Korelasyon seviyesi belirlenen sabit bir eşik değerinden düşük olan aday şerit işareti konumları elenerek kalan şerit işareti özellik noktaları tespit edilmektedir. Eşik değeri çalışma kapsamında yapılan denemeler sonucu 0.7 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.24'te, yukarıda açıklanan tespit yaklaşımı ile Şekil 3.20(b)'deki giriş görüntüsü için elde edilen şerit işareti özellik noktaları gösterilmektedir.



Şekil 3.24. Tespit edilen şerit işareti özellik noktaları

3.4.1.3. Son işlem

Özellik çıkartımı aşamasında elde edilen şerit işareti özellik noktalarının tamamı şerit işaretlerinin üzerinde olmayabilir. Işıklılık, hava durumu, yol yapısındaki bozukluklar vb. olumsuz durumlarda kameradan alınan görüntüde şerit işareti olmayan bölgelerde hatalı olarak özellik noktaları tespit edilebilmektedir. Bu bozucu (outlier) özellik noktalarının elenmesi ve şerit işaretlerinin başarılı bir şekilde tespit edilebilmesi için RANSAC yöntemi kullanılmaktadır. Böylelikle şerit çizgilerinin doğru biçimindeki yapısına uymayan bozucuların şerit çizgisi tespitine etkisi ortadan kaldırılmaktadır. RANSAC yöntemiyle Şekil 3.24'te gösterilen şerit işareti özellik noktalarının değerlendirilmesi sonucu elde edilen şerit çizgileri ROI ve kameradan alınan orijinal görüntü üzerinde Şekil 3.25'de gösterilmektedir.



(a)



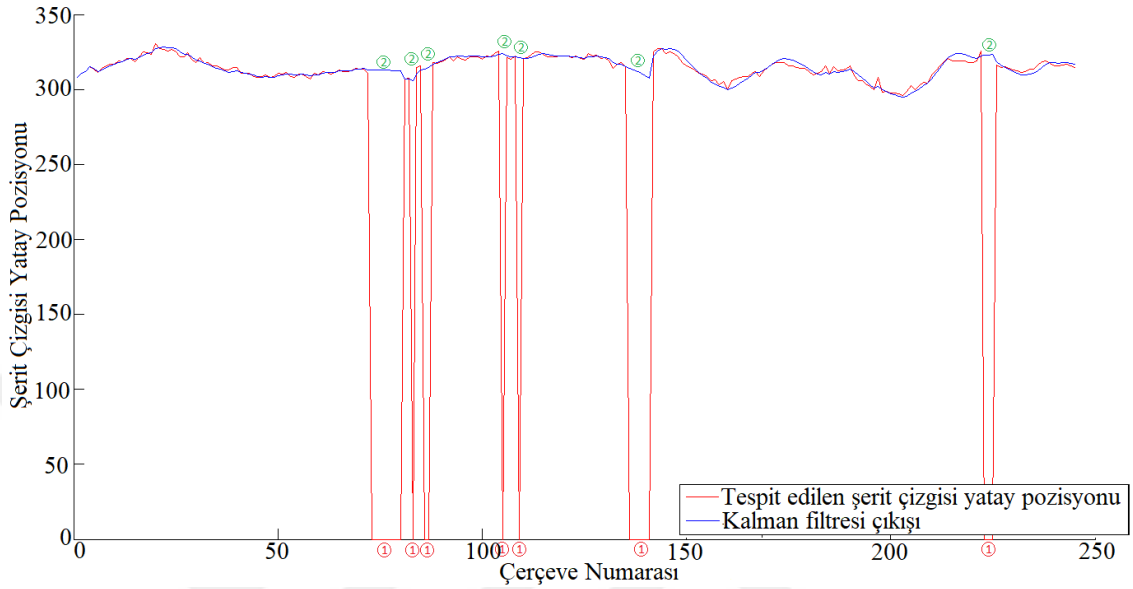
(b)

Şekil 3.25. Tespit edilen şerit işaretleri (a) ROI üzerinde tespit sonucu (b) Orijinal görüntü üzerinde tespit sonucu

Tezin bu çalışması kapsamında Bölüm 3.3.1.3'te detayları verilen Kalman filtresi kullanılmaktadır. Kalman filtresi ile tespit edilen şerit çizgilerinin başlangıç ve bitiş noktaları kullanılarak yeni başlangıç ve bitiş noktaları elde edilmektedir. Elde edilen bu başlangıç ve bitiş noktaları ile yeni çizgiler oluşturulmaktadır. Bu çizgiler son şerit işareti çizgileri olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 3.26'da örnek bir şerit çizgisi konumları ve Kalman filtresi sonuçları verilmektedir. Bu grafikte kırmızı renk ile gösterilen konumlar tespit edilen şerit çizgisi konumlarını, mavi renk ile gösterilen ise bu konumların Kalman filtresi ile işlenmesi sonucunda elde edilen sonuç şerit çizgisi konumunu göstermektedir. Şekil 3.26'da "1" ile etiketlenen yerler şerit çizgilerinin tespit edilemediği yerleri göstermekte olup bu durumda tespit edilen şerit pozisyonu 0 olarak gösterilmiştir. "2" numaralı yerler ise şerit çizgisi tespit edilemeyen durumlarda Kalman filtresi ile

tahmin edilen şerit çizgisi konumlarını belirtmektedir. Şekil 3.26'dan anlaşılacağı üzere anlık olarak şerit çizgisi tespit edilemediği durumlarda Kalman filtresinin kullanılması ile şerit tespit performansı iyileştirilmektedir.



Şekil 3.26. Kalman filtresi ile şerit işareti konum tespiti

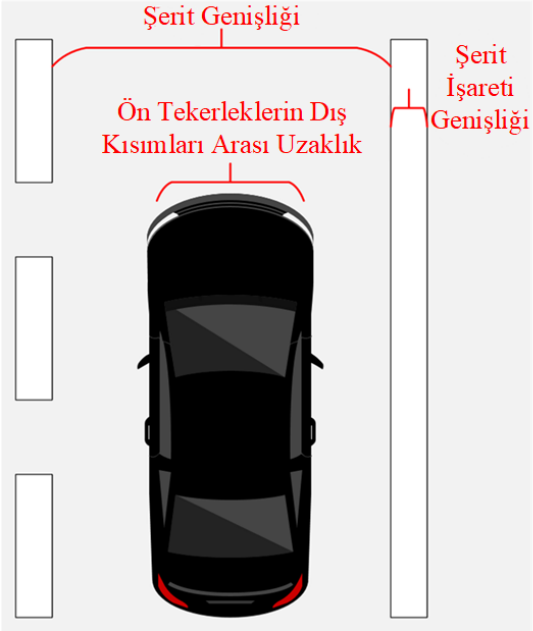
3.4.2. Şeritten ayrılma tespiti

Bu çalışmada normal seyir halinde bulunan araçların şerit değiştirmeleri tespit edilerek sürücüye bildirilmesi sağlanmaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen sistemde araç konumu ve şerit konumları gerçek zamanlı olarak yorumlanarak varsa uyarı durumu tespit edilmektedir. Bu amaçla aracın ön tekerleklerinin dış konumunun görüntü yüzeyindeki izdüşümü ile şerit çizgileri konumunun arasındaki uzaklığın 30cm'den az olması durumunda şerit değişikliği kararı verilmektedir. Bu mesafe 351/2012 sayılı Avrupa Birliği Komisyonu tarafından hazırlanan Motorlu Araçlara Şeritten Ayrılma Uyarı Sistemi takılması yönetmeliğinde belirtilen çerçevede belirlenmiştir.

Şerit değişikliği kararlarının gerçek dünya mesafeleri (metrik veriler) üzerinden tespit edilebilmesi için öncelikli olarak önerilen sistemin kalibrasyonu gerekmektedir. Bu kalibrasyon işleminde şerit genişliği, şerit çizgileri arası genişlik ve aracın ön tekerlek lastiklerinin dış kısımları arasındaki uzaklık bilgileri kullanılmaktadır. Şekil 3.27'de kalibrasyon için gerekli parametre bilgileri gösterilmektedir. Bir pikselin metrik karşılığı Eşitlik (3.14)'te verildiği gibi hesaplanmaktadır. Bu dönüşüm sırasında

işlemleri basitleştirmek için ROI'nin orta noktası kullanılmakta olup böylelikle perspektif etkisi hesaba dahil edilmemiştir.

$$\text{piksel2cm} = \frac{\text{Şerit Genişliği (cm)}}{\text{Tespit Edilen Şerit İşaretleri Arası Genişlik (piksel)}} \tag{3.14}$$



Şekil 3.27. Kalibrasyon parametreleri

3.4.3. Gömülü platform uygulaması

Bu çalışma kapsamında önerilen ve detayları Bölüm 3.4.1 ve 3.4.2'de detayları açıklanan şeritten ayrılma uyarı sistemi öncelikle bilgisayar ortamında MATLAB platformunda geliştirilmiştir. Bu görüntü işleme yöntemi daha sonra Tablo 3.8'de verilen sistem özelliklerine sahip bir gömülü platforma birebir uygulanıp gerçek zamanlı olarak gömülü platform üzerinde gerçekleştirilmiştir.

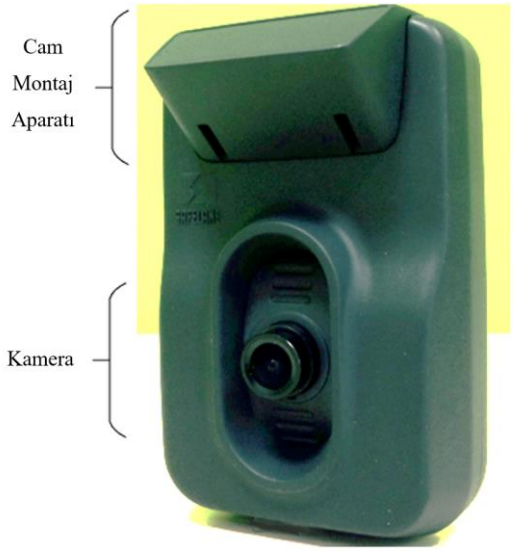
Tablo 3.8. Gömülü platform özellikleri

Özellik	Açıklaması
CPU	1GHz AM3358 ARM® Cortex-A8
RAM	512 MB DDR3
OS	Linux Debian
Kamera	Aptina MT9V024
Kamera Çözünürlüğü	752 × 480 WVGA

Görüntü sensörü olarak HDR (High Dynamic Range) görüntü alma özelliğine sahip bir sensör kullanılarak kameradan alınan görüntülerde oluşabilecek aşırı ışıklık,

mercek parlaması (lens flare) gibi olumsuz senaryoların sistem başarımına etkisi azaltılmıştır. Sensörden görüntü almak için gerekli sürücü dosyası (driver) Debian işletim sistemi için oluşturulmuştur. Önerilen sistem C++ dili ile OpenCV kütüphanesi kullanılarak gerçeklenmiştir.

Gömülü platform Şekil 3.28'de gösterilen araçların ön camına monte edilebilecek şekilde tasarlanmış bir kasa içerisine yerleştirilmiştir. Cam montaj aparatı araçların farklı ön cam açılarına uyarlanabilecek şekilde değiştirilebilir yapıdadır. Görüntü sensörünün düşey eksendeki açısı şerit çizgilerini en iyi şekilde görüntülemek amacıyla ±15 ° derece açı aralığında elle ayarlanabilir yapıdadır.



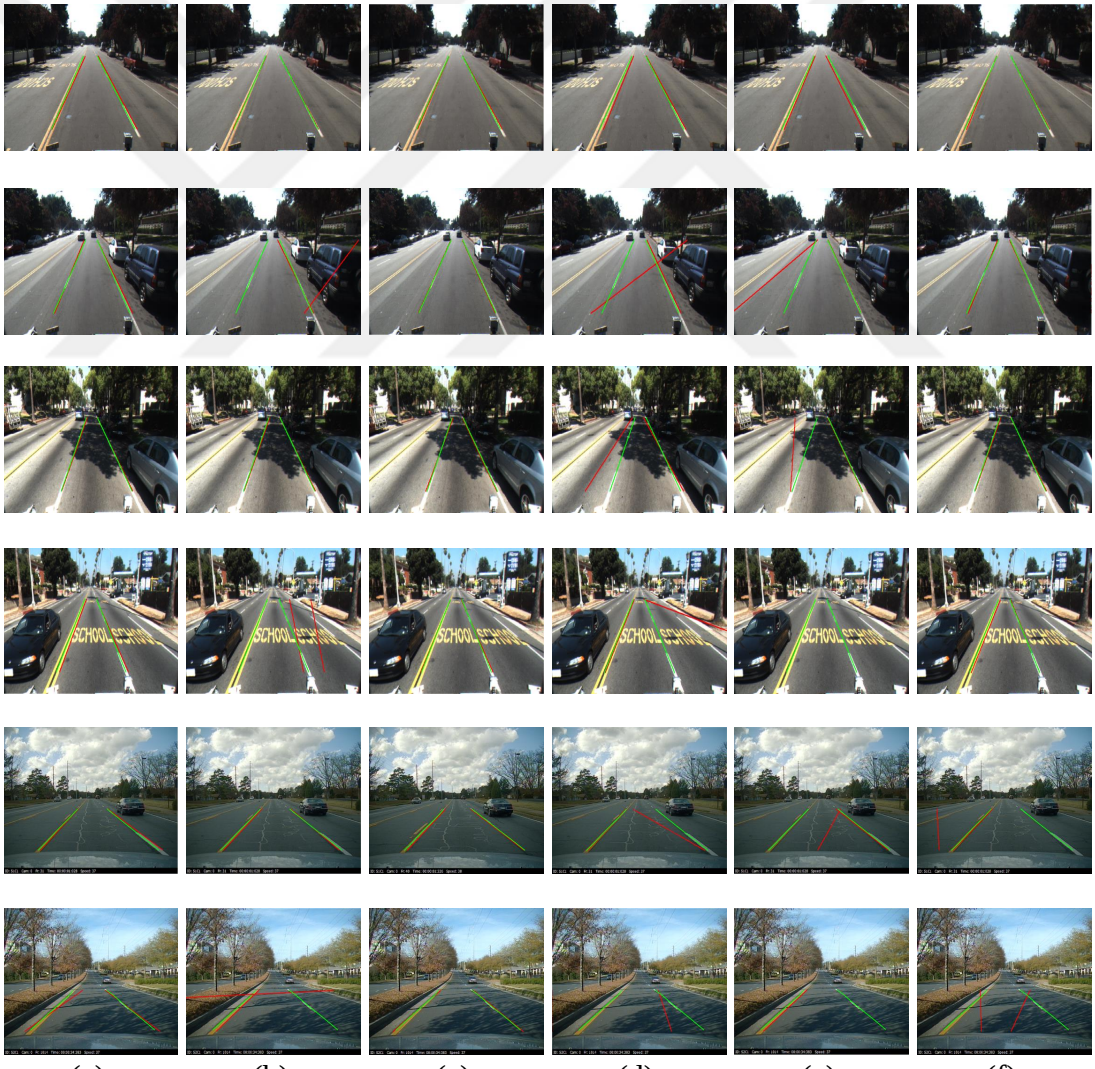
Şekil 3.28. Gömülü platform kasası

3.4.4. Deneysel sonuçlar

Şerit işareti tespit performansı değerlendirmesi Bölüm 3.1'de detaylı açıklanan doğruluk (accuracy - ACC) ölçütü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde verilen sonuçlarda korelasyon işlemi sırasında kullanılan Gauss fonksiyonu için veri tabanlarındaki şerit işaretleri incelenerek $\mu=0$ ve $\sigma=2$ olarak deneysel olarak belirlenmiştir. Şerit filtresi ve korelasyon işlemi için şerit işareti genişliği 15 piksel olarak seçilmiştir.

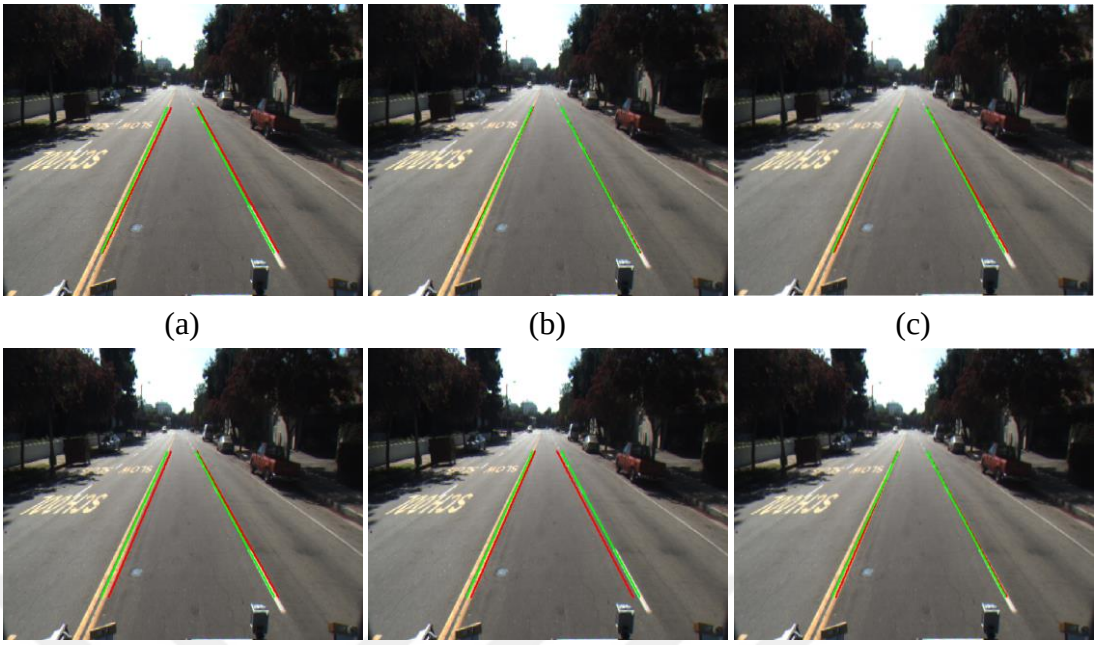
Şekil 3.29'de önerilen yöntem ile birlikte (Borkar ve diğ., 2012), (Espinoza ve Torriti , 2013), (Küçükyıldız ve Ocak, 2014), (Gaikwad ve Lokhande, 2015), (Mammeri ve diğ., 2016)'nin önerdiği yöntemlerin koşturulduğu Caltech veritabanından alınan

görüntüler (Cordova1 (C1), Cordova2 (C2), Washington1 (W1), Washington2 (W2)) ve Borkar veritabanından alınan görüntüler (S1C1, S2C1) için yer doğrusu ve görsel tespit sonuçları verilmektedir. Şekil 30, Şekil 31, Şekil 32, Şekil 33, Şekil 34 ve Şekil 35'de ise bu görüntülerin boyutları büyütülmüş görselleri verilmektedir. Görüntülerde yeşil çizgiler yer doğrularını, kırmızı çizgiler ise yöntemlerin tespit sonuçlarını göstermektedir. Bu şekilden görüleceği üzere normal yol yüzeyinde karşılaştırılan bütün yöntemler şerit işaretlerini tespit edebilmektedir. Yol yüzeyinde ışıklılık ve gölgenin olumsuz etkisinin olduğu görüntülerde (Borkar ve diğ., 2012), (Küçükyıldız ve Ocak, 2014) ve bu çalışmada önerilen yöntem başarılı bir şekilde şerit işaretlerini tespit edebilirken diğer yöntemler yanlış tespitler yapabilmektedir.



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

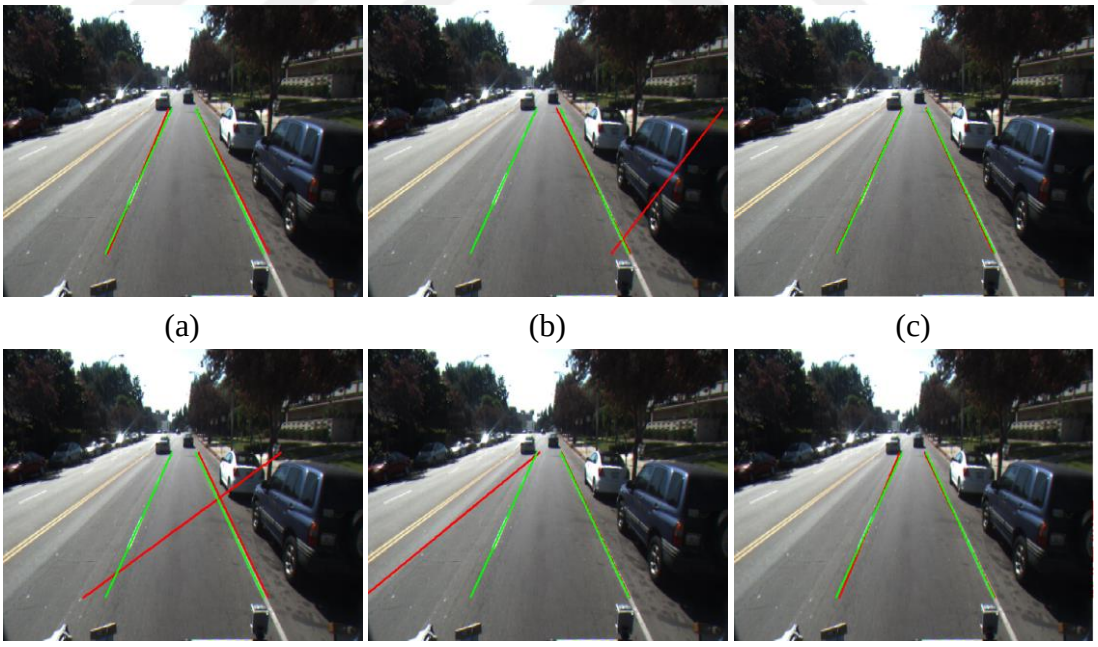
Şekil 3.29. Bütün görüntü setleri için görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

Şekil 3.30. Cordova1 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

Şekil 3.31. Cordova2 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem



(a) (b) (c)



(d) (e) (f)

Şekil 3.32. Washington1 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem



(a) (b) (c)



(d) (e) (f)

Şekil 3.33. Washington2 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem



(a) (b) (c)



(d) (e) (f)

Şekil 3.34. S1C1 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem



(a) (b) (c)



(d) (e) (f)

Şekil 3.35. S2C1 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem

Tablo 3.8 ve Tablo 3.9'da önerilen yöntem ile (Borkar ve diğ., 2012), (Espinoza ve Torriti, 2013), (Küçükyıldız ve Ocak, 2014), (Gaikwad ve Lokhande, 2015),

(Mammeri ve diğ., 2016)'nin önerdiği yöntemlerin Caltech ve Borkar [68] veritabanları üzerinde nicel (quantitative) performans değerlendirmeleri gösterilmektedir. Tablo 3.8 ve Tablo 3.9 sol şerit işareti tespit, sağ şerit işareti tespit, sol ve sağ şerit işareti doğruluk (ACC) ortalaması ve dizilerde bulunan görüntü sayılarıyla orantılanarak elde edilen ortalama tespit değerlerini içermektedir.

Tablo 3.8. Şerit işareti tespit yöntemlerinin Caltech [5] veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC)

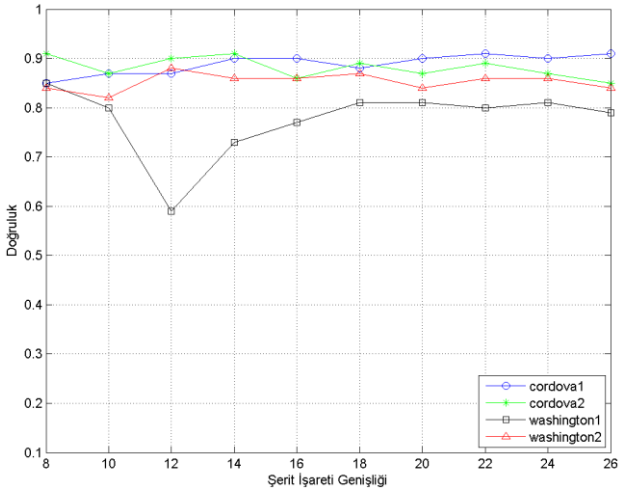
	(Borkar ve diğ., 2012)			(Espinoza ve Torriti, 2013)			(Küçükyıldız ve Ocak, 2014)			(Gaikwad ve Lokhande, 2015)			(Mammeri vd., 2016)			Önerilen Yöntem		
Sahne	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.
C1	0,77	0,68	0,72	0,63	0,66	0,64	0,83	**0,91**	**0,87**	0,68	0,36	0,52	0,88	0,70	0,79	**0,91**	**0,93**	**0,92**
C2	0,62	**0,51**	0,57	0,58	0,42	0,50	0,53	0,25	0,39	0,06	0,14	0,10	0,78	0,33	0,56	**0,91**	**0,58**	**0,75**
W1	0,49	0,67	0,58	0,62	0,36	0,49	0,76	**0,79**	**0,78**	0,67	0,11	0,39	0,27	0,26	0,27	**0,76**	0,70	0,73
W2	0,79	0,79	0,79	0,47	0,59	0,53	0,85	0,88	0,87	0,83	0,27	0,55	0,77	0,59	0,68	**0,85**	**0,92**	**0,89**
Ort.	0,65	0,64	0,64	0,58	0,49	0,53	0,71	0,65	0,68	0,50	0,20	0,35	0,66	0,44	0,55	**0,86**	**0,78**	**0,82**

Tablo 3.9. Şerit işareti tespit yöntemlerinin (Borkar ve diğ., 2012) veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC)

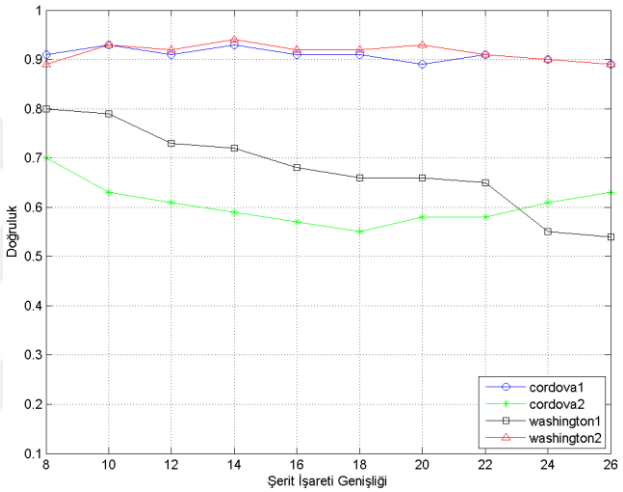
	(Borkar ve diğ., 2012)			(Espinoza ve Torriti, 2013)			(Küçükyıldız ve Ocak, 2014)			(Gaikwad ve Lokhande, 2015)			(Mammeri vd., 2016)			Önerilen Yöntem		
Sahne	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.
S1C1	**0,91**	0,58	0,75	0,78	0,44	0,61	0,74	**0,78**	**0,76**	**0,87**	0,55	0,71	0,66	0,70	0,68	0,86	0,30	0,58
S2C1	**0,62**	**0,51**	**0,57**	0,25	0,16	0,20	0,40	**0,51**	0,46	0,29	0,29	0,29	0,30	0,29	0,30	0,49	0,34	0,42
Ort.	**0,76**	0,55	**0,65**	0,51	0,30	0,41	0,57	**0,65**	0,61	0,58	0,42	0,50	0,48	0,49	0,49	0,68	0,32	0,50

Tablo 3.8 incelendiğinde önerilen yöntemin en yüksek doğruluk oranına sahip olduğu görülmektedir. Bu doğruluk oranı önerilen yöntemin Caltech veritabanının sahip olduğu bozucu özellikler olan ışıklılık değişimi, yol üzerindeki yazılar ve gölgelere karşı gürbüz olduğunuz göstermektedir. Ancak Tablo 3.9 incelendiğinde (Borkar ve diğ., 2012) veritabanında yoğun bir şekilde bulunan yol üzerindeki çatlak vb. bozulmaların önerilen yöntemin performansının düşmesine neden olduğu görülmektedir. Bu durum genel olarak çatlak vb. yapıların şerit işaretlerine benzer yapısal özellikler göstermesinden kaynaklanmaktadır. Önerilen yöntemde bulunan Gaussal şerit işareti şablonu ile korelasyon işlemi bu yapay şerit işaretlerinde de yanıt vermektedir. Bu nedenle RANSAC işlemine daha çok aday şerit noktası girerek yanlış şerit çizgilerinin tespitine neden olabilmektedir. Aynı zamanda işlem yapılacak nokta sayısını artması ekstra hesapsal yüke neden olmaktadır. Önerilen yöntemde şerit çizgilerinin ön plana çıkarılması amacıyla kullanılan şerit işareti filtresi çatlak vb. yapıları da ön plana çıkmaktadır. Önerilen yöntemde ön işlem aşamasında şerit işareti benzeri yapıların elenerek sadece şerit işaretlerinin ön plana çıkarılmasıyla sistem performansını iyileştirmek mümkündür.

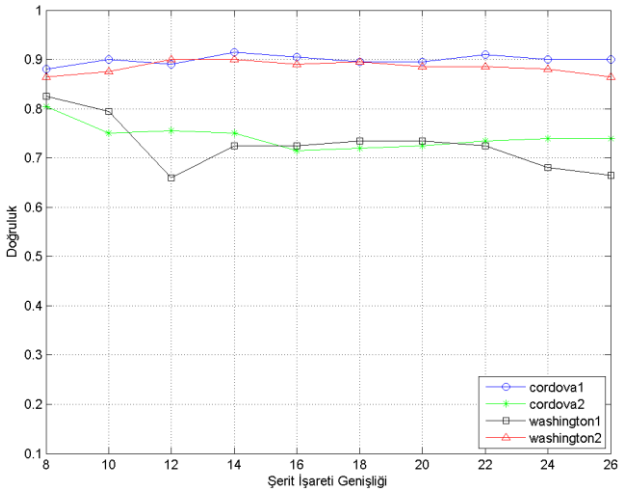
Bu çalışmada önerilen şerit işareti tespit yönteminin şerit filtresi ve korelasyon işlemi adımlarında şerit işareti genişliği bir parametre olarak kullanılmaktadır. Önerilen şerit işareti tespit yönteminin performansı şerit işareti genişliği parametresinin farklı değerlerinde incelenmiştir. Şekil 3.36'da yatay eksen incelenen şerit genişliği değerlerini, dikey eksen ise önerilen sisteminin bu değerlere göre tespit başarımını (doğruluk) göstermektedir. Şekil 3.36(a)'da sol şerit işareti tespit başarımı, Şekil 3.36(b)'de sağ şerit işareti tespit başarımı ve Şekil 3.36(c)'de ise sol ve sağ şerit işareti tespit başarımlarının ortalaması gösterilmektedir. Şekil 3.36(a), Şekil 3.36(b) ve Şekil 3.36(c) incelendiğinde sistem performansının parametre seçimine bağlı olarak önemli ölçüde değişmediği görülmektedir. Sonuç olarak, bu durum önerilen şerit tespit yönteminin sadece belirli bir kamera düzeneği, veritabanı ve parametreler için özelleşmiş bir sistem olmadığı açıktır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.36. Şerit işareti genişliği temelli şerit işareti tespit performansı değerlendirilmesi (a) Sol şerit işareti tespit performansı (b) Sağ şerit işareti tespit performansı (c) Ortalama şerit işareti tespit performansı

Tablo 3.10'da, Tablo 3.8 ve Tablo 3.9'da performans karşılaştırması verilen yöntemlerin ortalama çalışma süreleri verilmektedir. Bu çalışma süreleri önerilen yöntem ve diğer yöntemlerin benzer optimizasyon seviyesinde MATLAB'da kodlanarak 2.3 GHz Quad core işlemciye ve 16GB RAM'e sahip bir bilgisayar üzerinde koşturulması ile elde edilmiştir. Tablo 3.10'da verilen çalışma süreleri dikkate alındığında, önerilen yöntemin yüksek tespit performansını diğer yöntemlere göre çok fazla ek hesapsal yüke ihtiyaç duymadan sağladığı görülmektedir.

Tablo 3.10. Şerit işareti tespit yöntemlerinin PC üzerinde bir çerçeve için ortalama çalışma süreleri

	(Borkar ve diğ., 2012)	(Espinoza ve Torriti, 2013)	(Küçükyıldız ve Ocak, 2014)	(Gaikwad ve Lokhande, 2015)	(Mammeri vd., 2016)	Önerilen Yöntem
Sahne	8520 ms	2520 ms	169 ms	180 ms	50 ms	306 ms

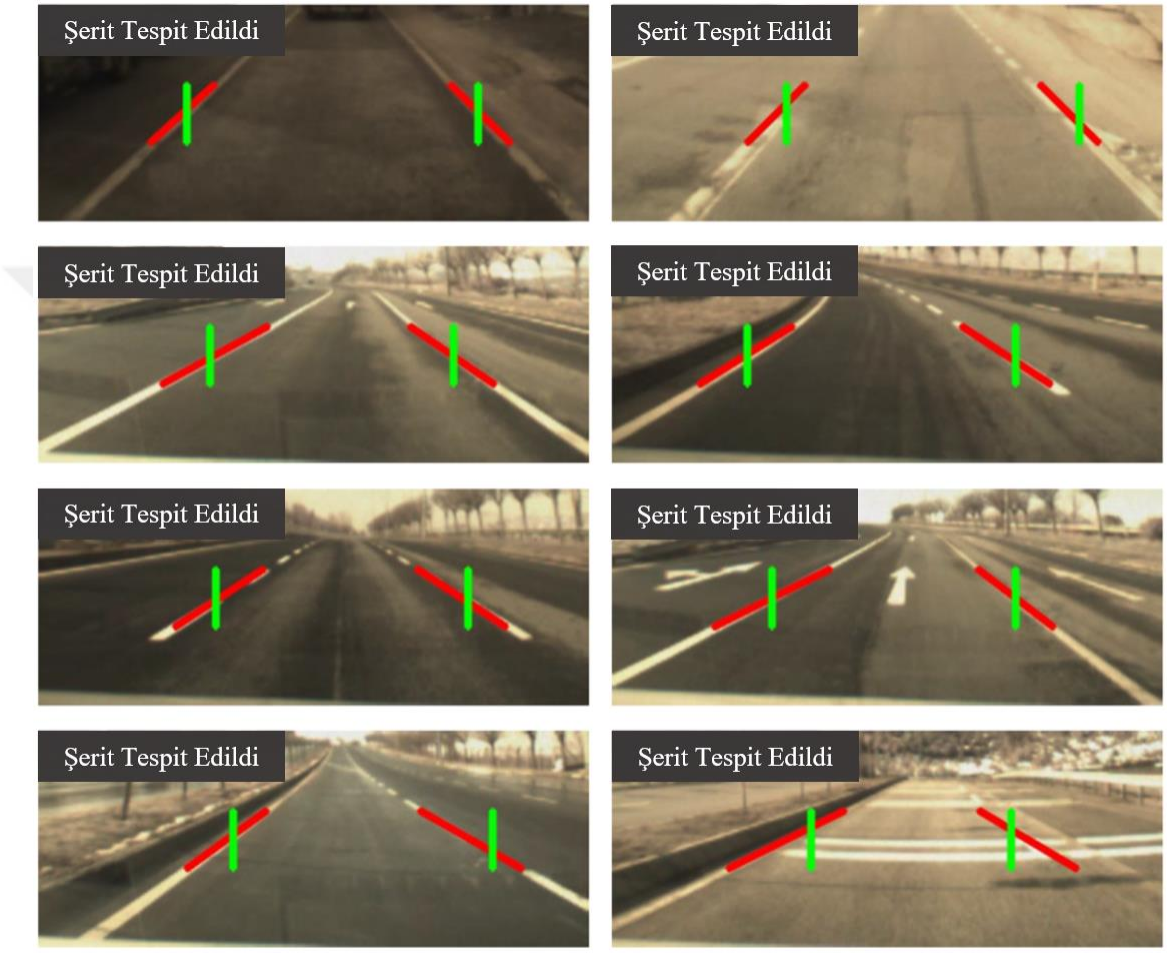
Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen şeritten ayrılma uyarı sisteminin gömülü platform uygulaması, kameradan alınan 752×480 (WVGA) çözünürlüğe sahip giriş görüntüleri için 62,5 ms işlem süresiyle gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır. Tablo 3.11'de geliştirilen gömülü platform uygulamasının ara işlem basamaklarının bir görüntü çerçevesi için harcadığı süreleri verilmektedir.

Tablo 3.11. Gömülü platform üzerinde 1 görüntü çerçevesi için işlem süreleri

İşlem	Süre (ms)
Görüntüye kamera sürücüsü üzerinden erişim	0,003
Kırpma	0,030
Bayer desenden RGB renk uzayına dönüştürme	27,390
Gri seviyeli görüntüye dönüştürme	6,598
Şerit işareti filtresi	1,219
Eşikleme	0,853
Gauss korelasyonu	22,114
RANSAC işlemi	1,082
Kalman filtresi	0,259
Toplam	59,546

Küçükyıldız ve Ocak'ın [19] önerdiği yöntem ise 720×486 (NTSC) çözünürlüğe sahip giriş görüntüleri için bir DSP üzerinde 33,33 işlem süresinde çalışmaktadır. Gömülü sistemlere uyarlanan iki yöntem karşılaştırıldığında bu çalışma kapsamında önerilen sistemin şerit işareti tespit performansıyla öne çıktığı görülmektedir. Ancak bu aşamada [19]'da önerilen sistemde kullanılan DSP'nin işaret işlemeye özgü bir işlem birimi olduğu, bu çalışmada kullanılan işlemcinin ise ARM tabanlı genel amaçlı bir işlemci olduğu gözden kaçırılmamalıdır.

Şekil 3.37'de gömülü platform uygulamasının bir otomobilin ön camına montajı yapılarak sistemden alınan görüntüler üzerinden görsel şerit tespit sonuçları verilmektedir. Bu şekilde kırmızı renkli çizgiler şerit işareti tespit sonuçlarını, yeşil çizgiler ise şeritten ayrılma uyarı tespiti için kullanılan ortalama çizgiyi göstermektedir.



Şekil 3.37. Gömülü platform uygulaması görsel şerit işareti tespit sonuçları

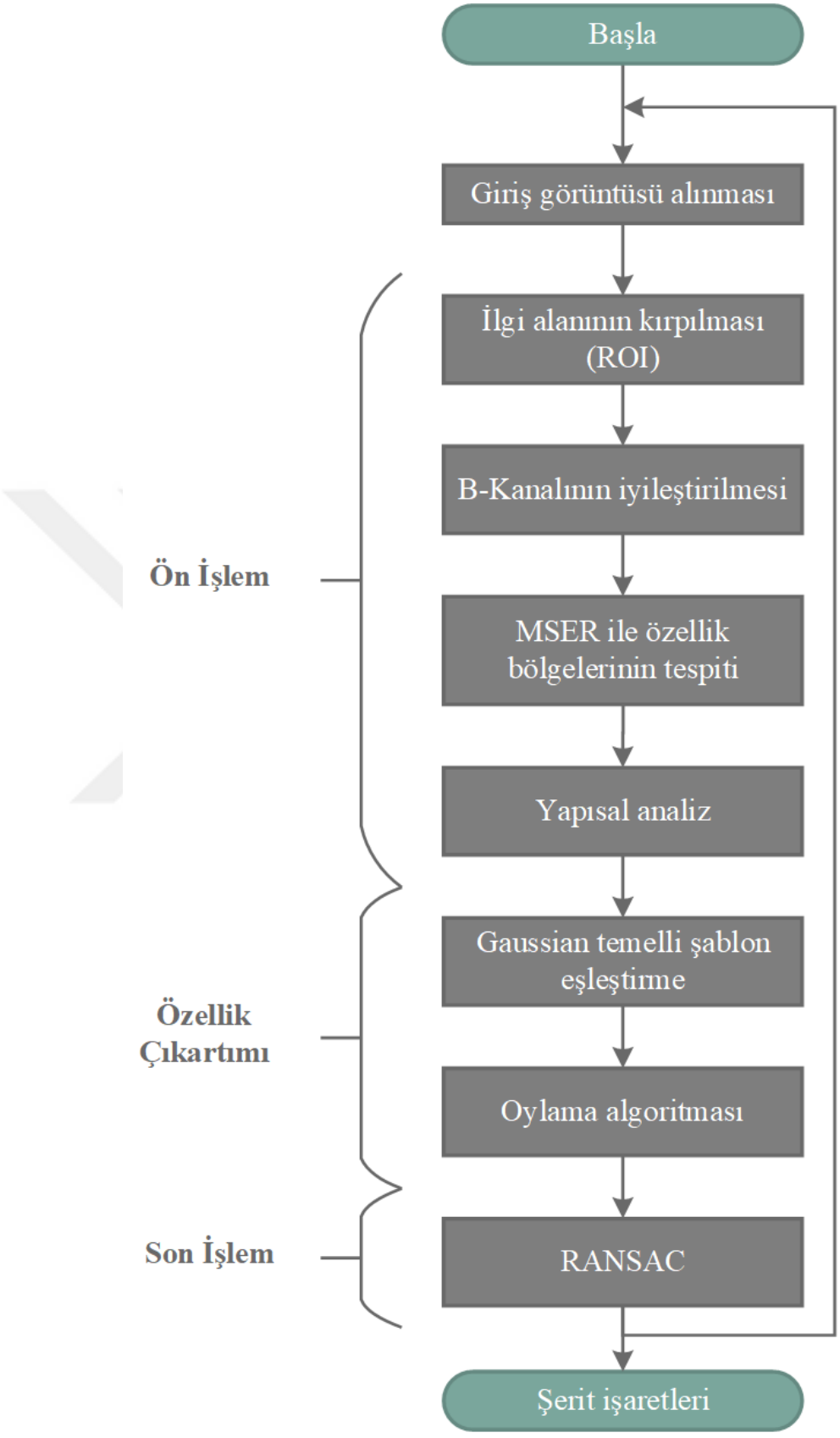
3.4.5. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında geliştirilen sistemin 1 GHz frekansındaki ARM Cortex-A8 işlemci üzerinde 752×480 piksel çözünürlüğe sahip giriş görüntüleri için 62,5 ms'de gerçek zamanlı olarak çalışması sağlanmıştır. Görüntü alma aşamasında farklı RGB görüntü oluşturma aşaması önemli miktarda zaman harcamakta olup ileriki çalışmalarda bu sürenin azaltılması hedeflenmektedir. Önerilen haliyle bu çalışmada geliştirilen sistem gerçek zamanlı çalışmasının yanı sıra ortalama Caltech veritabanında %82 şerit tespit performansıyla yakın zamanda literatürde önerilen

benzer sistemlere göre daha yüksek bir şerit tespit başarımına sahiptir. Borkar veritabanında ise hesapsal yük ve performans birlikte değerlendirildiğinde önerilen yöntem düşük hesapsal yük ile daha başarılı sonuçlar sağlamaktadır.

3.5. Mobil Platform üzerinde Gerçek Zamanlı Işıklılık ve Gölge Değişmez Şerit Tespiti

Tezin bu bölümünde sunulan yöntemin blok şeması Şekil 3.38'de gösterilmiştir. Önerilen tek girişli görüntü tabanlı şerit algılama yönteminin üç ana aşaması vardır. İlk adım, giriş görüntüsünün geliştirilmiş B renk kanalından MSER'ler elde etmektir. İkinci aşamada, bazı MSER'ler, yapısal analiz ve Gauss tabanlı şablon eşleştirmeyi içeren bir melez yöntem kullanılarak elimine edilir. Son olarak, RANSAC yaklaşımı, bozucu (outlier) değerleri ortadan kaldırarak şerit işaretlerini saptamak için önceki adımda elde edilen korelasyon katsayıları üzerinde kullanılır.



Şekil 3.38. Önerilen yöntemin blok gösterimi

3.5.1. Şerit işaretlerinin tespiti

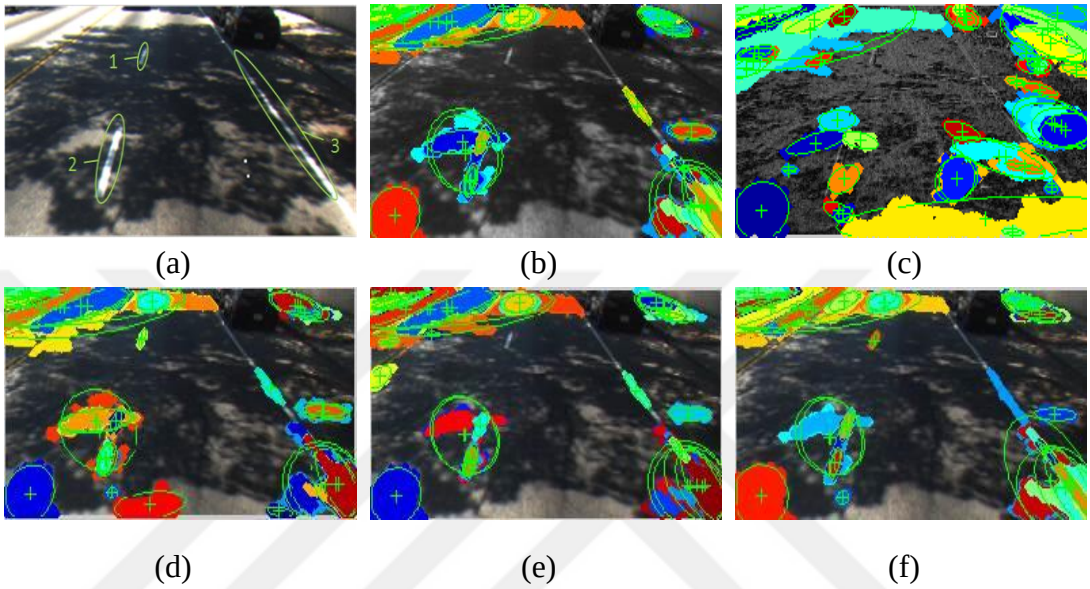
3.5.1.1. Ön işlem

Ön işleme aşaması, geliştirilmiş B kanalı görüntüsünü oluşturma ve MSER tespit adımlarını içermektedir. Önerilen şerit tespit yöntemi işlemleri, gerçek zamanlı çalışma performansını elde etmek için seçilen ROI üzerinde gerçekleştirilmektedir.

MSER, (Matas ve diğ., 2014) tarafından önerilen yoğunluğa (intensity) bağlı bir bölge (blob) tespit yöntemidir. MSER algoritması, literatürde yazı tespiti, stereo eşleme ve nesne tespitinde kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, ölçek ve ilgin-dönüşümüne (affine-transform) karşı değişmez özellikte olması ile birçok gerçek hayat koşuluna uygundur. MSER kavramı yoğunluk görüntüsünün bir eşik seviyesi kümesinin tüm değerleri ile eşiklenmesi sonucu elde edilen ikili görüntülere dayanmaktadır. Daha sonra bu ikili görüntüler arasında küçük değişikliklere sahip kararlı (stable) bağlı bölgeler MSER olarak tespit edilmektedir. MSER yaklaşımının, tespit edilen bölge sayısını doğrudan etkileyen bazı parametreleri vardır. Örneğin, eşik seviyesi adım aralığı nispeten düşük bir değere ayarlanırsa, tespit edilen MSER'lerin sayısı artmaktadır. Bu adım büyüklüğü nispeten daha yüksek bir değere ayarlandığında ise daha stabil bölgeler elde etmek mümkün olmaktadır.

Işıklılık ve gölge etkileri, şerit tespit sistemleri için tutarsız sonuçlar üreterek ciddi sorunlara neden olabilir. MSER, yol görüntülerinde kaldırım, araç ve şerit gibi ekstrem (extremal) bölgeleri tespit etmek için kullanılabilir. Ancak, gölgeler ve ışıklılık değişiklikleri MSER algılama sonuçlarını etkileyebilir. Bu durumlarda, şeritler tespit edilemeyebilir veya tespit edilen bölgelerin büyüklükleri gerçek bölge büyüklüğünden sapma gösterebilir. MSER'in bu davranışı, şerit algılamanın performansını önemli ölçüde azaltabilmektedir. Zorlu gölge ve ışıklılık değişimi durumlarında daha iyi şerit tespit performansı elde etmek için önerilen yöntem, farklı renk uzay kanalları (örn. RGB: kırmızı, mavi, yeşil, HSV: renk özü, doygunluk, parlaklık) ve gri-seviyeli görüntü üzerinde MSER'in performansını incelemektedir. Şekil 3.39, farklı renk uzay kanalları üzerinde tespit edilen MSER'leri göstermektedir. Şekil 3.39(a)'da, giriş görüntüsü üzerindeki üç şerit işareti bölgesi bulunmaktadır. Bu bölgeler, farklı renk kanalları üzerindeki MSER algılama performansını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu şekil üzerinde kullanılan farklı renk kodları, MSER yaklaşımı

tarafından algılanan farklı bölgeleri temsil etmektedir. Şekil 3.39(f)'de görüldüğü gibi, B kanalının kullanılması durumunda neredeyse üç bölgenin tümü MSER olarak algılanmaktadır.Bu da bu renk kanalını aday şerit işareti tespiti için uygun hale getirmektedir. Diğer renk kanalları, bazı şerit işaretlerini kaçırmak suretiyle güvenilir sonuçlar sağlamamaktadır.



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

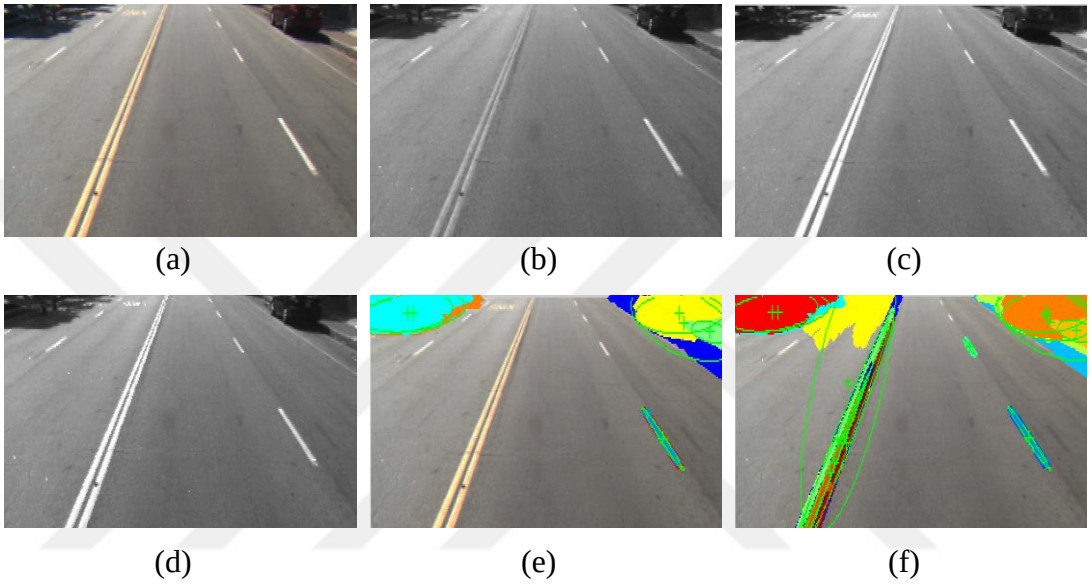
Şekil 3.39. Farklı kanallarda MSER tespit sonuçları (a) Orjinal görüntü b) Gri-seviyeli görüntü üzerinde MSER sonuçları (c) Renk özü kanalı üzerinde MSER sonuçları (d) Kırmızı kanal üzerinde MSER sonuçları (e) Yeşil kanal üzerinde MSER sonuçları (f) Mavi kanal üzerinde MSER sonuçları

Şerit işaretleri genellikle yol yüzeyinde beyaz veya sarı renk boyalar kullanılarak oluşturulmaktadır. Beyaz şerit işaretleri, değişken gölge ve ışıklandırma durumunda bile RGB renk uzayının mavi (B) renk kanalını kullanarak MSER tabanlı bir yaklaşımla kolayca tespit edilebilir. Bununla birlikte, sarı şerit işaretlerinde algılama performansı daha azdır çünkü saf sarı renk kırmızı ve yeşil kanalların maksimum katkısıyla üretilmektedir. Bu nedenle, bu tip şerit işaretlerinin tespitinde B kanal görüntüsünü kullanmanın dezavantajını azaltmak ve şerit işaretlerini tespit etmek amacıyla B kanalı görüntüsünün geliştirilmesi bu tez kapsamında önerilmektedir. Geliştirilmiş B kanal görüntüsü Eşitlik (3.15) ve Eşitlik (3.16) kullanılarak elde edilir.

$$B(x,y) = B(x,y) + \left(\left(|R(x,y) - B(x,y)| \right) \times (1 - L) \right) \tag{3.15}$$

$$L = \mathrm{OTSU}\left(\frac{|R(x,y) - B(x,y)|}{\max(|R(x,y) - B(x,y)|)}\right) \tag{3.16}$$

R(x,y) ve B(x,y) giriş görüntüsünün kırmızı ve mavi kanallarını belirtirken, L ise Otsu algoritması ile elde edilen eşik değeridir. MSER tespit sonuçları Şekil 3.40'da gösterilmektedir. Bu şekilden görüleceği üzere geliştirilmiş B kanalı yaklaşımı sarı şerit işareti bölgelerinde MSER tespit sonuçlarını iyileştirmektedir.



Şekil 3.40. Geliştirilmiş B kanalı MSER tespit sonuçları (a) Orjinal görüntü (b) Orjinal görüntünün B kanalı (c) Orjinal görüntünün kırmızı kanalı (d) Önerilen geliştirilmiş B kanalı (e) B kanalı üzerinde MSER sonuçları (f) Önerilen geliştirilmiş B kanalı görüntüsü üzerinde MSER sonuçları

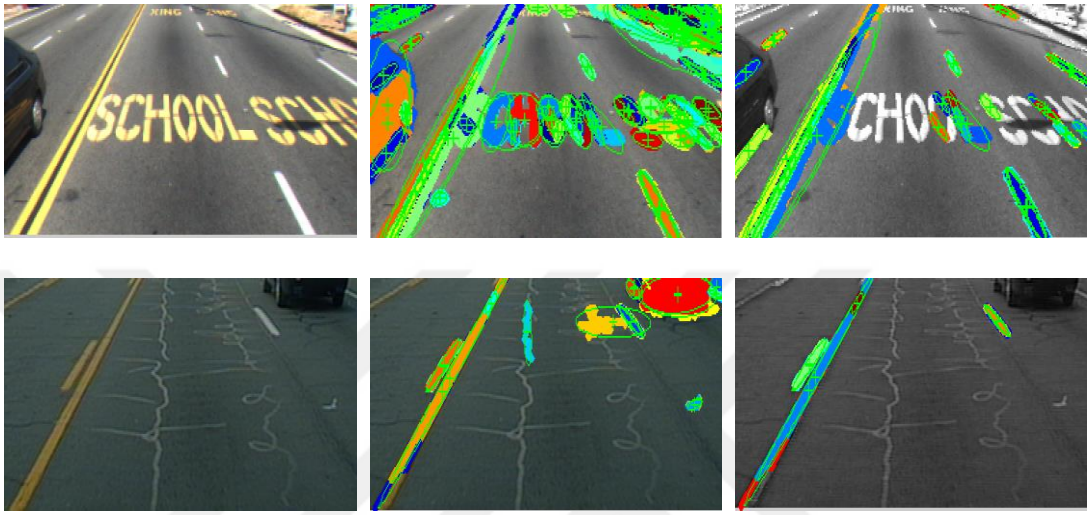
3.5.1.2. Özellik çıkartımı

MSER'ler ön işleme aşamasında elde edildikten sonra özellik çıkarma işlemi gerçekleştirilir. Bu çalışmada kullanılan özellik çıkarma yaklaşımı, aday bölgelerin yapısal analizine ve 1-D Gauss şablon eşleştirmesine dayanmaktadır.

Yapısal analiz:

MSER'lerin boyut ve yönelim (orientation) gibi bazı özellikleri vardır. Bu ayırt edici özellikleri kullanarak, şerit işareti özelliklerini göstermeyen bazı bölgeler elenebilir. Yakalanan görüntüdeki şerit işareti yönelimleri, görüntü sensörünün pozisyonuna ve lens özelliklerine bağlı olarak belirli bir aralıkta değişmektedir. Belirtilen aralığın dışında bir yönelime sahip olan MSER'ler elimine edilir. Şerit işaretleri ince bir yapıya

sahiptir, bu da yükseklik / genişlik oranının genel olarak 2'den yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Önerilen yöntemde, boyut oranlarını elde etmek için MSER'ler üzerine elipsler uydurulmuştur. Belirli bir MSER'in elipsinin eksenlerinin oranı sabit bir eşikten düşük ise, bu MSER basitçe elimine edilir. Şekil 3.41, MSER'lerin bu yönelim ve boyut oranına dayalı yapısal eleme örneklerini göstermektedir.



(a) (b) (c)

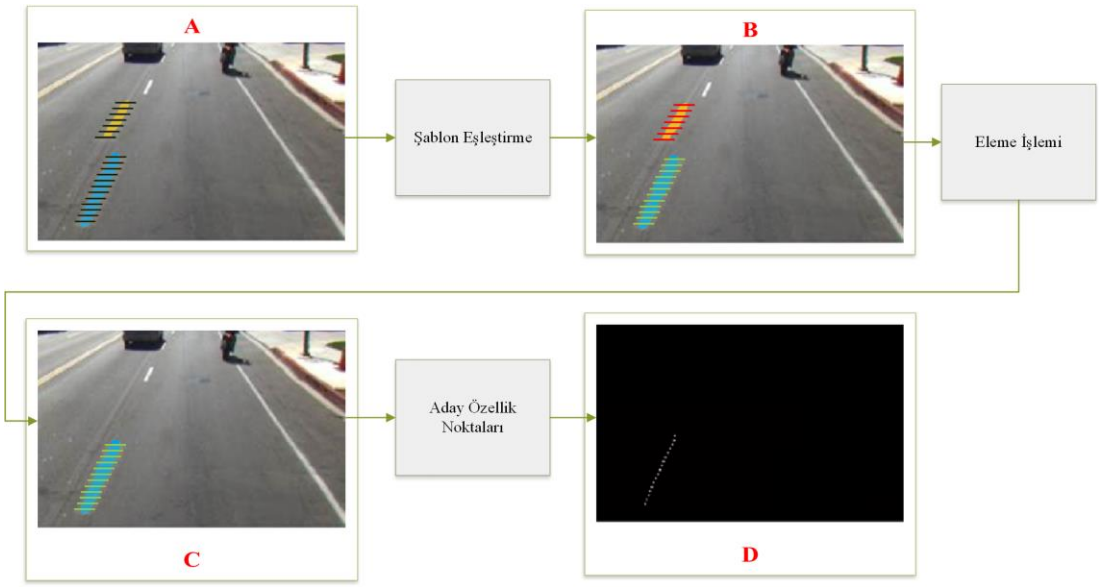
Şekil 3.41. MSER'lerin yapısal eleme işlemi (a) Orjinal görüntü (b) MSER tespit sonucu (c) Yönelim ve boyut oranı elemesi sonrası MSER tespit sonucu

Gaussian temelli şablon eşleştirme:

Şerit işaretlerinin sürücüler ve yayalar tarafından fark edilmesi gerekir. Böylelikle, şeritler farklı renklerle boyanmakta ve sürücüler, şeritleri tipik gri yollardan kolayca ayırt edebilmektedir. Şerit işaretleri boyunca koyu açık koyu (DLD) ışıklılık geçişinin olduğu Bölüm 3.3.1.2 ve Bölüm 3.4.1.2'de detaylı açıklanmıştır. Önceki aşamalarda elde edilen MSER'ler, bu ek şekil bilgisi kullanılarak daha ayrıntılı olarak incelenebilmektedir. Şeritlerde algılanan bir MSER, bu DLD geçiş özelliğini göstermelidir. Normalleştirilmiş çapraz korelasyon tekniği tabanlı şablon eşleştirmesi, [68] tarafından sunulan yönteme benzer bir amaçla şerit olmayan bölgeleri elemek için MSER'ler üzerinde önceden tanımlanmış bir şablon kullanılarak gerçekleştirilir. Korelasyon hesaplaması için şablon, farklı veritabanlarından şerit işaret genişliklerinin ortalaması alınarak oluşturulmaktadır.

Çapraz korelasyon hesabı hesapsal karmaşıklığı azaltmak amacıyla MSER'lerin belirli örneklenmiş satırları için yapılmaktadır. Örnekleme aralığı olabildiğince küçük

tutulmaktadır. Bununla birlikte, örnekleme aralığı bölgenin yüksekliğine orantılı olarak arttırılabilir. MSER'de belirli bir satır için şablon eşleştirme sonuçlarının çoğu sabit bir eşikten büyükse, bu satır sonraki adım için saklanır. Aksi takdirde, bu satır bir yol dışı bölge olarak kabul edildiğinden elimine edilir. Bu noktada MSER bölgesinde kalan satır sayısı ikinci eleme aşamasında hesaplanır. Belirli bir MSER için satırların çoğunluğu yol dışı alan olarak işaret edilirse, bu MSER doğrudan elenir. Bu süreç tespit edilen her MSER için tekrarlanır. Son olarak, elimine edilmemiş her bir MSER'in maksimum korelasyon katsayısını veren pozisyon, şerit özellik noktaları olarak belirlenmektedir. Şekil 42'de önerilen oylama algortimasının işleyişi örnek bir görüntü üzerinden gösterilmektedir. "A" olarak etiketlenen giriş görüntüsünde bulunan MSER'ler için "siyah" ile gösterilen kesit alanlarında şablon eşleştirme işlemi uygulanır. Şablon eşleştirme sonucu belirlenen eşik değerinden büyük olanlar "B" olarak etiketlenen görüntüde "yeşil", diğerleri "kırmızı" renk ile gösterilmektedir. Şablon eşleştirme sonucu her bir MSER bölgesinin eşleşen kesit sayısı (yeşil kesitler) bir eşik değeri ile karşılaştırılır. Bu eşik değerinden düşük olan bölgeler elenmektedir. Eleme işlemi sonucu "C" etiketli görüntüde gösterilmektedir. Eşik değerinden büyük olan bölgelerin kesitlerindeki maksimum korelasyon katsayısını veren pozisyonlar "D" olarak etiketlenen görüntüde gösterildiği gibi aday şerit özellik noktaları olarak belirlenir.

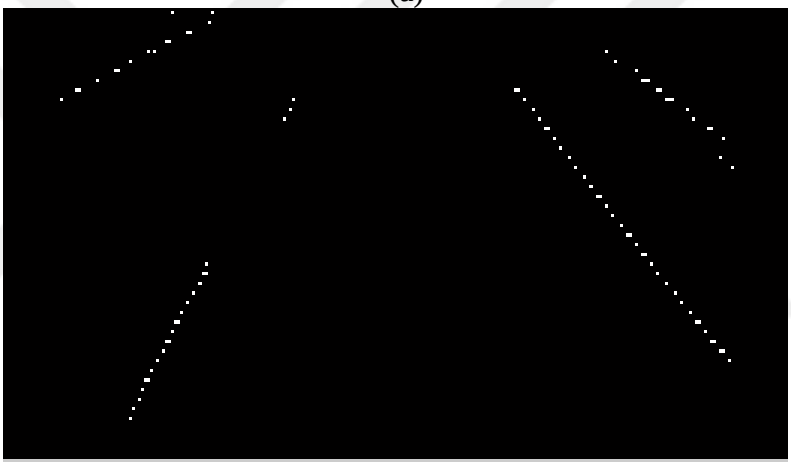


Şekil 3.42. Oylama algoritması işlem adımları

Şekil 3.43, çoğunluk oylaması (majority voting) yaklaşımı kullanılarak örnek bir görüntü için elde edilen özellik noktalarını göstermektedir.



(a)

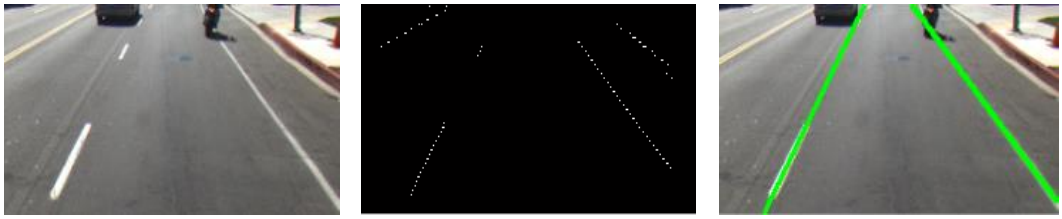


(b)

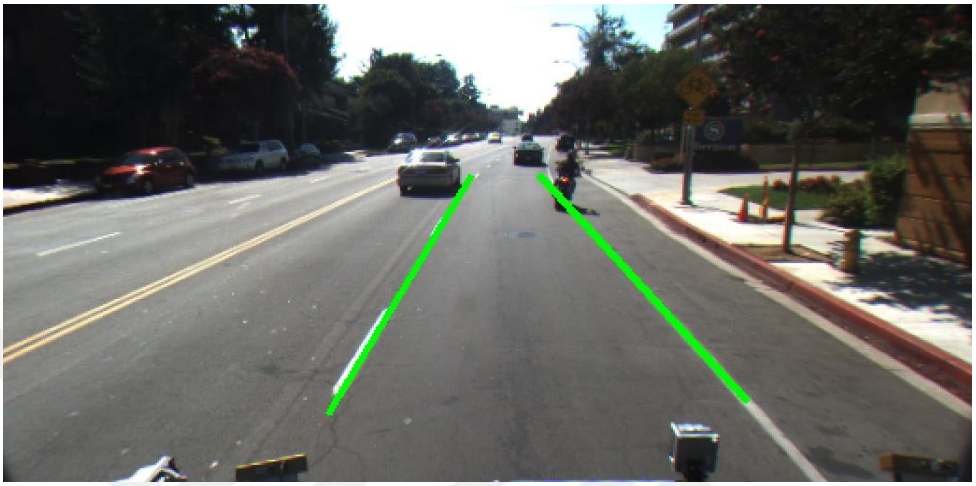
Şekil 3.43. Önerilen oylama algoritması (a) Orjinal görüntü (b) Şerit özelliklerini gösteren noktalar

3.5.1.3. Son işlem

Önceki aşamada aday şerit işaretleme özellikleri elde edilmiştir. Önerilen şerit tespit yönteminde, bozucu özellik noktalarını elemek için RANSAC algoritması tarafından düz çizgiler tespit edilir. Bu amaçla RANSAC için bir çizgi modeli kullanılmaktadır. Çizgiye belirli bir mesafede bulunan özellik noktaları, uygun noktalar (inlier) olarak kabul edilir. RANSAC aşamasından sonra şerit tespit sonuçları Şekil 3.44'te gösterilmektedir.



(a) (b) (c)



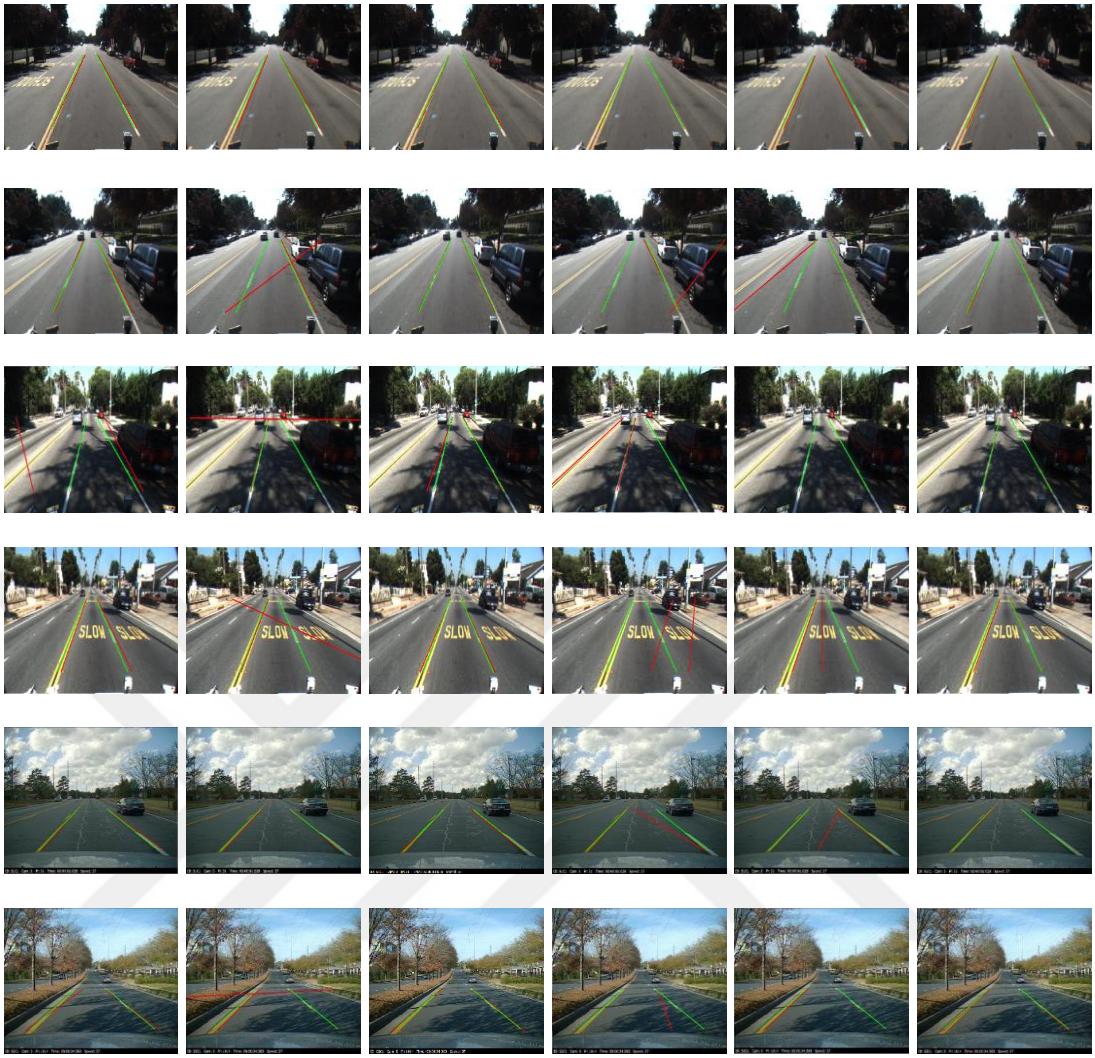
(d)

Şekil 3.44. Önerilen yöntemin şerit işareti tespit sonuçları (a) Orjinal görüntü (b) Tespit edilen özellik noktaları (c) ROI üzerinde tespit edilen sonuçlar (d) Orjinal görüntü üzerinde tespit edilen sonuçlar

3.5.2. Deneysel sonuçlar

Şerit işareti tespit performansı değerlendirmesi Bölüm 3.1'de detaylı açıklanan doğruluk (accuracy - ACC) ölçütü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.45'de önerilen yöntem ile birlikte (Borkar ve diğ., 2012), (Espinoza ve Torriti, 2013), (Küçükyıldız ve Ocak, 2014), (Gaikwad ve Lokhande, 2015), (Mammeri ve diğ., 2016)'nin önerdiği yöntemlerin koşturulduğu Caltech veritabanından alınan görüntüler ve Borkar veritabanından alınan farklı görüntüler için görsel tespit sonuçları verilmektedir. Şekil 46, Şekil 47, Şekil 48, Şekil 49, Şekil 50 ve Şekil 51'de ise bu görüntülerin boyutları büyütülmüş görselleri verilmektedir. Bu şekillerden görüldüğü gibi, önerilen yöntem, zorlu yol ve ışıklılık durumları için güvenilir şerit tespit sonucu sağlamaktadır.



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

Şekil 3.45. Bütün veritabanları için görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem



(a) (b) (c)



(d) (e) (f)

Şekil 3.46. Cordova1 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem



(a) (b) (c)



(d) (e) (f)

Şekil 3.47. Cordova2 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem



(a) (b) (c)



(d) (e) (f)

Şekil 3.48. Washington1 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem



(a) (b) (c)



(d) (e) (f)

Şekil 3.49. Washington2 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem



(a) (b) (c)



(d) (e) (f)

Şekil 3.50. S1C1 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem



(a) (b) (c)



(d) (e) (f)

Şekil 3.51. S2C1 görüntü seti için büyütülmüş görsel şerit işareti tespit sonuçları (a) Borkar ve diğ. (b) Espinoza ve Torriti (c) Küçükyıldız ve Ocak (d) Gaikwad ve Lokhande (e) Mammeri ve diğ. (f) Önerilen yöntem

Tablo 3.12 ve Tablo 3.13 sağ ve sol şerit işaretleri için ayrı olmak üzere Caltech ve Borkar veritabanlarında doğruluk metriği kullanılarak nesnel performans

değerlendirmelerini göstermektedir. Ayrıca genel bir karşılaştırma için sağ ve sol şerit tespit performansı ortalaması ve genel ortalamalarını göstermektedir. Tablo 3.12 ve Tablo 3.13 birlikte değerlendirildiğinde tez çalışmasının bu aşamasında önerilen yöntemin Caltech ve Borkar veritabanlarının sahip olduğu tüm olumsuz koşullara karşı gürbüz çalıştığı görülmektedir. Önerilen yöntemin aşamaları detaylı incelendiğinde MSER temelli ön işlem yönteminin ışıklılık ve gölgenin, yapısal analizin ise çatlakların tespit performansı üzerindeki olumsuz etkilerini giderdiği görülmüştür. Son aşamada bulunan oylama algoritmasıyla diğer aşamalarda elenmeyen olumsuz etkiler giderilerek sistemin gürbüz bir şekilde çalışması sağlanmaktadır.

Tablo 3.12. Şerit işareti tespit yöntemlerinin Caltech [5] veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC)

	(Borkar ve diğ., 2012)			(Espinoza ve Torriti, 2013)			(Küçükyıldız ve Ocak, 2014)			(Gaikwad ve Lokhande, 2015)			(Mammeri vd., 2016)			Önerilen Yöntem		
Sahne	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.
C1	0,77	0,68	0,72	0,63	0,66	0,64	0,83	0,91	0,87	0,68	0,36	0,52	0,88	0,70	0,79	**0,92**	**0,92**	**0,92**
C2	0,62	**0,51**	0,57	0,58	0,42	0,50	0,53	0,25	0,39	0,06	0,14	0,10	0,78	0,33	0,56	**0,87**	0,33	**0,60**
W1	0,49	0,67	0,58	0,62	0,36	0,49	0,76	**0,79**	**0,78**	0,67	0,11	0,39	0,27	0,26	0,27	**0,81**	0,73	0,77
W2	0,79	0,79	0,79	0,47	0,59	0,53	0,85	**0,88**	0,87	0,83	0,27	0,55	0,77	0,59	0,68	**0,87**	**0,80**	**0,84**
Ort.	0,65	0,64	0,64	0,58	0,49	0,53	0,71	**0,65**	0,68	0,50	0,20	0,35	0,66	0,44	0,55	**0,86**	**0,65**	**0,76**

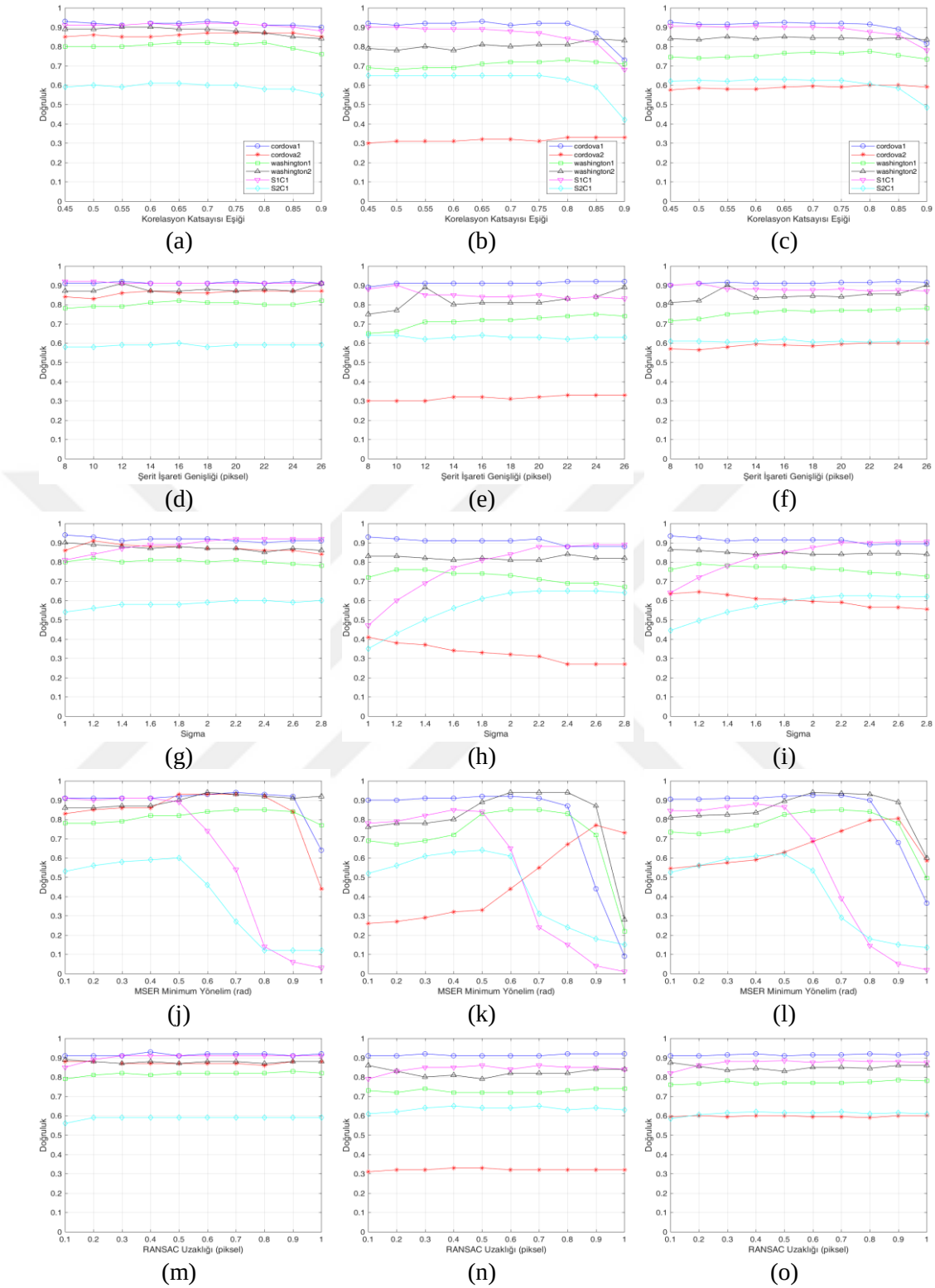
Tablo 3.13. Şerit işareti tespit yöntemlerinin (Borkar ve diğ., 2012) veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC)

	(Borkar ve diğ., 2012)			(Espinoza ve Torriti, 2013)			(Küçükyıldız ve Ocak, 2014)			(Gaikwad ve Lokhande, 2015)			(Mammeri vd., 2016)			Önerilen Yöntem		
Sahne	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.	Sol	Sağ	Ort.
S1C1	**0,91**	0,58	0,75	0,78	0,44	0,61	0,74	0,78	0,76	0,87	0,55	0,71	0,66	0,70	0,68	**0,91**	**0,84**	**0,88**
S2C1	**0,62**	0,51	0,57	0,25	0,16	0,20	0,40	0,51	0,46	0,29	0,29	0,29	0,30	0,29	0,30	0,59	**0,64**	**0,62**
Ort.	**0,76**	0,55	0,65	0,51	0,30	0,41	0,57	0,65	0,61	0,58	0,42	0,50	0,48	0,49	0,49	0,74	**0,74**	**0,74**

Önerilen yöntemde kullanılan tüm parametreler ve sabit olan değerleri Tablo 3.14'de verilmiştir. Tablo 3.12 ve Tablo 3.13'de verilen performans sonuçları Tablo 3.14'de verilen parametre değerlerine göre verilmiştir. Önerilen şerit işareti tespit yönteminin performansı, yöntemde kullanılan tüm parametrelerin farklı değerleri (10 değer) için analiz edilmiştir. Şekil 3.52, önemli parametrelerin farklı değerleri için önerilen yöntemin genel doğruluğunu (accuracy) göstermektedir.

Tablo 3.14. Önerilen yöntemde kullanılan parametreler

Parametre	Değer	Açıklama
Korelasyon Katsayısı Eşiği	0,8	Korelasyon hesabında kullanılır
Şerit İşareti Genişliği	20	Şerit işareti genişliğinin piksel boyutu
Sigma	2	Gauss fonksiyonunun Sigma değeri
MSER Maksimum Alan Varyasyonu	0,1	Değişken ışıklılık eşik seviyelerinde ekstrem bölgeler arasındaki maksimum alan varyasyonu değeri
MSER Minimum Yönelim	0,4	Bir MSER'in şerit işareti olarak minimum yönelimi
MSER Maksimum Yönelim	1,2	Bir MSER'in şerit işareti olarak maksimum yönelimi
RANSAC Uzaklığı	0,1	Bir noktanın bir uygun nokta (inlier) olup olmadığına karar vermek için veri noktası ile düz çizgi arasındaki kullanılan uzaklık
MSER Bölgesi Alan Aralığı Maksimum	4080	Maximum size of the region in pixels
MSER Bölgesi Alan Aralığı Minimum	10	Minimum size of the region in pixels
MSER Eşik Delta	1,5	MSER tespitinde ölçüt olarak kullanılan ışıklılık eşik seviyeleri arasındaki adım aralığı
Boyut Oranı	3	MSER yükseklik/genişlik oranı
Oylama Eşiği	0,2	Bir MSER için MSER yüksekliğine oranla Korelasyon Katsayısı Eşiğinden daha büyük korelasyon sonucu sayısı
Örnekleme Aralığı	3	Korelasyon hesaplama aralığının minimum değeri
Örnek oranı	0,01	Örnek Oranı Örnekleme Aralığını bir MSER'nin yüksekliğine oranla belirler



Şekil 3.52. Değişken parametreler ile önerilen yöntemin değerlendirme sonuçları (a) Sol, (b) Sağ, (c) Ortalama tespit sonuçları korelasyon katsayısı eşiği ile (d) Sol, (e) Sağ, (f) ortalama tespit sonuçları şerit işareti genişliği ile (g) Sol, (h) Sağ, (i) Ortalama tespit sonuçları sigma ile (j) Sol, (k) Sağ, (l) Ortalama tespit sonuçları MSER minimum yönelim ile (m) Sol, (n) Sağ, (o) Ortalama tespit sonuçları RANSAC uzaklığı ile

Şekil 52'de görüldüğü üzere, önerilen yöntemin performansı doğrudan parametrelerin belirli değerlerine bağlı değildir. Önerilen yöntem, giriş parametrelerinin geniş bir aralığı için yüksek doğruluk sağlayabilmektedir. Performansın azaldığı tek durum, MSER minimum yönelim parametresinin 0,5 rad'den daha yüksek bir değere ayarlandığı Şekil 3.52(j-l)'de gösterilmektedir (yani, 28,6°). Bu, beklenen bir durumdur çünkü bu parametre daha yüksek değerlerine artırıldığında gerçek şerit işaretlerini ortadan kaldırabilir. Dolayısıyla, önerilen yöntemin performansının belirli parametre değerlerine, sabit kamera kurulumuna veya belirli bir veri tabanına bağlı olmadığı açıktır.

Önerilen yöntem 2,3 GHz Quad core CPU'lu bir PC'de MATLAB üzerinde uygulanmaktadır. Önerilen yöntem ile birlikte (Borkar ve diğ., 2012), (Espinoza ve Torriti, 2013), (Küçükyıldız ve Ocak, 2014), (Gaikwad ve Lokhande, 2015), (Mammeri ve diğ., 2016)'nin önerdiği yöntemlerin bir girdi çerçevesi için ortalama toplam çalışma zamanları Tablo 3.15'de verilmektedir. Bu yöntemler, önerilen yöntemin performans değerlendirmesi için MATLAB üzerinde kodlanmıştır. Tüm uygulamalar benzer kod optimizasyon seviyesine sahiptir. Bu sonuçlardan görüldüğü üzere önerilen yöntem literatürdeki diğer yöntemlere kıyasla makul düzeyde hesapsal yüke sahiptir. (Küçükyıldız ve Ocak, 2014) ve (Gaikwad ve Lokhande, 2015) yöntemleri önerilen yöntemden daha hızlı olmasına rağmen, şerit tespit performanları Tablo 3.12 ve Tablo 3.13'de görüldüğü gibi önerilen yönteme kıyasla önemli ölçüde düşüktür. Bu nedenle, önerilen yöntem iyi bir performans / hız ödünleşimine sahip olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 3.15. Şerit işareti tespit yöntemlerinin PC üzerinde bir çerçeve için ortalama çalışma süreleri

	(Borkar ve diğ., 2012)	(Espinoza ve Torriti, 2013)	(Küçükyıldız ve Ocak, 2014)	(Gaikwad ve Lokhande, 2015)	(Mammeri vd., 2016)	Önerilen Yöntem
Sahne	8520 ms	2520 ms	169 ms	180 ms	50 ms	550 ms

3.5.3. Mobil platform uygulaması

Önerilen yöntem ayrıca C++ dili ile Android işletim sistemi ve iOS kullanan akıllı telefonlarda uygulanmıştır. iOS platformu için, kodlama Swift kullanılarak gerçekleştirilmiştir. OpenCV kütüphaneleri Objective C'de çalıştırılmak üzere derlenmiştir. Ardından, yakalanan görüntü karelerini işlemek için Swift'deki bu Objektif C fonksiyonları kullanılmaktadır. Android platformu için, uygulama Java-

DVM ile geliştirilmiştir. Bununla birlikte, görüntü işleme kısmı C++ dili ile OpenCV kütüphaneleri kullanılarak yazılmaktadır ve Java-DVM'de kullanmak için NDK (Native Development Kit) kullanılarak derlenmektedir.

Bu cihazların teknik özellikleri Tablo 3.16'da verilmektedir. Ayrıca, mobil CPU'lar tarafından sağlanan SIMD (Tekli Komut Çoklu Veri) yapısı, gerçek zamanlı işlemeyi mümkün kılmak için kullanılmaktadır. Tablo 3.17, önerilen yöntemin VGA (640×480 piksel) giriş görüntüleri için milisaniye cinsinden ortalama çalışma sürelerini göstermektedir. Uygulama zamanları C++ sistem fonksiyonları kullanılarak elde edilmiştir.

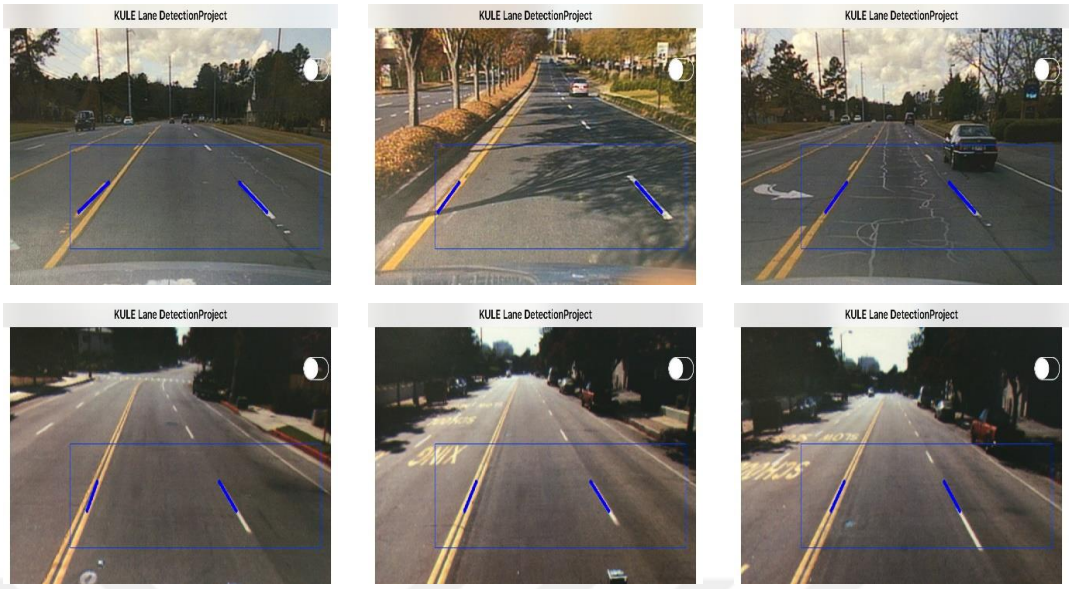
SIMD kullanımı hesaplama performansını önemli ölçüde artırmaktadır. Bu tablodan görüldüğü gibi, tek bir video karesi için gereken toplam süre Android OS için 30,94 ms ve iOS için 22,65 ms'dir. Şekil 3.53'de, önerilen yöntem mobil cihazda çalışırken mobil cihaz ekranının ekran görüntüleri gösterilmektedir.

Tablo 3.16. Akıllı telefonların teknik özellikleri

	Sony Xperia C4	iPhone 6S
CPU	Octa-core 1,7 GHz Cortex-A53	Dual-core 1,84 GHz Twister
RAM	2 GB	2 GB
Ekran Çözünürlüğü	1080 x 1920 piksel	750 x 1334 Piksel
OS	Android OS v5.0 (Lollipop)	iOS 9

Tablo 3.17. Akıllı telefonlar üzerinde ortalama çalışma süreleri

Aşama	Android OS üzerinde harcanan zaman	iOS üzerinde harcanan zaman
Ön işlem	14,60 ms	6,93 ms
Özellik Çıkartımı	16,10 ms	15,16 ms
Son işlem	0,24 ms	0,56 ms
Toplam	30,94 ms	22,65 ms



Şekil 3.53. Önerilen yöntemin mobil cihaz uygulamasının ekran görüntüleri

3.5.4. Sonuçlar

Tezin bu bölümünde, tek bir giriş görüntüsünü kullanan yeni bir şerit tespit yöntemi sunulmuştur. Önerilen yöntemin ana hedefi, şiddetli gölge ve ışıklılık etkileri durumlarında bile gürbüz şerit tespit sonuçları sağlamaktır. Geliştirilmiş B kanal görüntüsü, aday bölgeleri tespit etmek için MSER yaklaşımında kullanılmıştır. Daha sonra, MSER'in özellikleri, nihai aday şerit noktalarına karar vermek için 1-boyutlu korelasyon temelli bir yaklaşımla birlikte değerlendirilir. Son aşamada, şerit konumlarına karar vermek için aykırı değerler elenmektedir. Deneysel sonuçlar, önerilen yöntemin, farklı koşullarda şerit işaretlerini mevcut yöntemlere göre daha hızlı bir şekilde daha yüksek doğrulukta belirleyebildiğini göstermektedir. Gerçek zamanlı mobil cihaz uygulamaları da önerilen yöntemin tüketici elektroniği sınıfı cihazlardaki performansını göstermek için üzere gerçekleştirilmiştir.

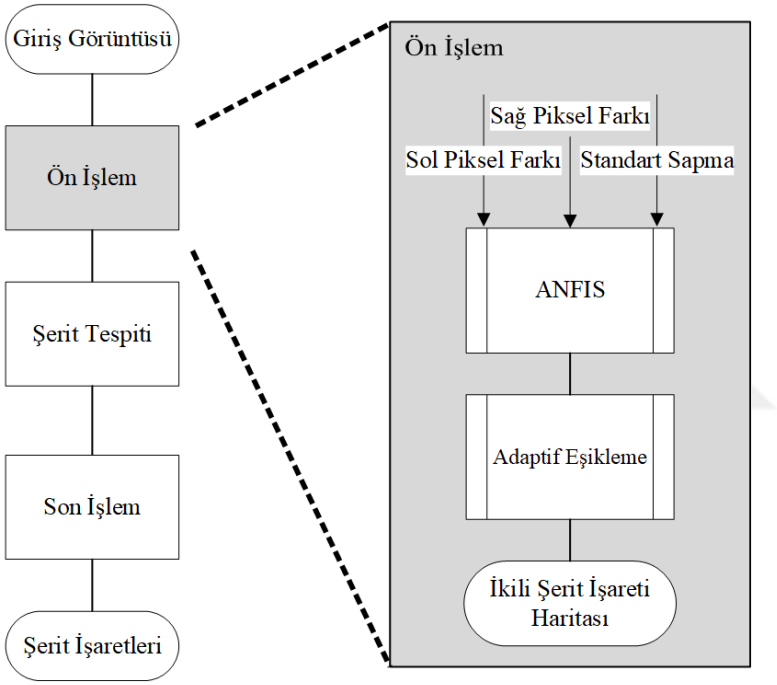
3.6. Adaptif-Sinir Bulanık Çıkarsama Sistemleri temelli Gerçek Zamanlı Şerit Tespit Filtresi

Tezin bu kısmında, gürbüz şerit işareti tespiti için bulanık çıkarım sistemi (Fuzzy Inference System) tabanlı bir filtre önerilmiştir. Filtre, bir piksel ile yatay yönde belirli bir mesafedeki sol ve sağ komşuları arasındaki farklar ve sol ve sağ komşular arasındaki piksellerin standart sapması olan üç girdi parametresine sahiptir. Ayrıca,

değişen ışıklılık koşulları, gölgeler ve yol çatlakları gibi zorlayıcı senaryolarla başa çıkmak için önerilen yaklaşıma uyarlanabilir bir öğrenme aşaması dahil edilmiştir.

3.6.1. Şerit işareti filtresi

Bu çalışmada, daha iyi şerit işareti tespiti performansı sağlayan adaptif sinir-bulanık çıkarsama sistemi (adaptive neuro-fuzzy inference system - ANFIS) bazlı bir filtre, [113]'de sunulan Eşitlik (3.5)'de verilen filtreden ilham alınarak geliştirilmiştir. Önerilen şerit işareti filtresinin akış şeması şerit tespit sisteminde vurgulanarak Şekil 3.54'te gösterilmektedir.



Şekil 3.54. Önerilen şerit işareti filtresinin blok diyagramı

İşlem yapılan merkez piksel (P_C) değeri ve daha önceden belirlenen şerit işareti genişliğinin yarısı uzaklığında bulunan konumdaki piksel değeri arasındaki fark sisteme bir giriş değeri olarak kullanılmaktadır. Bu fark işlemi merkez pikselin sağ (P_R) ve sol (P_L) tarafı için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. P_C, P_R ve P_L değerleri Şekil 3.55'de gösterilmektedir.

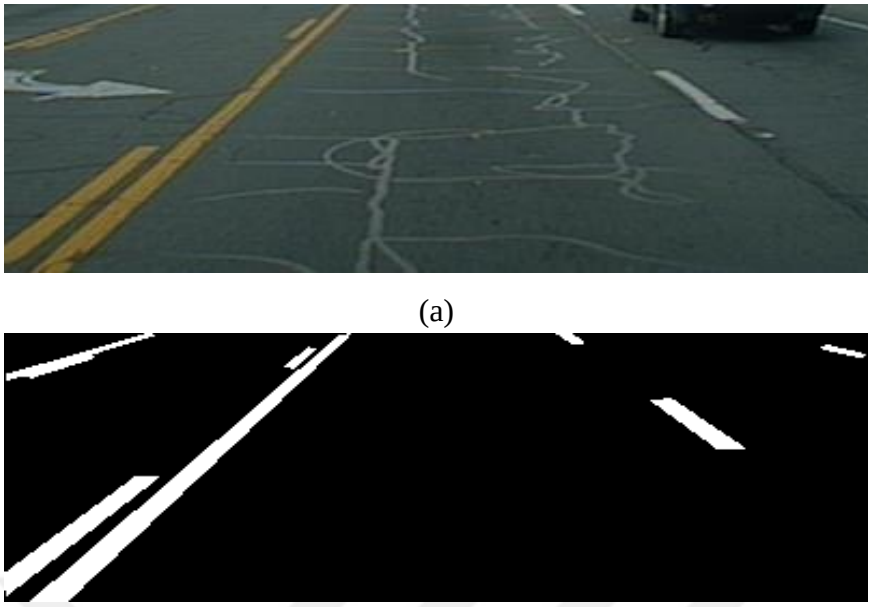


Şekil 3.55. Sistem girdi konumlarının görsel gösterimi

Sistemin iki girdisini bu farklar oluşturmaktadır. P_R ve P_L sınırları arasında oluşan 1×k'lık kesitin standart sapması ANFIS sisteme üçüncü girdi olarak kullanılmaktadır. Standart sapma parametresi şerit işaretlerini daha doğru elde etmek ve yanlış pozitif tespitleri önlemek için standart filtreye dahil edilmiştir. Ayrıca bu değerler giriş görüntüsünün gri-seviyeli görüntüye çevrilmiş hali üzerinden hesaplanmaktadır.

Önerilen ANFIS tabanlı şerit işareti tespit yaklaşımında, bu giriş parametreleri giriş görüntüsünün özelliklerine karşılık gelmektedir. Bu özellikleri kullanan bir denetimli öğrenme süreci gerçekleştirilmiş ve istenen çıktıya göre en iyi eğitilmiş model, üyelik fonksiyonunun (membership function) pozisyon türlerini ve bulanık sistemin kurallarını ayarlamak için kullanılmıştır. Eğitim aşaması için el ile işaretleme yöntemiyle şerit işareti alanlarının yer doğruları oluşturulmuştur. Örnek bir yer doğrusu görüntüsü Şekil 3.56'da gösterilmektedir.

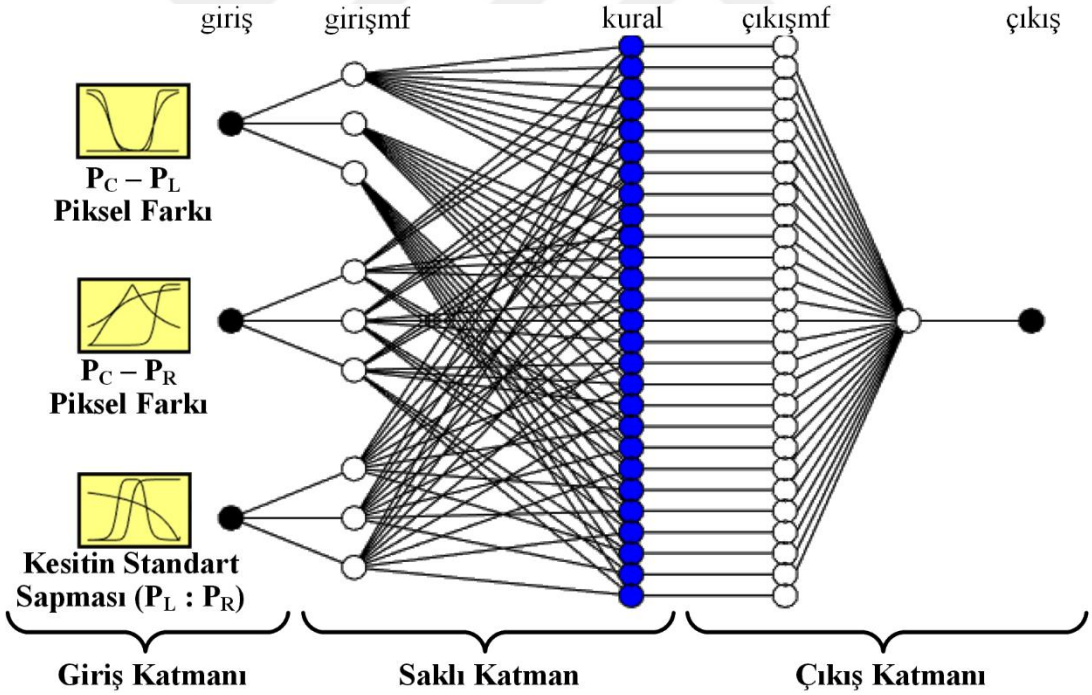
Bu dizilerde çerçeveler arası değişim çok olmadığından dizilerdeki görüntüler belirli aralıklarla örneklenmiştir. Böylece her bir dizi için 300 adet görüntü olmak üzere toplam 600 adet yer doğrusu oluşturulmuştur. Önerilen ANFIS tabanlı şerit işareti filtresinin çok katmanlı yapısı Şekil 3.57'de gösterilmektedir.



(a)

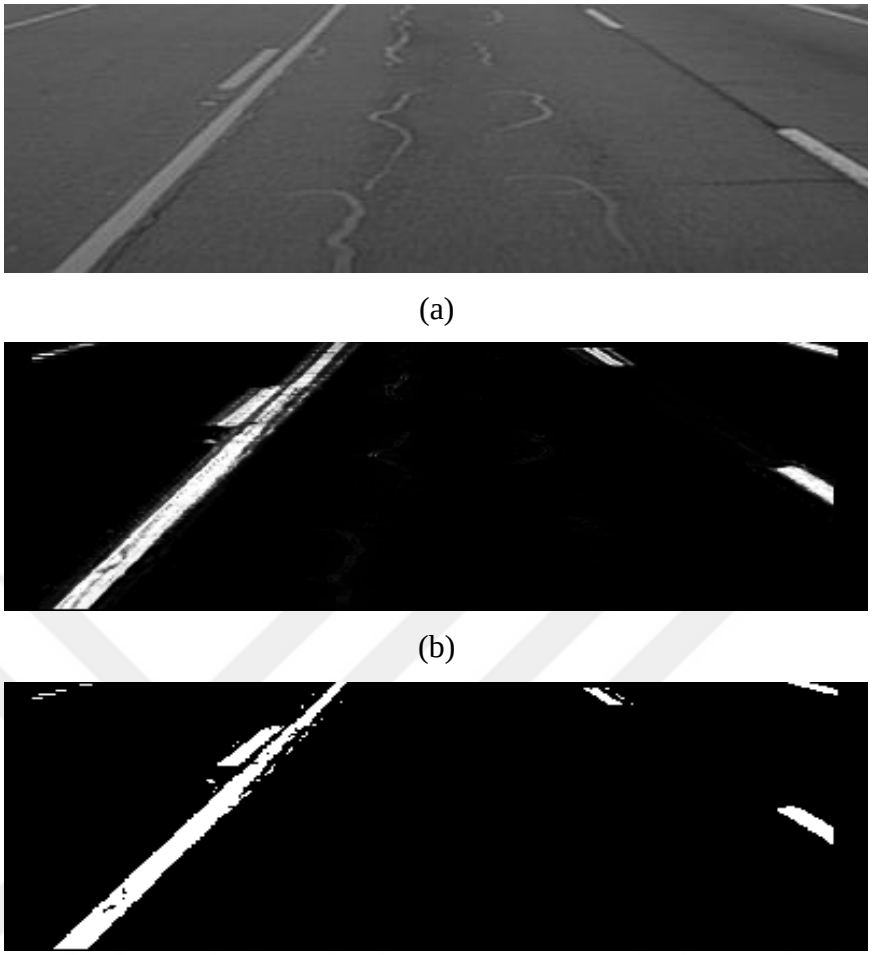
(b)

Şekil 3.56. Yer doğrusu oluşturma (a) Orijinal görüntü (b) Yer doğrusu



Şekil 3.57. Şerit işaret filtresinde kullanılan ANFIS'in adaptif ağ yapısı

Önerilen ANFIS bazlı filtrenin çıkış değeri, yüksek bir değerin bu pikselin muhtemelen şerit işaretine ait olduğu anlamına gelen [0, 255] aralığındadır. Bir ikili şerit haritası (binary lane map - BLM) elde etmek için Otsu eşikleme yöntemi kullanılmıştır. Örnek bir girdi görüntüsü için ANFIS temelli şerit işareti filtre çıktısı ile birlikte önerilen yöntemin çıkışı Şekil 3.58'de gösterilmektedir.

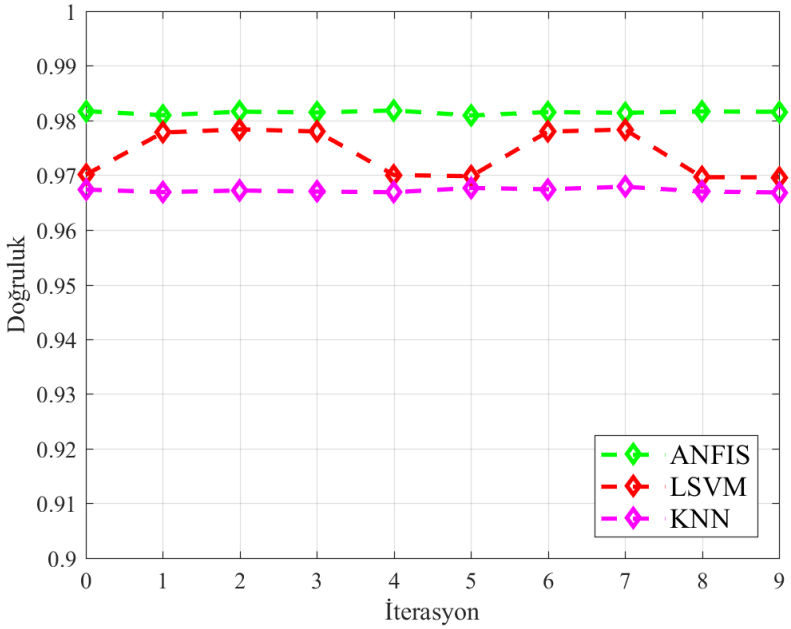


Şekil 3.58. ANFIS tabanlı şerit işareti filtresinin sonucu. (a) Gri-seviyeli giriş görüntüsü (b) ANFIS tabanlı şerit işareti filtresinin sonucu (c) Otsu'nun eşikleme yönteminin sonucu (BLM)

3.6.2. Deneysel sonuçlar

Tez çalışmasının bu aşamasında önerilen şerit işareti filtresinin temelini oluşturan ANFIS temelli sınıflandırıcı, doğrusal SVM (LSVM) ve KNN (K-Nearest Neighbor) sınıflandırıcılar kullanılarak tespit performansı incelenmiştir. Tespit performansı analizi ile birlikte önerilen yöntemin eğitim verilerine olan bağımlılığının da testini sağlamak amacıyla K-Katlamalı Çapraz Doğrulama (K-Fold Cross Validation) yaklaşımından faydalanılmıştır. Bu yaklaşımda eğitim veri seti rastgele *k* parçaya ayrılır. *k-1* parça eğitim için kullanılırken, 1 parça test için kullanılmaktadır. *k* defa bu işlem tekrar edilerek her iterasyonda eğitim sonrası başarım test edilmektedir. Tez çalışması kapsamında k değeri 10 belirlenmiştir. K-fold analizi için S1C1 ve S2C1 görüntü dizilerinden rastegele olmak üzere 50 adet görüntü seçilmiştir. Bu

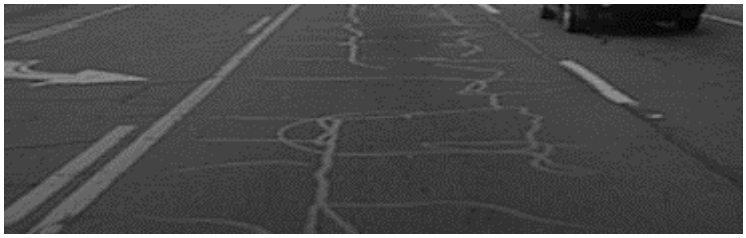
görüntülerdeki ANFIS giriş özellikleri ayrı birer eğitim verisi olarak değerlendirilip rastegele olarak 10 farklı gruba ayrılmıştır. Şekil 3.59'da ANFIS, LSVM ve KNN için her bir iterasyonda elde edilen doğruluk sonuçları gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde en yüksek performansı ANFIS yönteminin sağladığı açıkça görülmektedir. Ayrıca, Şekil 3.59 bu tez çalışmasında önerilen ANFIS temelli yaklaşımın belirli bir eğitim verisine bağlı olmadığını, önerilen yaklaşımın genel olarak başarılı olduğunu da ortaya koymaktadır.



Şekil 3.59. Sınıflandırma yöntemlerinin k-fold analizi

(Borkar ve diğ., 2012) veritabanında S1C1 ve S2C1 dizileri, (Nieto ve diğ., 2011), (Borkar ve diğ., 2012), (Cualain ve diğ., 2012) ve (Gaikwad ve Lokhande, 2015) yöntemlerine karşı önerilen yaklaşımın performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Bu dizilerdeki her çerçevenin boyutu 640×500 pikseldir ve hesapsal yükün düşürülmesi için tüm işlemler giriş görüntüsünün 401×141 piksel boyutunda bir ilgi alanı üzerinde gerçekleştirilir. Önerilen yöntemin eğitim süreci için yer doğrularını içeren toplam 90 görüntü kullanılmıştır. Şerit işaret filtresinin performansı ve şerit tespiti üzerindeki etkisi ayrıca değerlendirilmektedir.

Şekil 3.60, bir örnek giriş görüntüsü (Şekil 3.60(a)) için önerilen (Şekil 3.60(f)) ve karşılaştırılan yöntemler (Şekil 3.60(b-e)) arasında görsel bir karşılaştırmayı göstermektedir. Bu şekilde anlaşılacağı gibi, önerilen yöntem özellikle yanlış pozitif ve yanlış negatif pikseller açısından karşılaştırılan yaklaşımları geride bırakmaktadır.



(a)



(b)



(c)



(d)



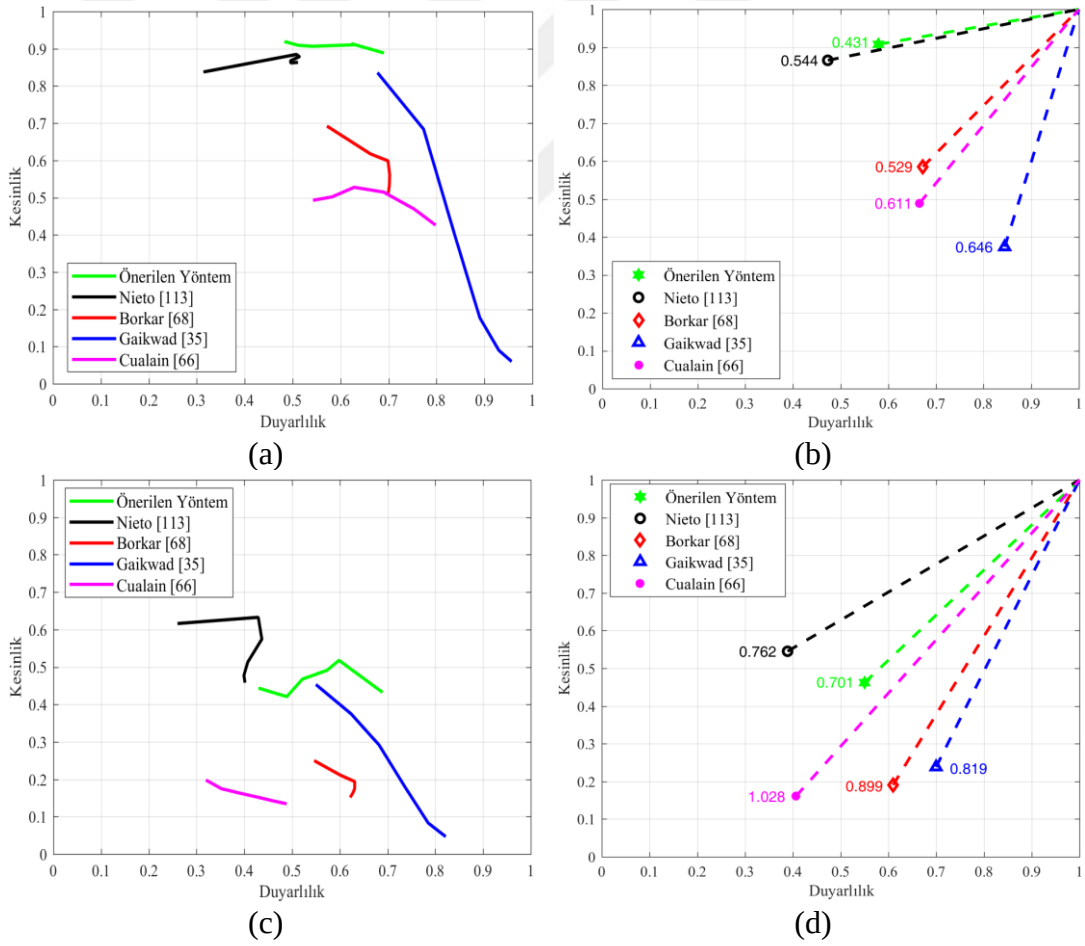
(e)



(f)

Şekil 3.60. Görsel sonuçların karşılaştırılması (a) Giriş görüntüsü (b) (Nieto ve diğ., 2011) (c) (Borkar ve diğ., 2012) (d) (Cualain ve diğ., 2012) (e) (Gaikwad ve Lokhande, 2015) (f) Önerilen yöntem

Şerit işareti filtresinin performansını nicel olarak değerlendirmek için BLM, yer doğrusu ile karşılaştırılmaktadır. Test aşamasında önerilen yöntemin eğitim aşamasında kullanılmayan 500 yer doğrusu görüntüsü kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan değerlendirme aşamasında her bir yöntem 6 farklı parametre ile çalıştırılmıştır. Çalıştırılan bu parametreler üzerinde kesinlik ve duyarlılık değerleri hesaplanmaktadır. Her bir parametre için hesaplanan kesinlik ve duyarlılık değerlerinin ortalaması alınarak noktasal olarak konumları tespit edilmiştir. Tespit edilen konumların sağ üst köşeye olan uzaklıkları hesaplanarak "köşeye uzaklık" (distance to corner) kriteri ile tespit performansları karşılaştırılmıştır. Şekil 3.61'de S1C1 ve S2C1 görüntü dizileri için şerit işareti filtrelerinin 6 farklı parametre ile çalıştırma sonrası elde edilen kesinlik ve doğruluk değerleri, ortalama precision, recall ve köşeye uzaklık değerleri gösterilmektedir.



Şekil 3.61. Şerit işareti filtrelerinin performans değerlendirmesi (a) S1C1 dizisi için kesinlik-duyarlılık (b) S1C1 dizisi için köşeye uzaklık (c) S2C1 dizisi için kesinlik-duyarlılık (d) S2C1 dizisi için köşeye uzaklık

Yerdoğrusu ve tespit sonucu arasında mükemmel bir örtüşme olması durumunda, kesinlik ve duyarlılık değerlerinin "1" olması gerekmektedir. Böylece, mükemmel eşleşme durumunda mesafe sıfır olacaktır. Önerilen yöntem, her iki test dizisi için diğer yöntemler arasında en düşük mesafeye sahiptir.

Şerit işaret filtrelerinin şerit tespit performansına etkisini değerlendirmek için, literatürde mevcut olan dört filtreyi Bölüm 3.4'te sunulan şerit tespit yöntemiyle birleştirilmiştir. Şerit işareti tespit performansı değerlendirmesi Bölüm 3.1'de detaylı açıklanan doğruluk ve FPR ölçütleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.18 ve Tablo 3.19'da görüldüğü gibi, önerilen şerit işareti filtresi en iyi genel doğruluk ve en düşük toplam yanlış pozitif oranını sağlamaktadır. S2C1 dizisi için (Gaikwad ve Lokhande, 2015) yönteminin nispeten daha iyi doğruluk değeri sağlamasının nedeni Şekil 3.60(e)'de görüldüğü gibi yanlış pozitiflerdir. Ayrıca Tablo 3.18 ve 3.19'da (Nieto ve diğ., 2011) olarak verilen sonuç aslında Bölüm 3.4'te açıklanan yöntemin şerit filtresi yöntemdir. Önerilen ANFIS temelli yönteme göre doğrulukta yaklaşık %14, yanlış pozitif oranında ise %50 performans iyileştirmesi sağlamaktadır. Bölüm 3.4'te verilen şerit filtresi yönteminin en önemli eksikliği S1C1 ve S2C1 görüntü setlerinindeki çatlak v.b. bozuculara karşı gürbüz olmamasıdır. Bu olumsuz etkinin önerilen şerit filtresi ile iyileştirildiği Tablo 3.18 ve Tablo 3.19'da verilen sonuçlardan açıkça görülmektedir

Tablo 3.18. Şerit işareti tespit yöntemlerinin doğruluk değerlendirmesi

Sahne	(Nieto ve diğ., 2011)	(Borkar ve diğ., 2012)	(Cualain ve diğ., 2012)	(Gaikwad ve Lokhande, 2015)	Önerilen Yöntem
S1C1	0,58	0,60	0,58	0,49	**0,67**
S2C1	0,41	0,34	0,26	**0,52**	0,46
Ort.	0,49	0,47	0,42	0,51	**0,56**

Tablo 3.19. Şerit işareti tespit yöntemlerinin FPR değerlendirmesi

Sahne	(Nieto ve diğ., 2011)	(Borkar ve diğ., 2012)	(Cualain ve diğ., 2012)	(Gaikwad ve Lokhande, 2015)	Önerilen Yöntem
S1C1	0,49	0,49	0,49	0,40	**0,19**
S2C1	0,19	0,16	**0,10**	0,11	0,15
Ort.	0,34	0,33	0,30	0,26	**0,17**

Tüm yöntemler, aynı optimizasyon seviyesinde 2,3 GHz dört çekirdekli CPU'lu bir PC üzerinde MATLAB platformunda uygulanmaktadır. Tablo 3.20'de, Tablo 3.18'de performans karşılaştırması verilen yöntemlerin bir çerçevenin işlenmesi için gereken ortalama toplam çalışma süreleri verilmektedir. T, Borkar'ın metodu dışındaki tüm metotlar için Otsu eşikleme yöntemini eşiklemeyi ifade eder. (Borkar ve diğ.,

2012)'nin yöntemi, doğrudan ikili görüntü ürettiği için eşikleme işlemine ihtiyaç duymamaktadır. Bu sonuçlardan görüldüğü gibi, önerilen yöntem hesapsal yük ve şerit tespit performansı arasında iyi bir denge sağlamaktadır.

Tablo 3.20. Şerit işareti tespit yöntemlerinin bir çerçeve için ortalama çalışma süreleri (ms)

	(Nieto ve diğ., 2011)	(Borkar ve diğ., 2012)	(Cualain ve diğ., 2012)	(Gaikwad ve Lokhande, 2015)	Önerilen Yöntem
Süre (T'siz)	3,96	1000	35,84	158,73	9,70
Süre (T ile)	4,60	1000	36,63	161,29	12,72

3.6.3. Sonuçlar

Bu çalışmada ANFIS tabanlı bir şerit işareti tespit filtresi önerilmektedir. Şerit işaretlerinin uzamsal özelliklerin piksel farkları ve standart sapma işlemlerinin bulanık çıkarsama sistemi ile birlikte kullanılması ile çıkarılmıştır. Bulanık filtrenin üyelik fonksiyonları elle etiketlenmiş görüntülerin eğitimi ile öğrenilmektedir. Deneysel sonuçlar, önerilen filtrenin, zorlu koşullarda bile, gerçek zamanlı uygulamalar için uygun düşük hesapsal yükü ile şeritleri tespit edebildiğini göstermektedir. Ayrıca eğitim sürecinde toplam 90 görüntü kullanılmasının önerilen yaklaşımla yüksek şerit algılama performansını sağlanabileceği gözlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen ve daha önceki bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanan yöntemler için kısaltmalar kullanılarak bundan sonraki açıklamalar bu kısaltmalar üzerinden gerçekleştirilecektir. Bölüm 3.2'deki yöntem ÖY1, Bölüm 3.3'deki yöntem ÖY2, Bölüm 3.4'teki yöntem ÖY3, Bölüm 3.5'deki yöntem için ÖY4 ve son olarak Bölüm 3.6'daki yöntem ÖY5 kısaltmaları ile anılacaktır.

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen şerit tespit sistemlerinin performans değerlendirmesi için Caltech ve (Borkar ve diğ., 2012)'nin veritabanları kullanılmıştır. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 Caltech ve (Borkar ve diğ., 2012) veritabanlarında doğruluk metriği kullanılarak nesnel performans değerlendirmelerini göstermektedir. Bu tez çalışmasında önerilen şerit işareti tespit yöntemleriyle birlikte (Borkar ve diğ., 2012), (Espinoza ve Torriti, 2013), (Küçükyıldız ve Ocak, 2014), (Gaikwad ve Lokhande, 2015), (Mammeri ve diğ., 2016)'nin performans karşılaştırmaları gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.3'te ise Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de verilen performans değerlendirmelerinin veritabanlarındaki görüntü sayılarıyla oranlı olarak elde edilen ortalama tespit performansı verilmektedir. Tablolarda koyu renk ile gösterilenler en iyi performansı temsil etmektedir.

Tablo 4.1'deki tüm yöntemler Cordova1 test dizisi için iyi performans göstermektedir. Kameradan alınan görüntülerde ışıklılık etkisinin yoğun olarak gözlendiği Cordova2 görüntü setinde ve gölge etkisinin yoğun olduğu Washington1 görüntü setinde özellikle (Mammeri ve diğ., 2016)'nin önerdiği yöntemin şerit işareti tespit performansı düşüktür. (Gaikwad ve Lokhande, 2015) tarafında önerilen yöntemin ön işlem adımında bulunan filtrenin (PLSF) uyarlanabilir olmamasının tespit performansı üzerindeki olumsuz etkisi farklı ışıklılık durumlarına sahip Cordova2 görüntü seti için tablodan gözlenmektedir.

Tablo 4.1. Şerit işareti tespit yöntemlerinin Caltech [5] veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC)

	B	E	K	G	M	ÖY1	ÖY2	ÖY3	ÖY4	ÖY5
Sahne	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.
C1	0,72	0,64	0,87	0,52	0,79	0,86	0,85	**0,92**	**0,92**	0,60
C2	0,57	0,50	0,39	0,10	0,56	0,49	0,63	**0,75**	0,60	0,57
W1	0,58	0,49	0,78	0,39	0,27	**0,85**	0,78	0,73	0,77	0,40
W2	0,79	0,53	0,87	0,55	0,68	0,87	0,88	**0,89**	0,84	0,60
Ort.	0,64	0,53	0,68	0,35	0,55	0,77	0,79	**0,82**	0,76	0,54

*B = (Borkar ve diğ, 2012), E = (Espinoza ve Torriti , 2013), K = (Küçükyıldız ve Ocak, 2014), G = (Gaikwad ve Lokhande, 2015), M = (Mammeri ve diğ., 2016)

Tablo 4.2. Şerit işareti tespit yöntemlerinin (Borkar ve diğ., 2012) veritabanı üzerinde performans değerlendirilmesi (ACC)

	B	E	K	G	M	ÖY1	ÖY2	ÖY3	ÖY4	ÖY5
Sahne	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.
S1C1	0,75	0,61	0,76	0,71	0,68	0,54	0,62	0,58	**0,88**	0,67
S2C1	0,57	0,20	0,46	0,29	0,30	0,33	0,41	0,42	**0,62**	0,46
Ort.	0,65	0,41	0,61	0,50	0,49	0,43	0,52	0,50	**0,74**	0,56

*B = (Borkar ve diğ, 2012), E = (Espinoza ve Torriti , 2013), K = (Küçükyıldız ve Ocak, 2014), G = (Gaikwad ve Lokhande, 2015), M = (Mammeri ve diğ., 2016)

Tablo 4.3. Şerit işareti tespit yöntemlerinin genel performans değerlendirilmesi (ACC)

	B	E	K	G	M	ÖY1	ÖY2	ÖY3	ÖY4	ÖY5
Sahne	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.	Ort.
Caltech Ort.	0,64	0,53	0,68	0,35	0,55	0,77	0,79	**0,82**	0,76	0,54
Borkar Ort.	0,65	0,41	0,61	0,50	0,49	0,43	0,52	0,50	**0,74**	0,56
Ort.	0,65	0,45	0,63	0,45	0,51	0,53	0,60	0,60	**0,75**	0,55

*B = (Borkar ve diğ, 2012), E = (Espinoza ve Torriti , 2013), K = (Küçükyıldız ve Ocak, 2014), G = (Gaikwad ve Lokhande, 2015), M = (Mammeri ve diğ., 2016)

ÖY4 geliştirilmiş B renk kanalında uygulanan MSER yöntemi sayesinde ışıklılık değişikliklerine karşı dayanıklıdır. Bu gelişme, MSER'in bir özellik bölgesini elde etmek için belirli bir eşik seviyeleri kümesi ile yoğunluk görüntüsünü (intensity image) eşiklemesi ile elde edilmektedir. (Küçükyıldız ve Ocak, 2014)'ın önerdiği yöntemin görüntü üzerinde tespit edilen Hough çizgilerini eleme kriterleri genel olarak görüntü setlerinde başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak bu yöntem temel olarak yüksek Hough skoru üzerinden tespitlerini gerçekleştirdiği için özelikle kaldırım ve benzeri yol üzerinde bulunan yapılardan etkilenerek yanlış tespitler gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca Sobel filtresi çıkışında şerit çizgileri benzeri yüksek kenar bilgileri oluşturan yapılarda sistem performansını olumsuz etkilemektedir. ÖY3 ise yol yüzeyi üzerinde bilgilendirme yazılarının bulunduğu Washington2 görüntü setinde yüksek tespit performansıyla öne çıkmaktadır. Tablo 4.1 genel olarak incelendiğinde ise ÖY3'ün şerit işareti tespitinde karşılaştırılan yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. S1C1 görüntü setinde yol çatlakları yoğunluktadır. Çatlak vb. olumsuz etkiler kesikli çizgilerin boşluklarında da bulunacağından şerit tespit bölgesi üzerinde

daha çok yer kaplaması şerit işaretlerinin tespitini görece olarak zorlaştırmaktadır. Devamlı şerit çizgilerinin görüntü üzerinde tespit edilmesi bu nedenle görece olarak daha kolaydır. Bu durum Tablo 3.2, Tablo 3.6, Tablo 3.9 ve Tablo 3.13'de (Borkar ve diğ., 2012) yöntemi haricinde diğer yöntemlerin sağ şerit işareti tespiti performanslarının genel olarak düşük olmasınıda açıklamaktadır. S1C1 ve S2C1 görüntülerinde sol şerit çizgileri devamlı çizgilerken sağ şerit çizgileri kesikli çizgilerdir. (Borkar ve diğ., 2012) performansının iyi olmasının nedeni yöntemin içerdiği ön işlemden kaynaklanmaktadır. (Borkar ve diğ., 2012) tarafından önerilen ön işlemde belirli aralıklarda (örneğin 3 çerçevede bir) ardışık çerçevelerin ortalaması alınarak elde edilen giriş görüntüsünde kesikli şerit çizgileri devamlı şerit çizgileri haline gelmektedir. ÖY1, ÖY2 ve ÖY3 yöntemlerinin S1C1 ve S2C1 görüntü setlerinde hatalı tespitlerinin genel olarak nedeni ön işlem filtresinin şerit işaretleriyle beraber yol çatlaklarını da ön plana çıkarmasıdır. Yol çatlakları ÖY1 ve ÖY2 yöntemlerinde kullanılan Hough dönüşümüne girdi olacak nokta sayısınının artmasına ve girdi sayısının artması da olası yanlış tespitlere neden olmaktadır. ÖY3 yönteminde ise yol çatlakları özellikle son işlem aşamasının performansına etki etmektedir. Bu durum genel olarak çatlak vb. yapıların şerit işaretlerine benzer yapısal özellikler göstermesinden kaynaklanmaktadır. ÖY3 yönteminde bulunan korelasyon işlemi bu çatlaklarda da yanıt vermektedir. Bu nedenle RANSAC işlemine daha çok aday şerit noktası girerek yanlış şerit çizgilerinin tespitine neden olabilmektedir. Örnek yanlış tespit sonuçları Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.1. ÖY1, ÖY2 ve ÖY3 yöntemlerinin yanlış tespit sonuçları (a) ÖY1 (b) ÖY2 (c) ÖY3

S2C1 görüntü setinde yol üzerine yoğun olarak yol kenarlarındaki ağaçların gölgesi yansımaktadır. Bu durum (Espinoza ve Torriti, 2013)'nin önerdiği yöntemde bulunan segmentasyon ve kümeleme işlemlerinin performansını düşmesine ve hatalı şerit işareti tespitine yol açmaktadır. Washington1 ve S2C1 dizileri incelendiğinde, ÖY4'ün gölgeler tarafından en az etkilenen yöntem olduğu görülmektedir. (Mammeri ve diğ., 2016) önerdiği yöntem de gölgelerden çok etkilenmemektedir. Bununla birlikte, kenarları algılamak için bir ön işlem filtresi kullandıklarından, diğer yöntemler gölgeden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu filtreler, gölge bölgelerinde yanlış kenarlar üretilmesine neden olmaktadır.

(Mammeri ve diğ., 2016)'nin önerdiği yöntem, gri ölçekli görüntülerde doğrudan MSER kullanmaktadır. Bu sayede bu yöntem gölge bölgelerindeki şeritleri tespit edebilmektedir. Bununla birlikte, bu bölgeler ÖY4 ile tespit edilen bölgeye göre daha küçük boyutlara sahiptir. ÖY4 geliştirilmiş B renk kanalı kullanması nedeniyle, gölge

durumlarında bile şerit işaretlerinde daha büyük bölgeleri tespit etme yeteneğine sahiptir. Böylece (Mammeri ve diğ., 2016) tarafından sunulan yönteme kıyasla daha iyi bir performansa sahiptir.

Tablo 4.3'te görüldüğü gibi, ÖY4 veritabanları için %75'e varan bir doğrulukla en iyi genel performansı sağlamaktadır. (Mammeri ve diğ., 2016) tarafından sunulan yöntemin MSER kullanmasına rağmen, ÖY4'e kıyasla oldukça düşük performansa sahip olması önemlidir. Bu karşılaştırma ile ÖY4'ün, bu çalışmada sunulan geliştirmeler sayesinde mevcut MSER tabanlı şerit algılama yönteminin performansını önemli ölçüde artırabildiğini ortaya koymaktadır.

ÖY4 şerit işaretlerine benzer bozucu bölgelerin çok olduğu görüntülerde yanlış tespitler gerçekleştirebilmektedir. Şekil 4.2'de ÖY4'ün yanlış tespit gerçekleştirdiği örnek bir görüntü gösterilmektedir. Bu görüntüde yan şeritten geçen araç üzerinde oluşan özellik noktalarının sayısının çok olması RANSAC işlemi üzerinden baskın etki gösterek yanlış çizginin şerit çizgisi olarak tespit edilmesine neden olmaktadır.



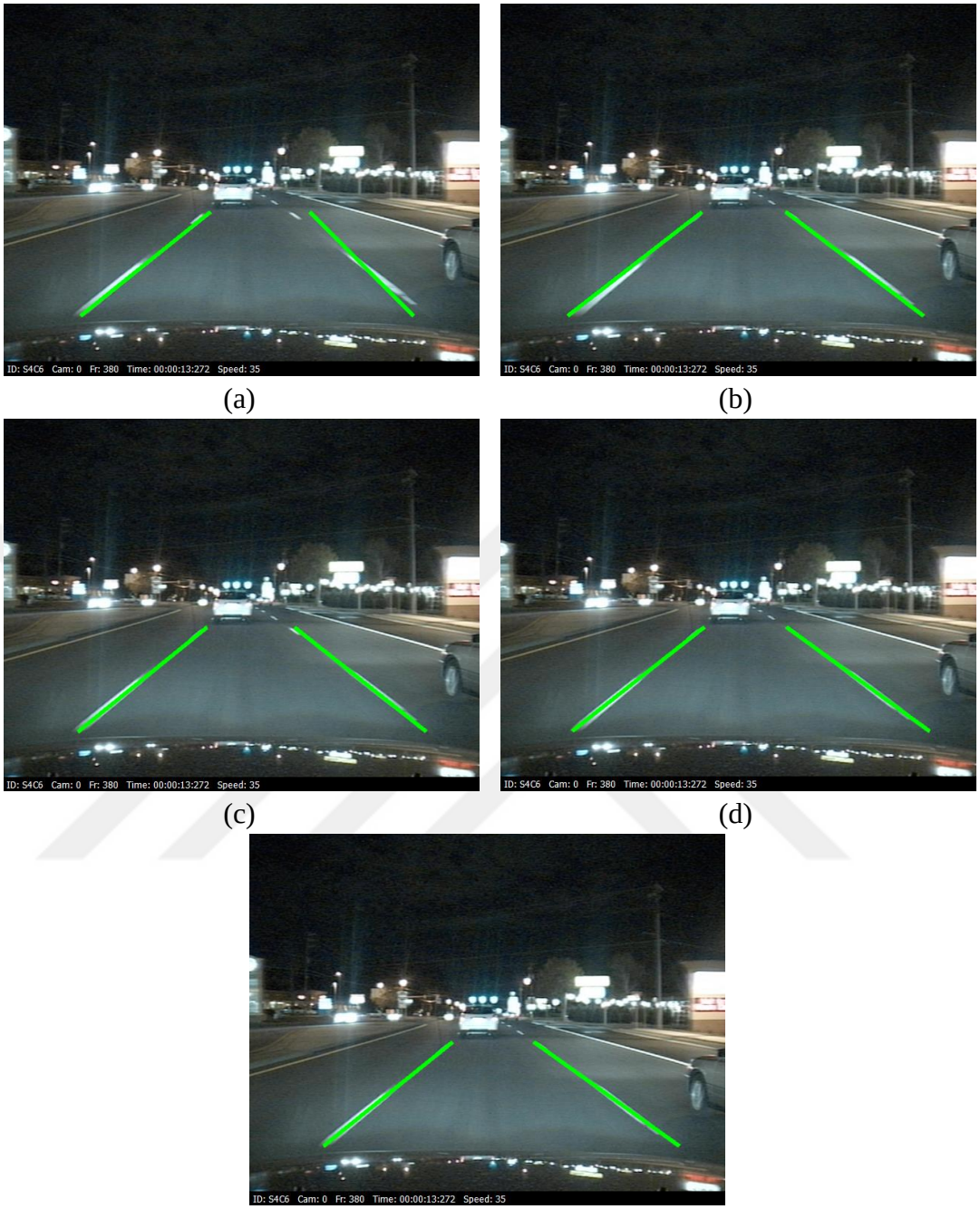
Şekil 4.2. ÖY4'e ait örnek yanlış tespit sonucu

Şeritten ayrılma tespit sisteminde araç içinde bulunan kameradan alınan görüntünün bütün olarak incelenmesi yerine, sadece yol bilgisini içeren belirli bir kısmının incelenmesinin sistem başarımına ve çalışma performansına etkisi ilk olarak ÖY1'de

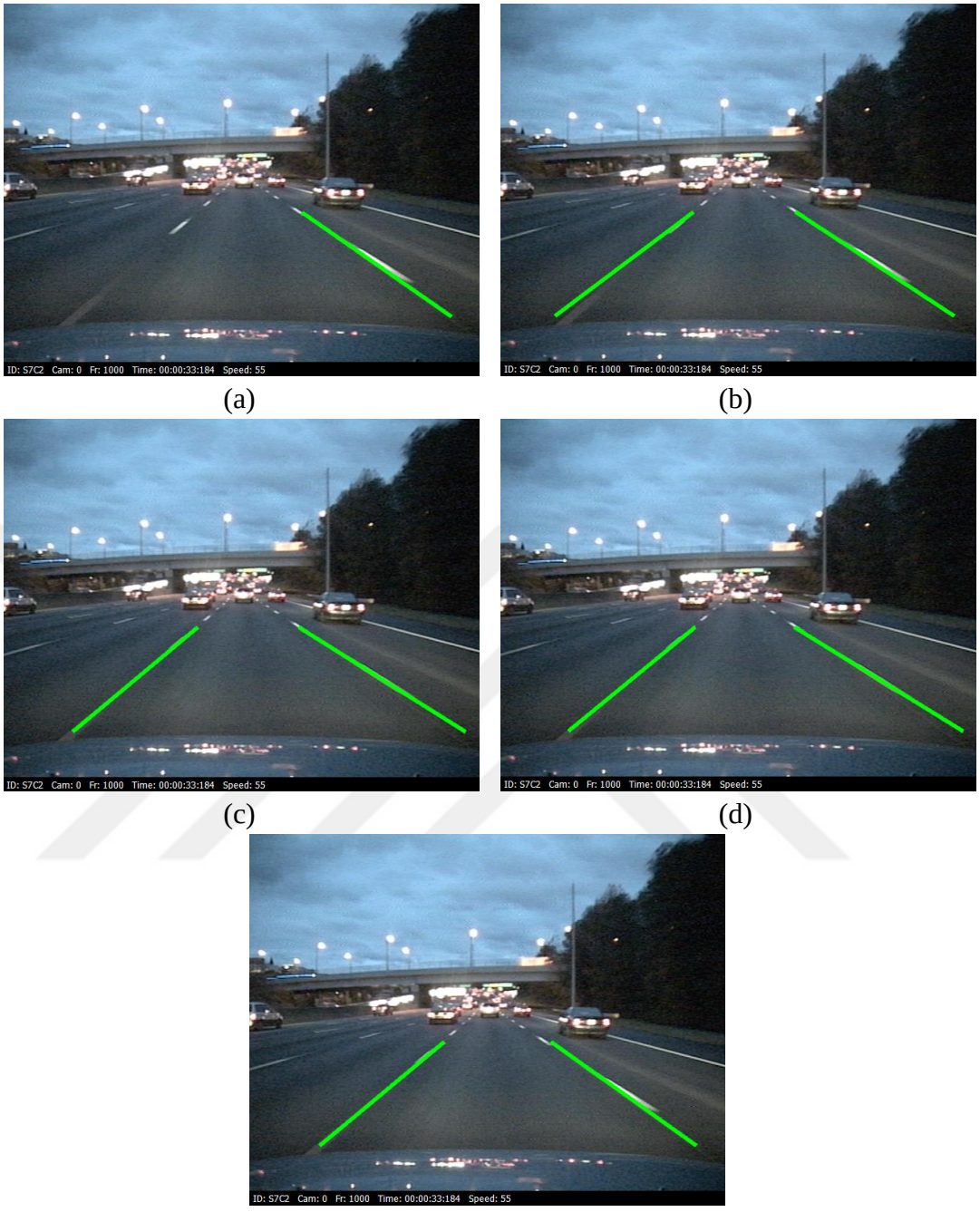
incelenmiş ve sonrasında diğer yöntemlerede uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu belirli bir alan üzerinde çalışmanın şerit tespiti başarımını etkilemediği buna karşın hesapsal yükü azalttığı tespit edilmiştir. Sınırlı işlemci gücü ve sınırlı bellek kapasitesine sahip gömülü sistemler için etkin bir yaklaşım olabileceği görülmüştür. Washington1 görüntü setinde ÖY1 incelendiğinde kullanılan ortalama filtresi ile gölgelerin anlık şerit tespiti performansı olumsuz etkisinin giderilebildiği görülmektedir. Ancak aynı etki S1C1 ve S2C1 görüntü setlerinde görülmemektedir. Bunun nedeni Caltech veritabanın performansı arttıran bir unsur olarak öne çıkan açısal ve konumsal temelli eleme işlemlerinin (Borkar ve diğ., 2012) veritabanında tespit edilen gerçek şerit çizgilerinin bozucu olarak değerlendirilip performansın düşmesidir.

ÖY5'te önerilen şerit işareti filtresi ve literatürde bulunan (Nieto ve diğ., 2011), (Borkar ve diğ., 2012), (Cualain ve diğ., 2012) ve (Gaikwad ve Lokhande, 2015) yöntemleri S1C1 ve S2C1 görüntü dizileri üzerinde çalıştırılarak başarım performansları değerlendirilmiştir. ÖY5'in çıkış amacı yol üzerinde bulunan yol bozunumlarının (crack) ve gölgelerin şerit tespit performansının üzerindeki olumsuz etkisini giderebilecek bir filtre tasarlanmasıdır. Bu nedenle performans değerlendirmesinde yol bozunumlarının ve gölgelerin yoğun olduğu S1C1 ve S2C1 görüntü dizileri seçilmiştir. ÖY5'te önerilen şerit işareti filtresinin şerit tespit başarımına katkısını ölçmek amacıyla ÖY3'te ön işlem adımında kullanılan (Nieto ve diğ., 2011)'nin önerdiği filtre ile değiştirilmiştir. Tablo 4.2'den görüldüğü üzere ÖY5'te önerilen filtre ile ÖY3'ün tespit performansının iyileştiği görülmektedir. Tablo 4.1'de ise şerit tespit başarımının yeterli olmamasının nedeni Caltech verisetinden hiçbir görüntünün eğitim aşamasına dahil edilmemesidir.

Bu tez çalışması kapsamında önerilen şerit işareti tespit yöntemleri gece zamanı görüntülerinde de test edilmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de önerilen yöntemlerin (Borkar ve diğ., 2012) tarafından sunulan veritbanında bulunan S4C6 ve S7C2 görüntü setlerine ait örnek görsel sonuçları verilmektedir. Bu şekilden görüleceği üzere gece zamanı görüntülerinde önerilen bütün yöntemler şerit işaretlerini başarılı bir şekilde tespit edebilmektedir.



Şekil 4.3. Tez çalışmasında önerilen yöntemlerin S4C6 görüntü seti üzerinde gece zamanı şerit işareti tespit sonuçları (a) ÖY1 (b) ÖY2 (c) ÖY3 (d) ÖY4 (e) ÖY5



(a) (b)

(c) (d)

(e)

Şekil 4.4. Tez çalışmasında önerilen yöntemlerin S7C2 görüntü seti üzerinde gece zamanı şerit işareti tespit sonuçları (a) ÖY1 (b) ÖY2 (c) ÖY3 (d) ÖY4 (e) ÖY5

Tablo 4.1'deki yöntemler 2,3 GHz Dört çekirdekli CPU'lu bir PC'de MATLAB üzerinde uygulanmaktadır. Bir girdi çerçevesi için ortalama toplam çalışma süreleri Tablo 4.4'de verilmektedir. Bu yöntemler, önerilen yöntemin performans değerlendirmesi için MATLAB üzerinde kodlanmıştır. Tüm uygulamalar benzer kod optimizasyon seviyesine sahiptir. Bu sonuçlardan görüldüğü üzere tez çalışması kapsamında önerilen yöntemler literatürdeki diğer yöntemlere kıyasla makul düzeyde

hesaplama yüküne sahiptir. Ayrıca ÖY1 en düşük hesapsal yüke sahip yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Tablo 4.4. Şerit işareti tespit yöntemlerinin PC üzerinde bir çerçeve için ortalama çalışma süreleri

	B	E	K	G	M	ÖY1	ÖY2	ÖY3	ÖY4	ÖY5
Zaman	8520 ms	2520 ms	169 ms	180 ms	50 ms	**12 ms**	49 ms	306 ms	550 ms	313 ms

*B = (Borkar ve diğ, 2012), E = (Espinoza ve Torriti , 2013), K = (Küçükyıldız ve Ocak, 2014), G = (Gaikwad ve Lokhande, 2015), M = (Mammeri ve diğ., 2016)

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında ileri sürücü destek sistemlerinde kullanılabilecek gerçek zamanlı çalışma kapasitesine sahip gömülü şeritten ayrılma uyarı sistemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemlerde ham görüntüler sensör aracılığı ile alındıktan sonra sabit bir ilgi alanı seçilerek işlemler bu ilgi alanı üzerinde yapılmakta ve böylelikle gerçek zamanlı çalışma açısından önemli bir avantaj sağlanmaktadır. Gömülü sistem üzerinde koşan algoritmalar bu iş için özelleşmiş ve gerçek zamanlı çalışmaya uygun olacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca önerilen yöntemlerin gerçek zamanlı çalışma kapasitelerini göstermek amacıyla farklı ARM mimarilerine sahip gömülü platformlar üzerinde çalıştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen yöntemlerin, farklı koşullarda şerit işaretlerini mevcut yöntemlere göre gerçek zamanlı çalışmadan ödün vermeden daha yüksek doğrulukta tespit edebildiğini göstermektedir.

Kameradan alınan görüntülerde şerit işaretlerinin yapıları yoldaki yansımalar, işaretlerin zamanla aşınması, gölge ve hava şartları gibi nedenlerden bozulabilmektedir. Ayrıca ülkeden ülkeye şerit işaretlerinin boyutları, aralarındaki uzaklık ve renkleri değişebilmektedir. Kural-karar tabanlı görüntü işleme yöntemlerini içeren şerit tespit sistemlerinin belirtilen bu durumların hepsini kapsayacak şekilde gürbüz çalışması mümkün görülmemektedir. Bu duruma çözüm olarak bütün senaryoların eğitim verisi olarak kullanılabileceği ve bu eğitim verilerinden şerit özelliklerinin belirlenebileceği derin öğrenme temelli yöntemler önerilmektedir. Derin öğrenme temelli yöntemlerin kullanılması ile sistemlere farklı durumlara kendilerini uyarlayabilme becerisi kazandırılabilecektir. Bütün senaryoların öğrenme aşamasında kullanılması şu an için mümkün görünmemektedir. Bu yüzden pekiştirmeli öğrenme metoduyla desteklenecek bir derin öğrenme sistemi ile sisteme sürekli öğrenme imkânı kazandırılarak genel olarak performansı yüksek bir şerit tespit sistemi geliştirmek mümkün olacaktır. Ancak unutulmamalıdır ki pekiştirmeli öğrenme metodu gibi yöntemlerin otoyol üzerinde gerçek bir araçta eğitim aşamasını geçirmesi hala büyük riskler içermektedir.

KAYNAKLAR

[1] International Trafic Safety Data and Analysis Group, Road Safety Annual Report 2014, 02/10/2014.

[2] T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü, Trafik Kazaları Özeti 2013, Temmuz 2014.

[3] Visvikis C., Smith T.L., Pitcher M., Smith R., Study on Lane Departure Warning and Lane Change Assistant System, Project Final Report- PPR 274, Kasım 2008.

[4] COWI, Cost-Benefit Assessment and Prioritisation of Vehicle Safety Technologies (TREN-ECON2-002), European Commission, Directorate General Energy and Transport, Brüksel, Belçika, 2006.

[5] Aly M., Real time Detection of Lane Markers in Urban Streets, *2008 IEEE Intelligent Vehicle Symposium*, 2008, 7-12.

[6] Bar Hillel A., Lerner R., D. Levi, Raz G., Recent Progress in Road and Lane Detection: A survey, *Mach. Vis. Appl.*, 2014, **25**(3), 727–745.

[7] Thakur R., Scanning LIDAR in Advanced Driver Assistance Systems and Beyond, *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 2016, **5**(3), 48-54.

[8] Hata A., Wolf D., Road Marking Detection using LIDAR Reflective Intensity Data and Its Application to Vehicle Localization, *17th Int. IEEE Conf. Intell. Transp. Syst.*, 2014, 584–589.

[9] Otsu N., A Threshold Selection Method From Gray-Level Histograms, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern*.1979, **9**, 62–66.

[10] Lindner P., Richter E., Wanielik G., Multi-Channel Lidar Processing for Lane Detection and Estimation, *12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems Proceedings*, 2009, 202–207.

[11] Wan E. A., Merwe R. Van Der, The Unscented Kalman Filter For Nonlinear Estimation, *Proceedings of the IEEE 2000 Adaptive Systems for Signal Processing, Communications, and Control Symposiu*m, 2000, 153–158.

[12] Kammel S.,Pitzer B., Lidar-Based Lane Marker Detection And Mapping, *IEEE Intell. Veh. Symp. Proc.*, 2008, 1137–1142.

[13] Toft P., The Radon Transform Theory and Implementation, Doktora Tezi, Matematik Modelleme Bölümü., Danimarka Teknik Üniversitesi, Kopenhag, 1996.

[14] Thuy M., León F. P., Lane Detection and Tracking Based on Lidar Data, *Metrology and Measurment Systems*, 2010, **17**(3), 311–321.

[15] Canny J., A Computational Approach to Edge Detection, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986, **8**(6),679–698.

[16] Julier S. J., Uhlmann J. K., New Extension of the Kalman Filter to Nonlinear Systems, *Proc. SPIE 3068, Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition VI*, 1997.

[17] Shin S., Shim I., Kweon I. S., Combinatorial Approach for Lane Detection using Image and LIDAR Reflectance, *The 12th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2015)*, Güney Kore, 28-30 Kasım 2015.

[18] Gruyer D., Belaroussi R., Revilloud M., Accurate Lateral Positioning from Map Data and Road Marking Detection, *Expert Syst. Appl.*, 2016, **43**, 1-8.

[19] Cui D., Xue J., Zheng N., Real-Time Global Localization of Robotic Cars in Lane Level via Lane Marking Detection and Shape Registration, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 2016, **17**(4), 1039–1050.

[20] Song T., Capurso N., Cheng X., Yu J., Chen B., Zhao W., Enhancing GPS with Lane-Level Navigation to Facilitate Highway Driving, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 2017, **66**(6), 4579-4591.

[21] Rose C., Britt J., Allen J., Bevly D., An Integrated Vehicle Navigation System Utilizing Lane-Detection and Lateral Position Estimation Systems in Difficult Environments for GPS, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 2014, **15(**6), 2615-2629.

[22] Enache N. M., Mammar S., Netto M., Lusetti B., Driver Steering Assistance for Lane-Departure Avoidance based on Hybrid Automata and Composite Lyapunov Function, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 2010, **11**(1), 28-39.

[23] Zheng Y., Member S., Hansen J. H. L., Lane-Change Detection From Steering Signal Using Spectral Segmentation and Learning-Based Classification, *IEEE Transactions On Intelligent* Vehicles 2017, **2**(1), 14-24.

[24] Ambarak J. M., Ying H., Syed F., Filev D., A Neural Network for Predicting Unintentional Lane Departures, *Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, Toronto, Kanada, 22-25 Mart 2017.

[25] Ouyang Z., Niu J., Guizani M., Improved Vehicle Steering Pattern Recognition by Using Selected Sensor Data, *IEEE Transactions On Mobile Computing*, 2018, **17**(6), 1383-1396.

[26] Yenikaya S., Yenikaya G., Düven E., Keeping the Vehicle on the Road-A Survey On-Road Lane Detection Systems, *ACM Computing Surveys*, 2013, **46**(1), 2.

[27] Ingale P. V., Bhagat K. S., Comparative Study of Lane Detection Techniques, *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 2016, **4**(5), 381-390.

[28] Hough, P., Method and Means for Recognizing Complex Patterns, 1962, U.S. Patent 3,069,654, U.S.A.

[29] Duda R. O., Hart P. E., Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures, *Communications of the ACM*, 1972, **15**(1), 11-15.

[30] Stephens R. S., Probabilistic Approach to the Hough Transform, *Image and Vision Computing*, 1991, **9** (1), 66-71.

[31] Fischler M. A., Bolles R. C., Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography, *Communications of the ACM*, **24**(6), 381–395, 1981.

[32] Boor C. de, B-spline Basics, Editors: Piegl L. A., *Fundamental Developments of Computer-Aided Geometric Modeling*, 1st ed., American Press, U.S.A., 27-49,1993.

[33] Chunzhao G., Mita S., McAllester D., Lane Detection and Tracking in Challenging Environments based on a Weighted Graph and Integrated Cues, *2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Taipei, Taiwan, 18-22 Ekim 2010.

[34] Bertozzi M., Broggi A., GOLD: A Parallel Real-Time Stereo Vision System for Generic Obstacle and Lane Detection, *IEEE Transactions on Image Processing* 1998, **7**(1), 62-80.

[35] Gaikwad V., Lokhande S., Lane Departure Identification for Advanced Driver Assistance, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2015, **16**(2), 910-918.

[36] Yoo H., Yang U., Sohn K., Gradient-enhancing Conversion for Illumination-robust Lane Detection, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2013, **14**(3), 1083-1094.

[37] You F., Zhang R., Zhong L., Wang H., Xu J., Lane Detection algorithm for Night-time Digital Image based on Distribution Feature of Boundary Pixels, *Journal of the Optical Society of Korea*, 2013, **17**(2), 188-199.

[38] Duda, R. O., Hart, P. E., *Pattern Classification and Scene Analysis*, 27th ed., John Wiley and Sons, New York, U.S.A., 1973.

[39] Shin B., Tao J., Klette R., A Superparticle Filter for Lane Detection, *Pattern Recognition*, 2015, **48**(11), 3333-3345.

[40] Küçükyıldız G., Ocak H., Development and Optimization of a DSP-based Real-time Lane Detection Algorithm on a Mobile Platform, *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 2012, **22**(6), 1484-1500.

[41] Li W., Gong X., Wang Y., Liu P., A Lane Marking Detection and Tracking Algorithm based on Sub-regions, *2014 International Conference on Informative and Cybernetics for Computational Social Systems (ICCSS)*, Qingdao, Çin, 9-10 Ekim 2014.

[42] Kou F., Chen W., Wang J., Zhao Z., A Lane Boundary Detection Method based on High Dynamic Range, *10th IEEE International Conference on Image Industrial Informatics (INDIN)*, Beijing, Çin, 25-27 Temmuz 2012.

[43] Kalaki A. S., Safabakhsh R., Current and Adjacent Lanes Detection for an Autonomous Vehicle to Facilitate Obstacle Avoidance using a Monocular Camera, *2014 Iranian Conference on Intelligent Systems (ICIS)* ,Bam, İran, 4-6 Şubat 2014.

[44] Hsiao P, Hung K, Huang S, Kao W, Hsu C, Yu Y, An Embedded Lane Departure Warning System, IEEE 15th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE), Singapur, 14-17 Haziran 2011.

[45] Prasad, B. P., Yogamani S. K., A 160-fps Embedded Lane Departure Warning System, *2012 International Conference Connected Vehicles and Expo (ICCVE)*, Beijing, Çin, 12-16 Aralık 2012.

[46] Nixon M., Aguado A., Feature Extraction & Image Processing for Computer Vision, 3rd ed., Academic Press, Florida, U.S.A., 2012.

[47] Cortes C., VapnikV., Support Vector Networks, *Machine Learning*, 1995, **20**(3), 273-297.

[48] Zhao J., Xie B., Huang X., Real-Time Lane Departure and Front Collision Warning System on an FPGA, *High Performance Extreme Computing Conference (HPEC)*, Waltham, U.S.A, 9-11 Eylül 2014.

[49] Paula M. B. de, Jung C. R., Automatic Detection and Classification of Road Lane Markings Using Onboard Vehicular Cameras, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2015, **16**(6), 3160-3169.

[50] Jung C. R., Kelber C. R., Lane Following and Lane Departure using a Linear-parabolic Model, *Image and Vision Computing*, 2005, **23**(13), 1192-1202.

[51] Lee J. W., A Machine Vision System for Lane-departure Detection, *Computer Vision and Image Understanding*, 2002, **86**(1), 52-78.

[52] Kambhatla N., Leen T. K., Classifying with Gaussian Mixtures and Clusters, *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1994, **7**, 681-688.

[53] Lee Y., Kim H., Real-time Lane Detection and Departure Warning System on Embedded Platform, *2016 IEEE 6th International Conference on Consumer Electronics*, Berlin, Almanya, 5-7 Eylül 2016.

[54] Yim Y. U., Oh S. Y., Three-feature based Automatic Lane Detection Algorithm (TFALDA) for Autonomous Driving, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2003, **4**(4), 219-225.

[55] Son J., Yoo H., S. Kim, Sohn K., Real-time Illumination Invariant Lane Detection for Lane Departure Warning System, *Expert Systems with Applications*, 2015, **42**(4), 1816-1824.

[56] Hota R. N., Syed S., Bandyopadhyay S., Radhakrishna P., A Simple and Efficient Lane Detection using Clustering and Weight Regresion, *15th International Conference on Management of Data (COMAD)*, Mysore, India, 9-12 Aralık 2009.

[57] Li Q., Zheng N., Cheng H., Springrobot: A Prototype Autonomous Vehicle and Its Algorithms for Lane Detection, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2004, **5**(4), 300-308.

[58] Xu L., Oja E., Randomized Hough transform (RHT): Basic Mechanisms, Algorithms, and Computational Complexities, *CVGIP: Image Understanding*, 1993, **57(**2), 131-154.

[59] Choi H. C., Park J. M., Choi W. S., Oh S. Y., Vision-based Fusion of Robust Lane Tracking and Forward Vehicle Detection in a Real Driving Environment, *International Journal of Automotive Technology*, 2012, **13**(4), 653-669.

[60] Viola, P., Jones, M., Robust Real-time Face Detection, *International Journal of Computer Vision*, 2004, **57**(2), 137-154.

[61] An X., Shang E., Song J., Li J., He H., Real-time Lane Departure Warning System based on a Single FPGA, *EURASIP Journal on Image and Video Processing*. 2013, **1**(38), 1-18.

[62] Chern M.-Y., Lu Y.-H., Design and Integration of Parallel Hough Transform Chips for High-speed Line Detection, *11th International Conference on Parallel and Distributed Systems*, Fukuoka, Japonya, 20-22 Temmuz 2005.

[63] Yoo J. H., Lee S.-W., Park S.-K., Kim D. H., A Robust Lane Detection Method based on Vanishing Point Estimation using the Relevance of Line Segments, *IEEE Transactions on Intelligient Transportation Systems*, 2017, 18(12), 3254-3266.

[64] Grompone von Gioi R., Jakubowicz J., Morel J.-M., Randall G., LSD: A Fast Line Segment Detector with a False Detection Control, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.*, 2010, **32**(4), 722-732.

[65] Salomon D., *Curves and Surfaces for Computer Graphics*, Springer-Verlag, 1st ed., New York, 2006.

[66] Cualain, D.O., Glavin, M., Jones, E., Multiple-Camera Lane Departure Warning System for the Automotive Environment, *IET Intelligent Transport Systems, 2012*, **6**(3), 223-224.

[67] Chiu, S.L., Fuzzy Model Identification based On Cluster Estimation, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems: Applications in Engineering and Technology*, 1994, **2**(3), 267-278.

[68] Borkar A., Hayes M., Smith, M. T., A Novel Lane Detection System with Efficient Ground Truth Generation, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2012, **13**(1), 365–374.

[69] Mammeri A., Boukerche A., Tang Z., A Real-time Lane Marking Localization, Tracking and Communication System, *Computer Communications*, 2016, **73**, 132-143.

[70] Matas J., Chum O., Urban M., Pajdla T., Robust Wide Baseline Stereo from Maximally Stable Extremal Regions, *Image and Vision Computing*, 2004, **22**(10), 761-767.

[71] Stephens R. S., Probabilistic Approach to the Hough Transform, *Image and Vision Computing*, 1991, **9**(1), 66-71.

[72] McCall, J. C., Trivedi M. M., An Integrated, Robust Approach to Lane Marking Detection and Lane Tracking, *2004 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Parma, İtalya, 14-17 Haziran 2004.

[73] McCall J. C., Trivedi M. M., Video-based Lane Estimation and Tracking for Driver Assistance: Survey, System, and Evaluation, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2006, **7**(1), 20-37.

[74] Zhang W., Song X., Cao X., Multiscale Matched Filter-Based Lane Detection Scheme of the Constant False Alarm Rate for Driver Assistance, *Journal of Automobile Engineering*, 2015, **229**(6), 770-781.

[75] Satzoda, R. K., Trivedi, M. M., On Enhancing Lane Estimation Using Contextual Cues, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2015, **25**(11), 1870-1881.

[76] Satzoda, R. K., Trivedi, M. M., Vision-based Lane Analysis: Exploration of Issues and Approaches for Embedded Realization, *2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, Portland, U.S.A., 23-28 Haziran 2013.

[77] Satzoda, R. K., Trivedi, M. M., Selective salient feature based lane analysis, *16th International Conference on IEEE Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Hague, Hollanda, 6-9 Ekim 2013.

[78] Tapia-Espinoza R., Torres-Torriti M., Robust Lane Sensing and Departure Warning under Shadows and Occlusions, *Sensors*, 2013, **3**(1), 3270-3298.

[79] Torr P. H. S., Zisserman A., MLESAC: A New Robust Estimator with Application to Estimating Image Geometry, *Computer and Vision Image Understanding*, 2000, **78**(1), 138-156.

[80] Wu C. -B., Wang L. –H., Wang K. –C., Ultra-low Complexity Block-based Lane Detection and Departure Warning System, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, DOI: 10.1109/TCSVT.2018.2805704.

[81] Geiger A., Lenz P., Stiller C., Urtasun R., Vision Meets Robotics: The KITTI Dataset, *International Journal Robotics Research*, 2013, **32**(11), 1231-1237.

[82] Cáceres D., Kurnianggoro H. L., Filonenko A., Jo K. H., Real-time Lane Region Detection using a Combination of Geometrical and Image Features, *Sensors*, 2016, **16**(11), 1-19.

[83] Piao J., Shin H., R Robust Hypothesis Generation Method using Binary Blob Analysis for Multi-lane Detection, *IET Image Processing*, 2017, **11**(12), 1210-1218.

[84] Haralick, R.M., Shapiro, L.G., *Computer and Robot Vision*, 1st ed., Addison-Wesley Longman Press, Boston, A.B.D., 1992.

[85] Dalal, N., Triggs, B., Histograms of Oriented Gradients for Human Detection, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Diego, A.B.D., 20-25 Haziran 2005.

[86] Chao F., Jing-bo X., Shuai D., Lane Detection Based on Machine Learning Algorithm, *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 2014, **12**(2), 1403-1409.

[87] Lim S., Lee D., Park Y., Lane Detection and Tracking using Classification in Image Sequences, *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 2014, **8**(12), 4489-4501.

[88] Park Y., Lee D., 3D Vision-based Security Monitoring for Railroad Stations, *Journal of the Optical Society of Korea*, 2010, **14**(4), 451-457.

[89] Kim Z., Robust Lane Detection and Tracking in Challenging Scenarios, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2008, **9**(1), 16-26.

[90] Hartley R., Zisserman A., *Multiple View Geometry in Computer Vision*. 2nd ed., Cambridge, Birleşik Krallık, Cambridge University Press, 2000.

[91] Badrinarayanan V., Kendall A., Cipolla R., SegNet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2017, **39**(12), 2481-2495.

[92] Simonyan K., Zisserman A., *Very Deep Convolutional Networks for Large-scale Image Recognition*, San Diego, U.S.A., 7-9 Mayıs 2015.

[93] Christopher M. B., Pattern Recognition and Machine Learning, Springer-Verlag, 1st ed., New York, 2006.

[94] Brostow G. J., Fauqueur J., Cipolla R., Semantic Object Classes in Video: A High-Definition Ground Truth Database, *Pattern Recognition Letters*, 2009, **30**(2), 88-97.

[95] Jia Y., Shelhamer E., Donahue J., Karayev S., Long J., Girshick R., Guadarrama S., Darrell T., Caffe: Convolutional Architecture for Fast Feature Embedding, *22nd ACM International Conference on Multimedia*, Florida, U.S.A., 3-7 Kasım 2014.

[96] Behrendt K., Witt J., Deep Learning Lane Marker Segmentation from Automatically Generated Labels, *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Vancouver, Kanada, 24-28 Eylül 2017.

[97] Ioffe S., Szegedy C., Batch Normalization: Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift, *32nd International Conference on International Conference on Machine Learning*, Lille, Fransa, 6-11 Temmuz 2015.

[98] Dieleman S., Schlter J., Raffel C., Olson E., Snderby S. K., Nouri D., Maturana D., Thoma M., Battenberg E., Kelly J., Fauw J. D., Heilman M., diogo149, McFee B., Weideman H., takacsg84, peterderivaz, Jon, instagibbs, Rasul D. K., CongLiu, Britefury, Degrave J., Lasagne: First Release, DOI: 10.5281/zenodo.27878.

[99] Team T. T. D., Theano: A Python Framework for Fast Computation of Mathematical Expressions, *arXiv preprint arXiv:1605.02688*, 2016.

[100] Kim J., Park C., End-to-end Ego Lane Estimation based on Sequential Transfer Learning for Self-driving Cars, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, Honolulu, A.B.D., 21-26 Temmuz 2017.

[101] Donahue J., Jia Y., Vinyals O., Hoffman J., Zhang N., Tzeng E., Darrell T.. Decaf: a Deep Convolutional Activation Feature for Generic Visual Recognition. *31st International Conference on International Conference on Machine Learning*, Beijing, Çin, 21-26 Haziran 2014.

[102] Gurghian A., Koduri T., Bailur S. V., Carey K. J., Murali V. N., DeepLanes: End-To-End Lane Position Estimation using Deep Neural Networks, 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), Las Vegas, A.B.D., 26 Haziran-1 Temmuz 2016.

[103] Huval B., Wang T., Tandon S., Kiske J., Song W., Pazhayampallil J., Andriluka M., Rajpurkar P., Migimatsu T., Cheng-Yue R., Mujica F., Coates A., Ng A. Y., An Empirical Evaluation of Deep Learning on Highway Driving, *arXiv preprint arXiv:1504.01716*, 2015.

[104] Sermanet, P., Eigen, D., Zhang, X., Mathieu, M., Fergus, R., & Lecun, Y., Overfeat: Integrated recognition, localization and detection using

convolutional networks. *International Conference on Learning Representations (ICLR2014)*, Banff, Kanada, 14-17 Nisan 2014.

[105] Szegedy C., Toshev A., Erhan D.. Deep Neural Networks for Object Detection, *26th International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS)*, Nevada, A.B.D., 5-10 Aralık 2013.

[106] Neven D., Brabandere B. D., Georgoulis S., Proesmans M., Gool L. V., Towards End-to-End Lane Detection: an Instance Segmentation Approach, *arXiv preprint arXiv:1802.05591*, 2018.

[107] Paszke A., Chaurasia A., Kim S., Culurciello E., ENet: A Deep Neural Network Architecture for Real-time Semantic Segmentation, *arXiv preprint arXiv:1606.02147,* 2016.

[108] Tusimple benchmark, http://benchmark.tusimple.ai/#/, (Ziyaret tarihi: 03.06.2018).

[109] Kim J., Kim J., Jang G.-J., Lee M., Fast Learning Method for Convolutional Neural Networks using Extreme Learning Machine and Its Application to Lane Detection, *Neural Networks*, 2017, **87**, 109-121.

[110] Huang, G. B., Zhu, Q. Y., Siew, C. K., Extreme Learning Machine: Theory and Applications, *Neurocomputing*, 2006, **70**(1), 489-501.

[111] Lee S., Kweon, I. S., Kim J., Yoon, J. S., Shin S., Bailo O., Kim N., Lee T.-H., Hong H. S., Han S. -H., VPGNet: Vanishing Point Guided Network for Lane and Road Marking Detection and Recognition, *2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, Venedik, İtalya, 22-29 Ekim 2017.

[112] Zhu Z., Liang D., Zhang S., Huang X., Li B., Hu S.. Traffic-sign Detection and Classification in the Wild, *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Las Vegas, 26 Haziran-1 Temmuz 2016.

[113] Nieto M., Laborda J. A., Salgado L., Road Environment Modeling using Robust Perspective Analysis and Recursive Bayesian Segmentation, *Machine Vision and Applications*, 2011, **22** (6), 927-945.

[114] Natarajan B., Bhaskaran V., Konstantinides K., Low-complexity Block-based Motion Estimation via One-bit Transforms, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1997, **7**(4), 702-706.

[115] Chia W. C., Chew L. W., Ang L. -M., Seng K. P., "Motion Estimation Algorithm Using One-Bit-Transform with Smoothing and Preprocessing Technique, *Intelligent Automation and Computer Engineering*, 2009, **52**, 165-177.

[116] Funk N., A study of the Kalman Filter Applied to Visual Tracking, *University of Alberta*, 2003.

[117] Bar-Shalom Y., Birmiwal K., Variable Dimension Filter for Maneuvering Target Tracking, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 1982, **18**(5), 621-629.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

[1] Duvar R., **Küçükmanisa A.**, Akbulut O., Çelebi A. T., Urhan O., Assessment of the Performance of Low Bit-Depth Representation based Motion Estimation Methods on HEVC, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, DOI: 10.17341/gazimmfd.416537.

[2] **Küçükmanisa A.**, Tarım G., Urhan O., Real-time Illumination and Shadow Invariant Lane Detection on Mobile Platform, *Journal of Real-time Image Processing*, DOI: 10.1007/s11554-017-0687-2.

[3] **Küçükmanisa A.**, Urhan O., Real-time Lane Departure Warning System on an Embedded Platform, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2017, **32**(4), 1287-1300.

[4] **Küçükmanisa A.**, Urhan O., Histogram Distance based Road Surface Detection on a Single Image, *International Journal of Transportation Systems*, 2016, **1**, 84-91.

[5] **Küçükmanisa A.**, Akbulut O., Urhan O., Real-Time Lane Marking Detection Using Weighted Filter, 20th International Conference on Computer Sciences, Computational and Artificial Intelligence (ICCSCAI 2018), Bangkok, Tayland, 30-31 Agustos 2018.

[6] Duvar R., **Küçükmanisa A.**, Akbulut O., Çelebi A. T., Urhan O., HEVC'de Seyrek Arama Kullanarak Bir-Bit Dönüşümlü Hareket Kestiriminin Performans Analizi, *26. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Konferansı*, İzmir, Türkiye, 2-5 Mayıs 2018.

[7] Altın N., **Küçükmanisa A.**, Urhan O., Deep Learning Based Road Crack Detection on an Embedded Platform, *20th International Conference on Computer Vision and Image Processing (ICCVIP 2018)*, Amsterdam, Hollanda, 12-13 Şubat 2018.

[8] **Küçükmanisa A.**, Duvar R., Urhan O., Geliştirilmiş 1-Bit Dönüşümü Temelli Ön İşlem Kullanarak Gerçek Zamanlı Şerit İşaret Tespiti, *25. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU)*, Antalya, Türkiye, 15-18 Mayıs 2017.

[9] Akbulut O., Duvar R., **Küçükmanisa A.**, Urhan O., Hareket Kestiriminde çoklu Bant Geçiren Süzgeç Tabanlı Bir Bit Dönüşümleri, *25. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU)*, Antalya, Türkiye, 15-18 Mayıs 2017.

[10] Duvar R., **Küçükmanisa A.**, Akbulut O., Çelebi A. T., Urhan O., 1-Bit Dönüşümü Temelli Hareket Kestiriminin HEVC Kodlayıcıya Uygulanması, *25. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU)*, Antalya, Türkiye, 15-18 Mayıs 2017.

[11] **Küçükmanisa A.**, Urhan O., Tek Bir Görüntü ile Şerit Tespit Temelli Yol Yüzeyi Belirleme, *24. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU)*, Zonguldak, Türkiye, 16-19 Mayıs 2016.

[12] **Küçükmanisa A.**, Tarım G., Urhan O., Akıllı Telefonlar İle İleri Sürücü Destek Sistemleri, *7.Karayolları Trafik Güvenliği Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 17-19 Kasım 2016.

[13] **Küçükmanisa A.**, Güven T., Urhan O., Gerçek Zamanlı Gömülü Şeritten Ayrılma Tespit Sistemi, *Gömülü Sistemler ve Uygulamaları Sempozyumu (GömSis-2014)*, İstanbul, Türkiye, 4-5 Aralık 2014.

[14] **Küçükmanisa A.**, Urhan O., Güllü M.K., Ertürk S., Faz Korelasyonu Temelli Gerçek Zamanlı Video Stabilizasyonunun DSP Üzerinde Gerçeklenmesi, *20. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU)*, Muğla, Türkiye, 18-20 Nisan 2012.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Sakarya'nın Pamukova ilçesinde doğdu. İlköğretim eğitimini Hasan Leyli İlköğretim Okulu, lise eğitimini Fenerbahçe Süper Lisesi olmak üzere İstanbul'da tamamlamıştır. 2006 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında Elektronik ve Haberleşme Mühendisi olarak mezun oldu. DSP ile Gerçek Zamanlı Sayısal Video Stabilizasyonu adlı Yüksek Lisans tezi ile 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı'ndan Yüksek Mühendis ünvanını aldı. 2012 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine devam etmektedir. 2013 Eylül ayından itibaren Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.