

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VIDEO GÖRÜNTÜLERDE GERÇEK ZAMANLI
TRAFİK ŞERİDİ TESPİT VE TAKİP SİSTEMİ

Bilgisayar Mühendisi Fuat COŞKUN

FBE Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. M. Elif KARSLIGİL

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iii
KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	13
1.1 Mevcut Yöntemler	13
2. SİSTEM TASARIMI	19
2.1 Şerit Bölgesi Tespiti Modülü	21
2.1.1 Yol Görüntüsünün Alınması	22
2.1.2 Eğik Perspektif Eşleme	23
2.1.3 2 Boyutlu Gabor Filtresi Uygulanması	28
2.1.4 Düşey Histogram ile Şerit Yerlerinin Bulunması.....	36
2.1.5 Özellik Noktalarının Tespit Edilmesi	39
2.2 Şerit Eşleme Modülü	42
2.2.1 Bileşik Bezier Eğrisi Uydurma.....	42
2.2.2 Skor Fonksiyonu ile Şerit Eşleştirme.....	52
2.3 Şerit Takip Sistemi	56
3. UYGULAMA.....	63
3.1 Ön Hazırlık	63
3.2 Sistemin Başarısının Değerlendirilmesi.....	64
3.2.1 Engelsiz ve Düz Yol	64
3.2.2 Engelsiz ve Virajlı Yol.....	69
3.2.3 Engelli ve Düz Yol	77
3.2.4 Engelli ve Virajlı Yol.....	89
3.2.5 Karmaşık Engel ve Şeritli Yol.....	97
3.2.6 Sistemin Gerçek Zaman Test Sonuçları.....	123
4. SONUÇLAR ve YORUMLAR.....	128
KAYNAKLAR	130
ÖZGEÇMİŞ.....	132

SİMGE LİSTESİ

A^T	A matrisinin transpozu
$B(t)$	Bezier fonksiyonu genelleştirilmiş hali
$B_{i,n}(\cdot)$	Bernstein polinom fonksiyonu
$Başarı(\cdot)$	Trafik şeridi başarı fonksiyonu
D	Koordinat düzlemi dönüşüm matrisi
$f_{düşey}(\cdot)$	Düşey Gauss fonksiyonu
$f_{yatay}(\cdot)$	Yatay Gauss fonksiyonu
$g_e(\cdot)$	Çift gabor filtresi
$g_o(\cdot)$	Tek gabor filtesi
$g_{\lambda,\theta,\varphi,\sigma,\gamma}(\cdot)$	2 boyutlu parametrik Gabor filtresi
$KB(\cdot)$	Kuş bakışı görüntüdeki bir nokta
$Pf(\cdot)$	Perspektif görüntüdeki bir nokta
$\$M$	Genelleştirilmiş şerit mesafesi
$\$M_{sol}$	Sol şerit için şerit mesafesi
$\$M_{sağ}$	Sağ şerit için şerit mesafesi
λ	Gabor filtresi dalga boyu
θ	Gabor filtresi uygulanış açısı
φ	Gabor filtresi faz dengesi(teklik-çiftlik bilgisi)
σ	Gabor filtresi frekans bant genişliği parametresi
γ	Gabor filtresi şekil parametresi

KISALTMA LİSTESİ

CHEVP	Canny / Hough Estimation of Vanishing Point
IPM	Inverse Perspective Mapping
RANSAC	Random Sample Consensus
SYS	Sürücü Yardım Sistemi
WPM	Warp Perspective Mapping

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 (Kim, 2008) çalışmasına ait örnek başarılı şerit tespit sonuçları	14
Şekil 1.2 (Kim, 2008) çalışmasına ait Örnek Başarısız Şerit Tespit Sonuçları	14
Şekil 1.3 (Wang vd., 2004) Örnek başarılı şerit tespit sonuçları	15
Şekil 1.4 (Jiang vd., 2009b)'deki çalışmanın (a) Kenar belirleme sonucu (b) Mesafe dönüşümü sonucu	15
Şekil 1.5 (Jiang vd., 2009b)'deki çalışmanın örnek şerit tespit sonuçları	16
Şekil 1.6 (Jiang vd., 2009b)'de tespit edilen şerit üzerindeki yanlış noktalar	16
Şekil 1.7 (Aly, 2008) 'deki çalışmanın örnek şerit tespit sonuçları	17
Şekil 2.1 İ.T.Ü Mekar Mekatronik Araştırma Laboratuvarı Çalışma Ortamı	19
Şekil 2.2 Şerit Tanıma ve Takip Sistemi Blok Diyagramı	21
Şekil 2.3 (a) 320 x 240 çözünürlüklü görüntü. (b) 320 x 186 çözünürlüklü görüntü.	22
Şekil 2.4 (a) RGB renk uzayındaki görüntü. (b) Gri seviyeli görüntü.	22
Şekil 2.5 Perspektif görüntü örneği	23
Şekil 2.6 Perspektif görüntüdeki paralel çizgiler. (Perspektif Tren Rayı)	24
Şekil 2.7 (a) Şerit bulma işleminin yapılacağı pencere ve 4 referans noktası. (b) Kuş bakışı resimdeki 4 referans noktası.	27
Şekil 2.8 Eğik perspektif eşleme sonuçları	28
Şekil 2.9 (a) Çift Gabor (b) Tek Gabor	29
Şekil 2.10 (a) 2B Gabor filtresi gerçel kısım (çift) (b) 2B Gabor filtresi sanal kısım (Tek)....	30
Şekil 2.11 (a) Gabor filtresi gerçel kısım çekirdeği (b) Gabor filtresi sanal kısım çekirdeği ..	30
Şekil 2.12 (a) $\lambda=5$ (b) $\lambda=10$ (c) $\lambda=15$	31
Şekil 2.13 (a) $\theta=0$ (b) $\theta=45$ (c) $\theta=90$	31
Şekil 2.14 (a) $\varphi=0$ (b) $\varphi=180$ (c) $\varphi=-90$ (d) $\varphi=90$	31
Şekil 2.15 (a) $\gamma = 0.3$ (b) $\gamma = 0.5$ (c) $\gamma = 0.8$ (d) $\gamma = 1$	32
Şekil 2.16 (a) $\sigma = 16$ (b) $\sigma = 12$ (c) $\sigma = 8$ (d) $\sigma = 4$	32
Şekil 2.17 Soldaki resimler eğik perspektif doğrultma sonuçları, soldaki resimler Gabor filtresi sonuçlarıdır.	34
Şekil 2.18 Soldaki resimler Gabor sonuçları, sağdaki resimler eşikleme sonuçlarıdır.	35
Şekil 2.19 (a) $\theta = 0$ (b) $\theta = -10$ (350)	35
Şekil 2.20 (a) Gabor filtresi cevabı (b) Gauss filtresi cevabı	36
Şekil 2.21 (a) Özellik çıkarımı cevabı (b) Düşey histogram	37
Şekil 2.22 (a) Özellik çıkarımı cevabı (b) Düşey histogram	37
Şekil 2.23 (a) DPYM histogramı (b) DPYM histogramı Gauss yumuşatma cevabı	38
Şekil 2.24 (a) Yumuşatma olmadan şerit tahmini (b) Yumuşatmadan sonra şerit tahmini	38
Şekil 2.25 (a) Özellik çıkartımı cevabı (b) DPYM histogramı	39
Şekil 2.26 (a) Şeritlerin başlangıç koordinatları (b) Düşey piksel yoğunluk histogramı	40
Şekil 2.27 Üst noktanın bulunması	40
Şekil 2.28 Alt noktanın bulunması	41
Şekil 2.29 Orta noktanın bulunması	41
Şekil 2.30 Orta noktanın bulunması	41
Şekil 2.31 (Macek vd.,2004)'deki virajlı yolda düz şerit tespit sonucu	42
Şekil 2.32 (a) Eğri örneği. (b) İki noktalı çizgi (c) Üç noktalı çizgi (d) Dört noktalı çizgi	43
Şekil 2.33 (a) 1. dereceden bernstein polinomu $B_0, 1t = 1 - t$ ve $B_1, 1t = t$ eğrileri	44
Şekil 2.34 (2.21)'deki P noktasına 4 tane örnek	45
Şekil 2.35 Üçüncü dereceden Bezier eğrisi örneği	46
Şekil 2.36 3. dereceden Bezier eğrisi örneği	46
Şekil 2.37 3. dereceden Bezier eğrisi örnekleri	47
Şekil 2.38 (a) S virajlı giriş resmi (b) Kuş bakışı görüntü (c) Çizilen eğriler, kontrol noktaları	

.....	47
Şekil 2.39 (a) Giriş resmi (b) Kuş bakışı görüntü (c) Tekil Bezier Eğrisi (d) Bileşik Bezier Eğrisi	49
Şekil 2.40 Bileşik Bezier eğrisi uydurma yöntemi için örnek sonuçlar	52
Şekil 2.41 (a) Giriş resmi (b) Kuş bakışı ve özellik çıkarımı cevabı (c) Şerit uydurma cevabı	53
Şekil 2.42 (a) Giriş resmi (b) Kuş bakışı ve özellik çıkarımı cevabı (c) Şerit uydurma cevabı	53
Şekil 2.43 Yanlış bulunan şeridin düzeltilmesi süreci	54
Şekil 2.44 Kesikli şeritler için uyuşmayan piksel durumu	54
Şekil 2.45 Kesikli şeritler için skor hesaplama.....	55
Şekil 2.46 Bütün pencere kaydırma yöntemi örnek sonuçları.....	57
Şekil 2.47 Parçalı pencere kaydırma yöntemi örnek sonuçları	58
Şekil 2.48 (a) Şeritler için çizilen doğrular (b) Şablon şeritler ve sınırları.	59
Şekil 2.49 Şablon şerit güncelleme problemi	59
Şekil 2.50 Şablon şerit içine kesik alan kadar ilerlenmiş resim	60
Şekil 2.51 (a) Şerit belirleme sonucu (b) Şablon şeridin güncellenmiş hali	60
Şekil 2.52 Şablon şerit eşleme ile şerit takip sistemi için örnek sonuç resimleri	61
Şekil 3.1 C1 ve C2 noktalarından oluşan dikdörtgen ve yamuk.	63
Şekil 3.2 Görüntünün alınması ve şeritlerin başlangıç durumlarının belirlenmesi arasındaki adımlar	66
Şekil 3.3 Ardışık dört giriş görüntüsü.....	67
Şekil 3.4 Ardışık dört kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali.....	67
Şekil 3.5 Ardışık dört görüntünün Şablon şeritleri	68
Şekil 3.6 Ardışık dört görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları.....	68
Şekil 3.7 Ardışık dört görüntünün düzeltilmiş hali.....	69
Şekil 3.8 Beşer ardışık giriş görüntüsü	70
Şekil 3.9 Beşer ardışık dört kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali	70
Şekil 3.10 Beşer ardışık dört görüntünün Şablon şeritleri	71
Şekil 3.11 Beşer ardışık dört görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları	71
Şekil 3.12 Beşer ardışık dört görüntünün düzeltilmiş hali	72
Şekil 3.13 Yirmişer ardışık altı giriş görüntüsü.....	73
Şekil 3.14 Yirmişer ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali	73
Şekil 3.15 Yirmişer ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri.....	74
Şekil 3.16 Yirmişer ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları	75
Şekil 3.17 Yirmişer ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali	75
Şekil 3.18 Başarısız şerit takip örneği.....	76
Şekil 3.19 Başarısız şerit takip örneği.....	76
Şekil 3.20 Belirli aralıklarla ardışık giriş görüntüleri	77
Şekil 3.21 Belirli aralıklarla ardışık Gabor ve eşiklenmiş görüntüler	78
Şekil 3.22 Belirli aralıklarla ardışık şablon şeritleri	79
Şekil 3.23 Belirli aralıklarla ardışık görüntülerin Bezier eğri modeli sonuçları	80
Şekil 3.24 Belirli aralıklarla ardışık görüntülerin düzeltilmiş hali	80
Şekil 3.25 Belirli aralıklarla ardışık altı giriş görüntüsü	81
Şekil 3.26 Belirli aralıklarla ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali.....	82
Şekil 3.27 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri	83
Şekil 3.28 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları	83
Şekil 3.29 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali.....	84
Şekil 3.30 Yirmişer ardışık altı giriş görüntüsü.....	85
Şekil 3.31 Yirmişer ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali	86
Şekil 3.32 Yirmişer ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri.....	87

Şekil 3.33 Yirmişer ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları	87
Şekil 3.34 Yirmişer ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali	88
Şekil 3.35 Belirli aralıklarla ardışık altı giriş görüntüsü	89
Şekil 3.36 Belirli aralıklarla ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali	90
Şekil 3.37 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri	91
Şekil 3.38 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları	92
Şekil 3.39 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali	92
Şekil 3.40 Belirli aralıklarla ardışık altı giriş görüntüsü	93
Şekil 3.41 Belirli aralıklarla ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali	94
Şekil 3.42 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri	95
Şekil 3.43 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları	95
Şekil 3.44 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali	96
Şekil 3.45 Belirli aralıklarla ardışık dört giriş görüntüsü	97
Şekil 3.46 Belirli aralıklarla ardışık dört kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali	98
Şekil 3.47 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün Şablon şeritleri	98
Şekil 3.48 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları	99
Şekil 3.49 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün düzeltilmiş hali	99
Şekil 3.50 Belirli aralıklarla ardışık dört giriş görüntüsü	100
Şekil 3.51 Belirli aralıklarla ardışık dört kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali ..	100
Şekil 3.52 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün Şablon şeritleri	101
Şekil 3.53 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları	101
Şekil 3.54 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün düzeltilmiş hali	102
Şekil 3.55 Belirli aralıklarla ardışık altı giriş görüntüsü	103
Şekil 3.56 Belirli aralıklarla ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali	104
Şekil 3.57 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri	104
Şekil 3.58 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları	105
Şekil 3.59 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali	106
Şekil 3.60 Belirli aralıklarla ardışık altı giriş görüntüsü	107
Şekil 3.61 Belirli aralıklarla ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali	108
Şekil 3.62 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri	108
Şekil 3.63 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları	109
Şekil 3.64 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali	110
Şekil 3.65 Karmaşık test videosundaki başarısız şerit tespit sonuçlarından bazıları	111
Şekil 3.66 Belirli aralıklarla ardışık altı giriş görüntüsü	111
Şekil 3.67 Belirli aralıklarla ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali	112
Şekil 3.68 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri	113
Şekil 3.69 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları	114
Şekil 3.70 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali	114
Şekil 3.71 Belirli aralıklarla ardışık dört giriş görüntüsü	115
Şekil 3.72 Belirli aralıklarla ardışık dört kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali ..	116
Şekil 3.73 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün Şablon şeritleri	116
Şekil 3.74 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları	117
Şekil 3.75 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün düzeltilmiş hali	117
Şekil 3.76 Belirli aralıklarla ardışık altı giriş görüntüsü	118
Şekil 3.77 Belirli aralıklarla ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali	119
Şekil 3.78 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri	120
Şekil 3.79 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları	120
Şekil 3.80 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali	121
Şekil 3.81 Karmaşık test videosundaki başarısız şerit tespit sonuçlarından bazıları	122
Şekil 3.82 Alt sol ve alt sağ özellik noktaları	124
Şekil 3.83 Şerit mesafesi hesaplama sonuçlarının görüntüler üzerindeki gösterimi	125

Şekil 3.84 Sistemin yanal kayma tahmin grafiği	126
Şekil 3.85 Gerçek yanal kayma grafiği	126
Şekil 3.86 Gerçek ve tahmini yanal kayma grafikleri.....	127

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
ÇİZELGE 2.1 ÇALIŞMADA SEÇİLEN GABOR PARAMETRE DEĞERLERİ.....	33
ÇİZELGE 3.1 SİSTEM TEST ORTAMI ÖZELLİKLERİ.....	122
ÇİZELGE 3.2 ÇEŞİTLİ SENARYOLAR VE BAŞARI ORANLARI	123

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında kullanılan teknikler, literatürdeki varolan yöntemler araştırıldıktan sonra bir takım iyileştirme ve geliştirmeler sonucu ortaya çıkmıştır. Geliştirilen sistem üç ana modül üzerine kurulu olup her biri kendi içerisinde alt modüllere ayrılmaktadır. Gelecekte yapılacak olan çalışmalara ışık tutmak amacıyla, sistemde kullanılan yöntemlere alternatif olabilecek yöntemler de tez kitabında mevcuttur. Bunun dışında geliştirme sırasında karşılaşılan zorluklara ve bazı olumsuz sonuçlar veren yöntemlere de değinilmiştir.

Tez çalışmam sırasında her zaman yanımda olarak beni destekleyen biricik eşime, engin bilgisiyle bana her zaman yol gösteren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. M. Elif Karslıgil'e ve yapılan çalışmanın gerçekleşmesinde büyük katkısı olan kıymetli hocam Prof. Dr. Levent Güvenç' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2010

Fuat COŞKUN

ÖZET

Bu tez çalışmasında, yol videolarını değerlendirerek gerçek zamanlı olarak aracın sağ ve solundaki trafik şeritlerini bulmaya yönelik şerit bölgesi belirleme, şerit eşleştirme ve şerit takibi işlemlerini gerçekleştiren bir sistem tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Bu tür sistemlerde amaç, insan kontrolüne gerek kalmaksızın güvenli sürüşü sağlamak ve insan hatalarından kaynaklanan kazaları engellemeye yardımcı olmaktır.

İlk işlem olarak simülasyon ortamındaki aracın ön camına yerleştirilen bir kamera yardımıyla alınan renkli görüntü gri seviyesine dönüştürülür. Perspektif görüntüdeki trafik şeritleri dışındaki gürültü diye nitelendirilebilecek diğer nesneleri elemek ve şeritlerin paralellliğini net bir şekilde ortaya çıkarabilmek için orijinal görüntüden kuş bakışı görüntüye geçilir. Bu dönüşümü sağlamak için dört nokta örneklemeli eğik perspektif eşleme metodu kullanılmıştır. İki boyutlu Gabor filtresi ile şerit bölgesine ait olabilecek doğrular ön plana çıkarılırken görüntüdeki diğer kısımlar sömükleştirilmiştir. Belirginleştirilen noktalar kullanılarak düşey piksel yoğunluğu hesaplama yöntemiyle şeritlerin tahmini başlangıç bölgeleri tespit edilmiştir. Bileşik Bezier Eğrisi eşleştirme yöntemiyle noktalardan meydana gelen eğriler elde edilmiştir. Skor fonksiyonu yardımıyla elde edilen eğrilerin şeritlere olan uygunluğu ölçülmüştür. Son olarak şablon şerit eşleme yöntemi ile başlangıçta elde edilen şeritlerin takip edilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen sistem, simülasyon ortamında düz, virajlı, trafiğe açık ve kapalı yollarda çeşitli şerit türleri kullanılarak test edilmiştir. 320x186 çözünürlüğündeki görüntüde ortalama işlem süresi saniyede 67 çerçeve olarak tespit edilmiş ve şerit bulma başarısı da ortalama % 98,7 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şerit tespiti, şerit takibi, sürücü yardım sistemi, şerit koruma sistemi.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to develop a system which performs lane zone detection, lane matching and lane tracking procedures for finding traffic lanes on real time. The purpose of this kind of systems is to prevent accidents caused by human faults and providing secure drive without needing a human operator.

First process is to convert the image frame which is provided by the camera located on the windshield of the car, from RGB space to gray level image. The original image based on perspective view is rectified using the warp perspective mapping method to eliminate the objects different from traffic lanes and to clarify the parallelism of the lanes around the vehicle. Probable lane zones are crystallized and other places are clouded using 2D Gabor filter. Estimated initial coordinates of the lanes are calculated by Vertical Pixel Density method using feature points extracted from Gabor filtering process. Composite Bezier Spline fitting method provides the curves which corresponds to traffic lanes. Success rate of matching lanes is computed by empirical score function. Lane tracking process is further managed by Template Lane Matching method which accelerates the processing. The system is then verified on different conditions which contains straight and curved roads which are open and closed to traffic. Average processing speed for this system is 67 fps on 320 x 186 image resolution. Average traffic lane detection and tracking success rate is calculated as % 98,7.

Keywords: Lane detection, lane tracking, driver assistance system, lane keeping system.

1. GİRİŞ

Emniyet Genel Müdürlüğü verilerinden derlenen bilgiye göre 2008 yılında Türkiye genelinde meydana gelen 459 bin 941 trafik kazasında 4 bin 228 kişi ölmüş, 183 bin 841 kişi yaralanmıştır. Trafik kazalarının % 97'si sürücü hatalarından meydana gelmiştir. Günümüzde Sürücü Yardım Sistemi (SYS) diye adlandırılan otomatik sistemler sürücülerden kaynaklanan hataları azaltma yolunda önem kazanmaya başlamış bulunmaktadır. SYS uygulamalarının başlangıç noktası, aracın üzerinde gittiği yolu bölümlere ayıran ve karmaşıklığı önleyen trafik şeritlerinin bulunması ve aracın bu şeritler içindeki konumunun sabitlenmesi olarak düşünülmektedir. Bu amaç doğrultusunda görüntü işleme ve bilgisayarla görü yöntemlerini kullanarak trafik şeritlerinin bulunmasını sağlamak için birçok çalışma yapılmıştır.

1.1 Mevcut Yöntemler

Trafik şeritlerinin bulunması ve takibi amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Kuş bakışı görüntüler üzerinde (Kim, 2008), perspektif görüntü üzerinde (Wang vd., 2004) çalışan, mesafe dönüşümü kullanan (Jiang vd., 2009a; 2009b) , stereo görüntü işleyen (Franke vd., 1998; Nedevschi vd., 2004), monoküler görüntü işleyen (Lim vd., 2009), düz çizgiler halinde şeritleri tespit eden (Grimmer ve Lakshmanan, 1996; Kaliyaperumal vd., 2001), parabolik eğriler halinde şeritleri tespit eden (Kluge ve Lakshmanan, 1995; Lakshmanan ve Kluge, 1995) birçok sistem oluşturulmuştur.

(Kim, 2008) modelindeki sistemde kuş bakışı görüntü üzerinde çalışılmaktadır ve dönüşüm için homojen matris konvülsiyonu kullanılmıştır. Görüntü gri seviyeli hale (R:0,5 G:0,4 B:0,1) oranıyla dönüştürülerek silik şeritlerin belirginleştirilmesi sağlanmıştır. Olası şerit bölgeleri belirlenirken görüntü işleme teknikleri yerine yapay sinir ağları kullanılmıştır. Her bir piksel, etrafındaki 3x9 luk çerçeve ile birlikte yapay sinir ağına giriş olarak verilmiş ve o pikselin şerit bölgesine ait olup olmadığı bilgisi elde edilmiştir. Daha sonra Gauss yumuşatma filtresi ve en büyük olmayanı bastırma (non maxima supression) yöntemleri uygulanarak, elde edilen noktaların seyreltilmesi ve gereksiz noktaların silinmesi sağlanmıştır. Bezier Spline eğri modelinin test edilmesi için RANSAC(RANdom SAmple Consensus – Rastgele Örnek Onaylama) model uydurma işlemi uygulanmıştır. RANSAC metodundan sonra elde edilen olası şerit eğrileri Markov tarzı olasılıksal dağılım yöntemiyle kesinleştirilmiş ve şeritlerin takip edilmesi sağlanmıştır. 352 x 240 çözünürlüğündeki 923 görüntü içeren bir videoda

saniyede 10 görüntü işlenmiş ve % 80’lik başarı elde edilmiştir. (Şekil 1.1)



Şekil 1.1 (Kim, 2008) çalışmasına ait örnek başarılı şerit tespit sonuçları

Ancak kullanılan yöntem, standardın biraz üstündeki virajlarda ve eğim farklılıklarında başarısız sonuçlar üretmektedir. Bu yüzden aracın hızındaki değişikliklerden kaynaklanan kamera açısı farklılıklarında başarısız sonuçlar üretmektedir. (Şekil 1.2)



Şekil 1.2 (Kim, 2008) çalışmasına ait Örnek Başarısız Şerit Tespit Sonuçları

(Wang vd., 2004)’de perspektif görüntü üzerinde çalışılmıştır. Gri seviyeli görüntüdeki trafik şeridine ait olabilecek noktaların tespit edilmesi için CHEVP(Canny / Hough Estimation of Vanishing Point) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde öncelikle Canny kenar belirleme yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuç düşey olarak 5 parçaya bölünüp her bir parçada ayrı ayrı Hough çizgi bulma yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen çizgilerin birbirleri arasındaki açı farklılıklarına bağlı olarak B-Snake eğri modelindeki referans noktaları tahmin edilir. Elde edilen çizgilerle asıl kenar piksellerinin uyumunu hesaplayan minimum ortalama hatanın karesi yöntemiyle referans noktaları netleştirilir ve şeritler çizilmiş olur. Şeritlerin takibinde ise ardışık iki çerçeve arasında çok büyük fark olmayacağı varsayımına dayanan referans noktalarının tahmini metodu kullanılır. 700 video görüntüsü üzerinde yapılan denemelerde 2

görüntü/sn hızla işlem yapılmaktadır ve %95’lik başarıya ulaşılmıştır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 (Wang vd., 2004) Örnek başarılı şerit tespit sonuçları

Ancak başlangıçta CHEVP algoritmasının uygulanması için 4 saniyelik bir süre gerekmektedir. Canny kenar belirleme yönteminden sonra şerit bilgisi dışında birçok gürültü de elde edilmektedir. Perspektif görüntüde çalışıldığı ve hayali olarak düşünülebilecek ufuk çizgisine kadar işlem yapıldığı için kompleks eğrilerin yakalanabilmesi için B-Snake metodu kullanıldığından referans noktalarının tahmin edilmesi zorlaşmaktadır.

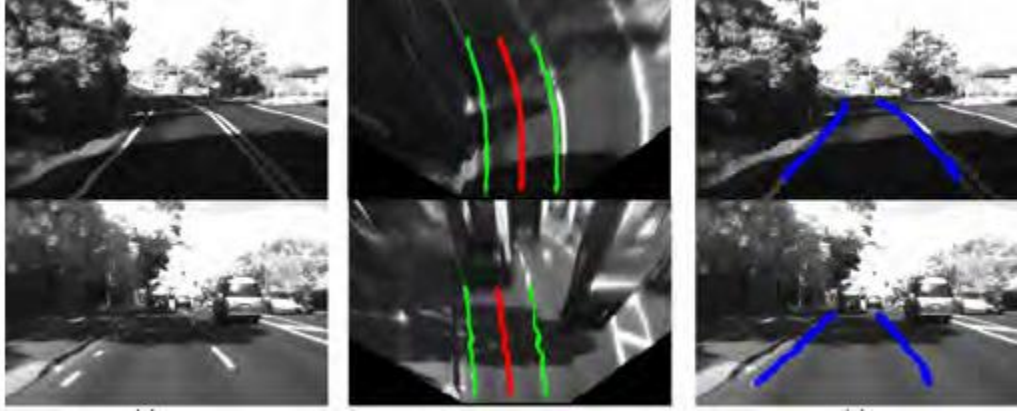
(Jiang vd., 2009b)’nin modelinde şerit bölgesinin belirginleştirilmesi için öncelikle kenar belirleme işlemi ve sonra Öklid mesafe dönüşümü yönteminin sadeleştirilmiş bir versiyonu kullanılmıştır. Yatay Mesafe Dönüşümü metodu sayesinde kesikli ve sürekli trafik şeritleri arasındaki fark ortadan kaldırılmıştır. Mesafe Dönüşümü işleminden sonra şerit bölgeleri siyaha yakın, diğer bölgeler de şeritlere olan uzaklıklarına göre beyaza yakın olarak renklendirilmiştir. En parlak noktalar şeritlerin ortasını temsil etmektedir. (Şekil 1.4)



Şekil 1.4 (Jiang vd., 2009b)’deki çalışmanın (a) Kenar belirleme sonucu (b) Mesafe dönüşümü sonucu.

Bu model sayesinde şeritler neredeyse doğrudan ortaya çıkarılmıştır, bu yüzden herhangi bir eğri modeline oturtulması gerekmemektedir. Siyah noktaların oluşturduğu kümeler üzerinde

parçacık filtreleme yöntemi kullanılarak şeritlerin çizilmesi sağlanmıştır. Bu yöntemde bilgi olarak mesafe dönüşümünden elde edilen piksellerin kenar noktalarına olan uzaklıkları esas alınmıştır. Bu yüzden Şekil 1.5’de görülebileceği gibi çizilen şeritler yumuşak hatlara sahip değildir.



Şekil 1.5 (Jiang vd., 2009b)’deki çalışmanın örnek şerit tespit sonuçları.

Çalışmada hızdan bahsedilmemiştir. Ancak mesafe dönüşüm işleminin zaman alacağı anlaşılmaktadır. Her pikselin en yakındaki kenar pikseline olan uzaklığını bulmak maliyetli olur. Belirgin bir eğri modeli kullanılmadığından iyi bir kenar belirleme yöntemi kullanılmazsa parçacık filtreleme yöntemi Şekil 1.6’daki gibi yanlış noktalara sapacaktır.



Şekil 1.6 (Jiang vd., 2009b)’de tespit edilen şerit üzerindeki yanlış noktalar.

(Nedevschi vd., 2004)’deki çalışmada diğerlerinin aksine iki kameradan eş zamanlı alınan görüntüler yardımıyla stereo görüntü işleme teknikleri kullanılarak şerit tespit işlemi yapılmaktadır. Sağ ve sol kameradan alınan iki görüntüdeki benzer noktaların yatay olarak kıyaslanmasından oluşturulan fark haritası yardımıyla şeritlerin karakteristikleri ortaya çıkarılmaktadır. Stereo görüntü işleme sayesinde kamera açısı, yolun eğimi vb. göz önünde bulundurulması gereken faktörler önemini yitirmektedir. Ayrıca şerit bulmaya eş zamanlı olarak, şerit içerisindeki araç, insan vb. engeller de tespit edilmiş olmaktadır. Ancak bu sistemin dezavantajı, fark haritası oluşturma işleminin gerçek zamanlı bir sistemde

kullanılabilecek kadar yeterli olmamasıdır. Ayrıca kameralardaki titreşimlerden kaynaklanan farklar, eş zamanlı alınmış iki görüntünün eşleştirilmesini zorlaştırmaktadır. Endüstride seri üretim vb. faktörler düşünüldüğünde büyük firmalar tarafından iki kamera pek tercih edilmemektedir.

(Aly, 2008)' deki çalışmada görüntü, kamera parametrelerine bağlı olarak IPM (Inverse Perspective Mapping – Ters Perspektif Eşleme) yöntemi kullanılarak kuş bakışı hale getirilmiştir. Daha sonra şeritlerin düşey doğrultuda olacağı varsayımına dayanarak 2 boyutlu Gauss filtresi ve eşik seviyesi uygulama metodu yardımıyla yatay eksenindeki özellikleri ortaya çıkarılırken düşey eksendekiler bulanıklaştırılmıştır. Şerit bölgesine ait olabilecek pikseller elde edildikten sonra basitleştirilmiş Hough Transformu yöntemiyle şeritlerin başlangıç koordinatları tahmin edilmiştir. Elde edilen başlangıç koordinatları göz önüne alınarak önceden belirlenmiş bir adım sayısı kadar RANSAC metodu uygulanmış ve şeritlere en uygun eğriler Bezier kübik eğri modeli yardımıyla saptanmıştır. Çözünürlük olarak IPM işleminden sonra 160x120'lik görüntüler üzerinde çalışılmıştır. 50 görüntü/sn hızıyla çalışmaktadır ve çalışmada şerit takip metodu kullanılmamasına rağmen ortalama %93'lük başarıdan bahsedilmektedir. Örnek şerit tespit sonuçları Şekil 1.7'de gösterilmektedir.



Şekil 1.7 (Aly, 2008) 'deki çalışmanın örnek şerit tespit sonuçları

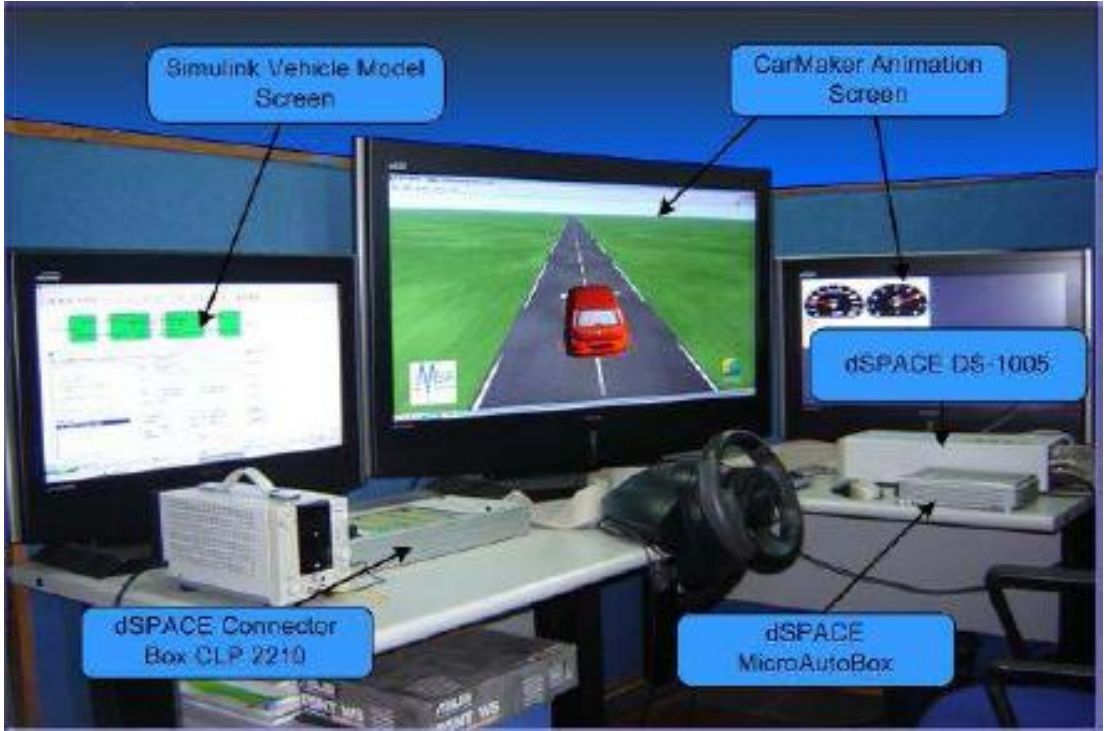
Gerçek zamanlı bir sistem için hız açısından yeterli performansı göstermektedir. RANSAC metodunda belirli bir iterasyona kadar rastgele noktalar kullanılarak eğri tahmini yapıldığından ve sade Bezier eğri modelinin referans noktalarının tahmin edilmesi zor olduğundan virajlar keskinleştikçe uygun eğriler bulunamayabilmektedir.

Literatürdeki sistemlerin çoğunun ortak kullandığı bir veritabanı ve ortak bir başarı ölçüm metodu yoktur. Ayrıca bir çok çalışmada elde edilen sonuçların doğruluğunu ölçmek için elle hazırlanmış doğru sonuç (ground truth) verisinin olmadığından da bahsedilmektedir. Başarı

ölçümü yapılırken tahminlere ve deneysel sonuçlara göre üretilmiş eşik değerleri kullanılmaktadır. Bu yüzden çalışmalardaki başarı sonuçları göreceli hale gelmekte, birbirine göre değerlendirilememektedir.

2. SİSTEM TASARIMI

Tez çalışması kapsamında geliştirilen bu sistem, İ.T.Ü. Mekar Mekatronik Araştırma Laboratuvarında geliştirilmekte olan Şerit Koruma Yardımı (Lane Keeping Assistance) sisteminin video görüntü işleme bölümünü oluşturmaktadır. Laboratuvar ortamında yapılan testler daha pratik, az maliyetli ve tehlikesiz olduğundan simülasyon ortamı hazırlanmıştır. Geliştirilen sistemler bu simülasyon ortamında test edilmektedir. (Carmaker-HIL) referansında ayrıntılı bilginin yer aldığı Carmaker HIL içinde bulunan yüksek doğruluklu ve gerçekçi araç modeli, dSpace kompakt simülatörü üzerinde yazılım olarak çalışmaktadır. Tez çalışmasında geliştirilen sistem bir PC üzerinde çalıştırılarak simülasyondaki araç içi kameradan alınan görüntü işlenmektedir. (Dspace-Microautobox) referansında ayrıntıları belirtilen dSpace microautobox donanımı PC'den görüntü işleme sonucunda elde edilen şerit ve araç koordinat bilgilerini, Carmaker simülasyonundan da aracın gerçek konum bilgilerin almaktadır. Alınan bu bilgiler ışığında aracın hangi yöne ne kadar kayması gerektiğine karar verilmekte ve bu bilgi tekrar Carmaker araç modeline gönderilerek araca gerekli işlem uygulanmaktadır. İ.T.Ü. Mekar Mekatronik Araştırma Laboratuvarındaki çalışma ortamı Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1 İ.T.Ü Mekar Mekatronik Araştırma Laboratuvarı Çalışma Ortamı

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen yazılım C++ programlama dili ve openCV görüntü işleme kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiştir. İTÜ Mekar Mekatronik Laboratuvarında geliştirilen araç dinamiklerinin modellendiği sistemde kullanılan yazılım ise Matlab COMES toolbox'ı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmaların uyum sağlayabilmesi için görüntü işleme bölümü, MATLAB S-FUNCTION'a çevrilerek sisteme dahil edilmiştir. Bu sayede görüntü işleme bloğundan alınan bilgiler araç kontrol bloğuna aktarılmakta ve bu bilgiler sayesinde araç şeritler içerisinde tutulmaktadır. Laboratuvar ortamında yapılan testler daha pratik, az maliyetli ve tehlikesiz olduğundan simülasyon ortamı hazırlanmış ve geliştirilen sistemler bu simülasyon ortamında test edilmiştir.

Sistemin genel yapısı ve işlem adımları Şekil 2.2'de ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir. Çalışmada yer alan alt yöntemler, şerit bölgesi tespiti, şerit eşleme ve şerit takibi adı altında 3 ana başlıkta toplanmaktadır. Şerit bölgesi tespiti başlığı altında renkli yol görüntüsünün gri seviyeye dönüştürülmesi, eğik perspektif eşleme yöntemi, 2B Gabor Filtresi uygulanması, düşey piksel yoğunluğu metodu ve özellik noktası tespiti işlemleri bulunmaktadır. Şerit eşleme aşamasında ise bileşik Bezier eğri uydurma, skor fonksiyonu ve şerit eşleştirme yöntemleri gerçekleştirilmiştir. Şerit takip modülünde ise Şablon Şerit Eşleme yöntemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.2 Şerit Tanıma ve Takip Sistemi Blok Diyagramı

2.1 Şerit Bölgesi Tespiti Modülü

Bu modüldeki işlemler Şekil 2.2'deki blok diyagramındaki yol görüntüsünün alınmasından Özellik Noktası Tespiti yöntemine kadar olan işlemlerdir. Bu modül sonucunda elde edilen

veriler kullanılarak trafik şeritlerinin şekilsel karakteristikleri ortaya çıkarılmaktadır.

2.1.1 Yol Görüntüsünün Alınması

Sistem Tasarımı ana başlığı altında değinildiği gibi işlenen video görüntüsü, Carmaker gerçek zamanlı simülasyonundan alınmaktadır. Bu sistemden alınan görüntü 320x240 çözünürlüğündedir. Ancak alınan görüntünün en alt bölümünde aracın ön tamponunun bir kısmı ve simülasyona ait etiket bilgileri de görülmektedir. Görüntüdeki bu bölümün kullanılmasına gerek olmadığı için, 320x186 olacak şekilde kesilmekte ve Şekil 2.3'deki hale getirilmektedir.



Şekil 2.3 (a) 320 x 240 çözünürlüklü görüntü. (b) 320 x 186 çözünürlüklü görüntü.

Sonrasında görüntü klasik $(11 \cdot R + 16 \cdot G + 5 \cdot B) / 32$ formülüyle Şekil 2.4'deki gibi gri seviyeli hale getirilmiştir.



Şekil 2.4 (a) RGB renk uzayındaki görüntü. (b) Gri seviyeli görüntü.

2.1.2 Eğik Perspektif Eşleme

(Kim, 2008; Jiang vd., 2009a) çalışmalarında da değinildiği gibi perspektif görüntüdeki bazı dezavantajlardan dolayı şeritlerin tespit edilme başarısı düşebilmektedir. Bu dezavantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Şeritlerin boyları aracın bulunduğu noktadan ufuk çizgisine doğru gidildikçe küçülmektedir.
- Yol üzerindeki şeritler her zaman birbirine hemen hemen paralel şekilde çizilmesine rağmen perspektif görüntüde eğimler farklıdır.
- Perspektif görüntüde şeritler ve yol dışında, şerit bulmayı zorlaştıran birçok nesne de görüntü içerisinde bulunmaktadır.

Bu sayılan dezavantajlar Şekil 2.5’de açıkça görülebilmektedir.



Şekil 2.5 Perspektif görüntü örneği

Perspektif dönüşümü sağlamadaki en çok bilinen iki yöntem Muad, A.M. vd. (2004)’de değinilen IPM (Inverse Perspective Mapping) ve bu çalışmada kullanılan WPM (Warp Perspective Mapping) yöntemleridir. IPM yöntemi kamera parametrelerine bağımlılığı nedeniyle tercih edilmemiştir. WPM yöntemi, 4 referans noktaya göre elde edilen bir dönüşüm matrisi yardımıyla orijinal görüntüdeki her bir pikselin kuş bakışı görüntüdeki koordinatlarının bulunmasından ibarettir. Temel prensibi Eşitlik (2.1)’de görülmektedir.

$$KB \begin{pmatrix} x_w \\ y_w \\ w \end{pmatrix} = D \cdot Pf \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

D dönüşüm matrisini temsil etmektedir. Hartley ve Zisserman (2000) ve Heckbert (1989)

alışmalarında anlatıldığı gibi basit 4 nokta referans alma yöntemiyle oluşturulmaktadır. (2.1)'deki KB noktası homojen koordinat düzlemindeki noktayı, Pf ise kartezyen koordinat düzlemindeki noktayı temsil etmektedir. Eşitlik (2.1)'dek w değişkeni homojen koordinat düzleminde ileri gelmektedir. Kartezyen koordinat düzleminde teorik olarak iki paralel çizgi hiçbir zaman akışamaz. Ancak perspektif uzayda iki paralel çizgi gözden uzaklaştıkça birbirine yaklaşmakta ve ufuk noktasında (sonsuzda) birleşmektedirler. (Şekil 2.6)



Şekil 2.6 Perspektif görüntüdeki paralel çizgiler. (Perspektif Tren Rayı)

Yani kartezyen koordinat düzlemi perspektif görüyü tam olarak karşılayamamaktadır. Kartezyen koordinat düzleminde 2 boyutlu uzaydan bir nokta (x,y) olarak ifade edilebilir. Bu noktanın sonsuzda olması durumunda (∞,∞) ifadesi kartezyen koordinat düzleminde bir anlam ifade etmeyecektir. Paralel çizgiler sonsuz noktasında kesişmelidir, ancak kartezyen koordinat düzlemi buna müsaade etmemektedir. Bu sorunu çözmek amacıyla Möbius (1827), homojen koordinat düzlemini geliştirmiştir. Bu düzlemde N -boyutlu bir koordinat, (2.1)'deki gibi w parametresi eklenerek $N+1$ tane parametre ile ifade edilmektedir. Böylece kartezyen koordinat düzlemindeki (x,y) noktası (X,Y,w) haline gelmektedir. Artık yeni elde edilen X ve Y aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$X = x/w$$

$$Y = y/w$$

Bir örnekle açıklamak gerekirse kartezyen koordinat düzlemindeki $(1,2)$ noktası homojen koordinat düzleminde $(1,2,1)$ olarak ifade edilir. Eğer bu nokta sonsuza gidiyor ise kartezyen koordinat düzleminde (∞,∞) , homojen koordinat düzleminde $(1,2,0)$ olarak ifade edilir. Çünkü $(1/0, 2/0) = (\infty,\infty)$ olmaktadır. Böylelikle sonsuzdaki bir noktayı “ ∞ ” işareti kullanmadan ifade etmiş oluruz.

Sisteme homojen denilmesinin sebebi, aşağıdaki örnekte görüldüğü gibi homojen koordinattaki birden fazla noktanın kartezyen koordinattaki aynı noktaya tekabül edebilmesidir.

Homojen Koordinat	Kartezyen Koordinat
(1,2,3)	$(\frac{1}{3}, \frac{2}{3})$
(2,4,6)	$(\frac{2}{6}, \frac{4}{6})$

Bu bilgiler ışığında (2.1)'i biraz daha ayrıntılı bir biçimde (2.2)'deki haliyle yazabiliriz.

$$\begin{bmatrix} XW \\ YW \\ W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Bu eşitlikten yola çıkılarak temel matris çarpımı işlemiyle W parametresi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$W = gx + hy + 1 \quad (2.3)$$

Homojen koordinat düzlemindeki, yani bu çalışmada kuş bakışı görüntüdeki yeni koordinatları ifade eden bağıntı (2.4)'deki gibi yazılabilir. (2.2)'deki iki taraf da W parametresine bölünmüştür.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} g & h & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}} \quad (2.4)$$

Bu eşitlikten yola çıkarak X ve Y değerlerini (2.5)'deki gibi ifade edebiliriz.

$$\begin{aligned} X &= \frac{ax+by+c}{gx+hy+1} \\ Y &= \frac{dx+ey+f}{gx+hy+1} \end{aligned} \quad (2.5)$$

(2.5)'de görüldüğü gibi homojen koordinattaki noktaların bulunabilmesi için dönüşüm matrisindeki katsayıların bilinmesi gerekmektedir. Önceden seçilen 4 noktaya göre bu parametrelerin bulunması işlemi bu aşamada devreye girmektedir. Öncelikle (2.5)'deki her iki taraf da W ile çarpılarak (2.6) daki eşitlik elde edilir.

$$\begin{aligned} X(gx + hy + 1) &= ax + by + c \\ Y(gx + hy + 1) &= dx + ey + f \end{aligned} \quad (2.6)$$

X ve Y yalnız bırakarak (2.7) elde edilir.

$$X = ax + by + c - gXx - hXy$$

$$Y = dx + ey + f - gYx - hYy \quad (2.7)$$

Bu ifadeyi matrisyel ifadeye çevirmede kolaylık olması amacıyla X ve Y için sonucu sıfır olan bazı terimler eklenerek (2.8) elde edilir.

$$X = ax + by + c - 0d + 0e + 0f - gXx - hXy$$

$$Y = 0a + 0b + 0c + dx + ey + f - gYx - hYy \quad (2.8)$$

Bu ifadeyi matris formuna getirerek (2.9)'daki ifadeyi elde etmek mümkündür.

$$\begin{bmatrix} x & y & 1 & 0 & 0 & 0 & -Xx & -Xy \\ 0 & 0 & 0 & x & y & 1 & -Yx & -Yy \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Bu dönüşüm matrisindeki katsayıları bulmak için dört nokta referans alınacağı için (2.9)'daki ifade (2.10)'daki gibi gösterilebilir.

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_1x_1 & -X_1y_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -Y_1x_1 & -Y_1y_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_nx_n & -X_ny_n \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_nx_n & -X_ny_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ \vdots \\ X_n \\ Y_n \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

n parametresi 4 olarak seçildiğinde x ve y değerleri perspektif görüntüdeki koordinatları, X ve Y ise kuş bakışı görüntüdeki koordinatları temsil etmektedir. Bu bağıntının çözülmesi ile dönüşüm matrisindeki katsayılar elde edilir. Bu bağıntıyı çözmek için sözde-ters (pseudo-inverse) yöntemi kullanılabilir. (2.10)'daki ifadeyi (2.11)'deki gibi basitleştirerek işlemler daha kolay gösterilebilir.

$$A\lambda = B \quad (2.11)$$

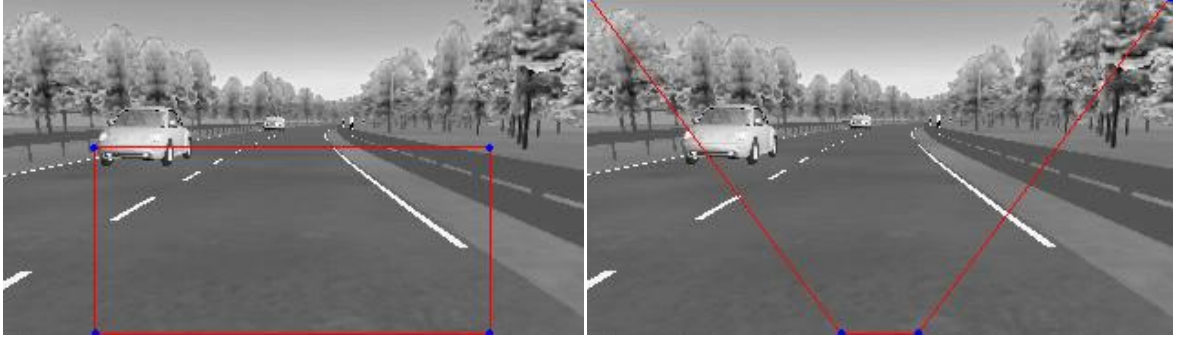
Daha sonra her iki taraf da A'nın devriği ile çarpılarak aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$A^T A \lambda = A^T B \quad (2.12)$$

Son olarak dönüşüm matrisindeki katsayıları içeren λ yalnız bırakılarak eşitlik çözülebilir.

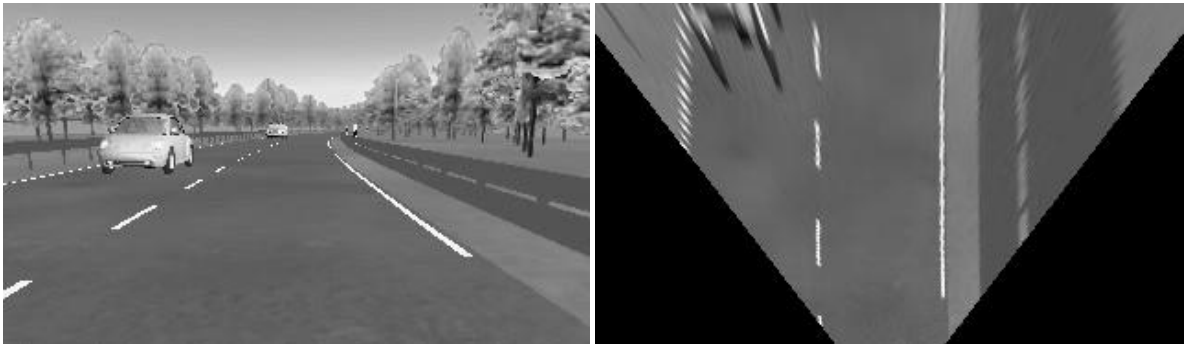
$$\lambda = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (2.13)$$

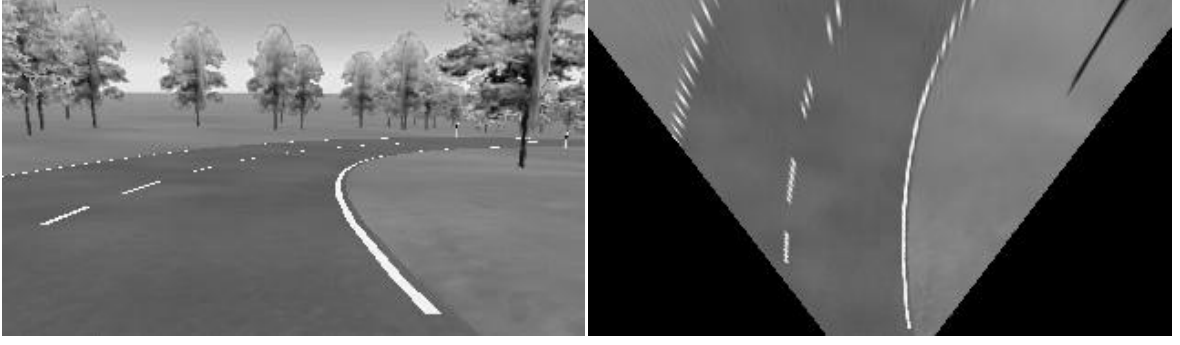
Katsayılar elde edildikten sonra perspektif resimdeki her piksel için Eşitlik (2.1)'deki işlem uygulanarak kuş bakışı görüntüdeki koordinatlar elde edilir. Seçilen noktaların örnek resimler üzerindeki gösterimi Şekil 2.7'deki gibidir.



Şekil 2.7 (a) Şerit bulma işleminin yapılacağı pencere ve 4 referans noktası. (b) Kuş bakışı resimdeki 4 referans noktası.

Şekil 2.7 (a) resmindeki 4 nokta, kartezyen koordinat düzlemindeki noktaları, Şekil 2.7 (b) resmindeki 4 nokta da yeni homojen koordinat düzlemindeki 4 noktayı temsil etmektedir. Bu noktalar kullanılarak (2.10)'dan ileriye gidilerek (2.1)'de ifade edilen D dönüşüm matrisindeki katsayılar elde edilir. Daha sonra Şekil 2.7 (a)'daki pencere içindeki her nokta için dönüşüm işlemi uygulanır. Sonuç olarak Şekil 2.8'deki resimler elde edilir.





Şekil 2.8 Eğik perspektif eşleme sonuçları

2.1.3 2 Boyutlu Gabor Filtresi Uygulanması

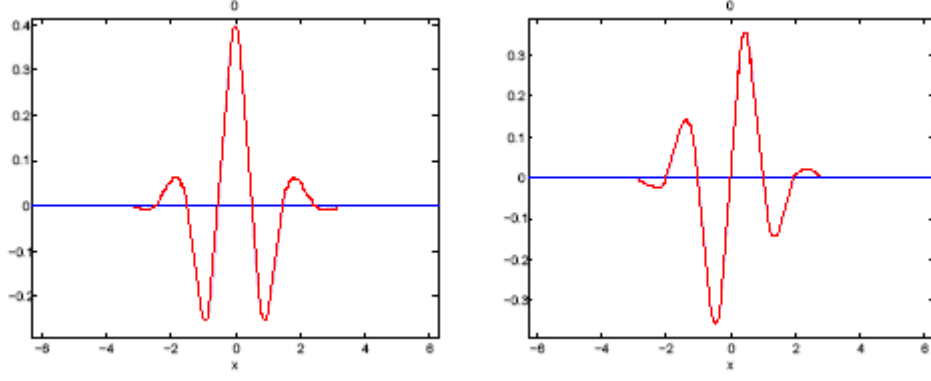
Gabor filtresi, içerdiği parametreler sayesinde memelilerin göz yapısının birincil görsel korteksinde yer alan hücre tepkilerini modelleyebilmektedir. Basitçe düşünülürse Gabor filtreleri, kullanıldığı boyutlar doğrultusunda sürekli renk değişimlerini yakalamayı sağlayan bir çekirdek üretmektedir. Günümüzde iris tanıma, plaka tanıma, doku analizi vb. birçok uygulamanın özellik çıkartımı bölümünde Gabor filtrelerinin farklı türleri kullanılmaktadır.

Gabor filtrelerinin ihtiyaca göre birçok türü olmasıyla birlikte ilk çalışmalar, yönteme adını veren Dennis Gabor tarafından 1946 yılında (Gabor, 1946) çalışmasıyla yapılmıştır. Buna göre ilk tanımlanan Gabor fonksiyonu (2.14) ve (2.15)'de görüldüğü gibi kosinüs veya sinüs dalgalarının Gauss pencereleri ile örneklenmiş halidir.

$$g_e(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)} \cdot \cos(2\pi w_0 x) \quad (2.14)$$

$$g_o(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)} \cdot \sin(2\pi w_0 x) \quad (2.15)$$

w_0 merkez frekansını yani filtrenin en büyük cevabı alacağı noktayı temsil etmektedir. σ ise filtrenin boyutunu belirleyen parametredir. $g_e(x)$ çift Gabor filtresi ve gerçel kısım, $g_o(x)$ ise tek Gabor filtresi ve sanal kısım olarak literatürde geçmektedir. Aralarındaki fark ise filtrelerin uygulanış biçimi ve merkezlerindeki genliktir. Şekil 2.9'da ikisi arasındaki fark görülebilmektedir. Genelde büyüklük cevabının hesaplanması için bu iki filtre cevabının kareleri toplamının karekökü hesaplanır.



Şekil 2.9 (a) Çift Gabor (b) Tek Gabor

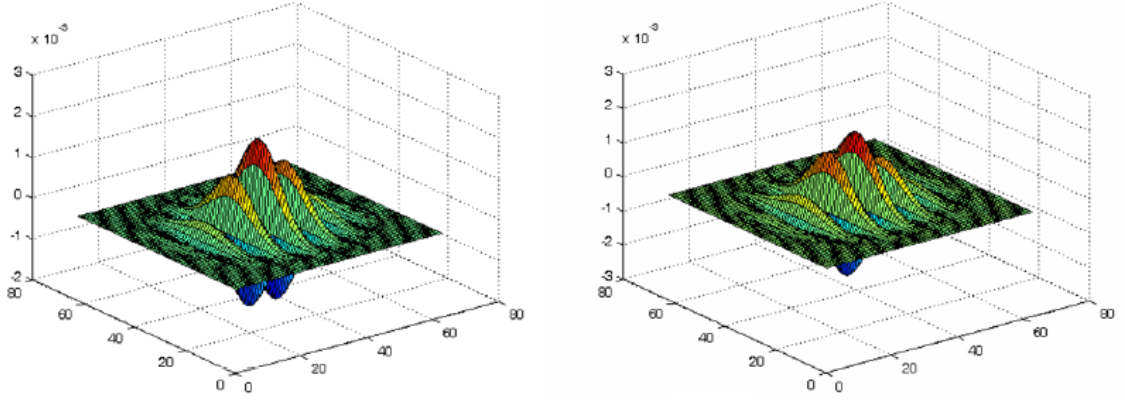
Uygulamaya yönelik düşünüldüğünde çift Gabor filtresi uygulandığı pencere içindeki en orta noktanın özelliklerini belirginleştirirken, tek Gabor filtresi bu noktanın yanlarındaki piksellerin özelliklerini ortaya çıkarmaktadır.

Süregelen çalışmalar sonucunda Daugman (1980), doku özelliklerinden iris tanıma çalışmalarında kullanmak üzere Gabor filtresini 2 boyuta taşıyarak (2.15) ve (2.16)'daki hale getirmiştir.

$$g_e(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)} \cdot \cos(2\pi w_{x_0}x + 2\pi w_{y_0}y) \quad (2.15)$$

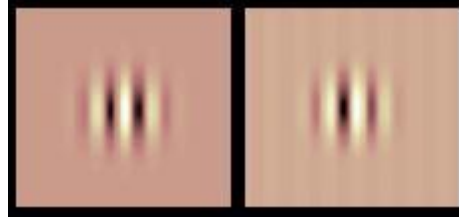
$$g_o(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)} \cdot \sin(2\pi w_{x_0}x + 2\pi w_{y_0}y) \quad (2.16)$$

Yine bir öncekine benzer şekilde w parametresi merkez frekansını, σ ise kapladığı alanı yani genişliğini belirtmektedir. Şekil 2.10'da 2B Gabor filtresinin x , y düzlemleri ve genliğe göre aldığı şekil gösterilmektedir.



Şekil 2.10 (a) 2B Gabor filtresi gerçel kısım (çift) (b) 2B Gabor filtresi sanal kısım (Tek)

Bu şekildeki gabor filtrelerine tekabül eden çekirdekler Şekil 2.11’de gösterilmektedir. Çekirdeklerdeki siyah bölgeler genlik olarak sıfırın altındaki, Şekil 2.10’daki mavi uçlu bölümlerdir. Parlak beyaz bölgeler ise uçları turuncu ve sarı olan bölgelere denk gelmektedir.



Şekil 2.11 (a) Gabor filtresi gerçel kısım çekirdeği (b) Gabor filtresi sanal kısım çekirdeği

Nicolai Petkov ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalar sonucu 2B Gabor filtreleri daha parametrik ve daha yetenekli hale getirilmiştir (Grigorescu vd., 2002; Petkov vd., 2003; Grigorescu vd., 2003). Bu sayede filtrenin eliptiklik özelliği, çift ve teklik özelliği (2.17)’deki gibi tek bir denklem ile ifade edilebilmektedir.

$$g_{\lambda,\theta,\varphi,\sigma,\gamma}(x,y) = e^{\left(-\frac{x'^2 + y'^2}{2\sigma^2}\right)} \cdot \cos\left(2\pi\frac{x'}{\lambda} + \varphi\right) \quad (2.17)$$

$$x' = x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta$$

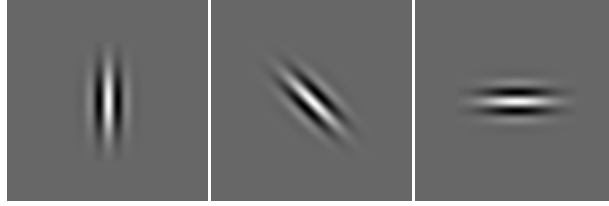
$$y' = -x \cdot \sin\theta + y \cdot \cos\theta$$

λ parametresi, filtredeki kosinüs ek bölümünün dalga boyu anlamına gelmektedir. Bu parametre değer olarak piksel sayısına çok yakındır. Yapılan uygulamaya göre değiştirilerek uygun boyutta bir filtre elde edilebilir. Bu parametrenin çekirdek üzerindeki etkisi Şekil 2.12’de açıkça görülebilmektedir.



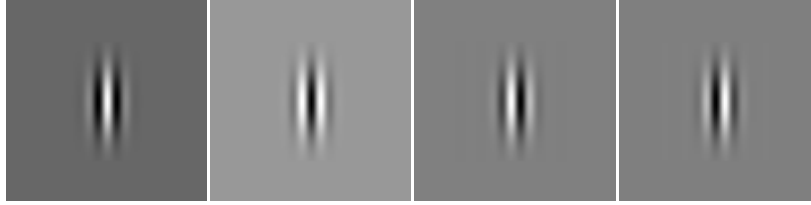
Şekil 2.12 (a) $\lambda=5$ (b) $\lambda=10$ (c) $\lambda=15$

θ parametresi, filtrenin uygulanış açısını belirlemektedir. Alabileceği değerler 0 ile 360 derece arasındadır ve gabor çekirdeğini Şekil 2.13'teki gibi değiştirir.



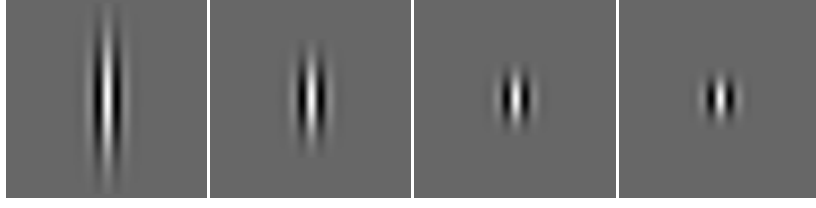
Şekil 2.13 (a) $\theta=0$ (b) $\theta=45$ (c) $\theta=90$

φ parametresi faz dengesi olarak tanımlanmaktadır. Bu parametre sayesinde filtrenin tek veya çift olacağına karar verilebilmektedir. Alabildiği değerler -180 ile 180 arasındadır. 0 ve 180 değerleri için çift, "-90" ve "90" değerleri için tek çekirdek oluşmaktadır. Parametrenin çekirdek üzerine etkisi Şekil 2.14' de görülebilmektedir.



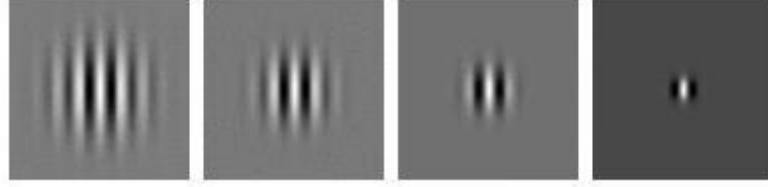
Şekil 2.14 (a) $\varphi=0$ (b) $\varphi=180$ (c) $\varphi=-90$ (d) $\varphi=90$

γ parametresi en boy oranını ayarlayarak çekirdeğin dairesel mi yoksa eliptik mi olacağının belirlenmesinde kullanılmaktadır. 1 değerini aldığı anda dairesel, daha küçük değerler aldığı anda kullanılan θ açısıyla aynı yönde uzamakta ve eliptik bir görüntüye bürünmektedir. Şekil 2.15'de bu parametrenin çekirdeğe etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.15 (a) $\gamma = 0.3$ (b) $\gamma = 0.5$ (c) $\gamma = 0.8$ (d) $\gamma = 1$

Son olarak σ parametresi, Gabor filtresinin frekans bant genişliğinin yani filtrenin yarıçapının belirlenmesinde kullanılmaktadır. σ / λ değeri filtrenin frekans bant genişliğidir ve sigma değeri büyük olduğu ölçüde çekirdekteki paralel çizgilerin miktarı artmaktadır. Bu da daha büyük sürekli renk değişimlerinin yakalanmasını sağlamaktadır. Şekil 2.16'da σ değerindeki değişimlerin Gabor çekirdeği üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



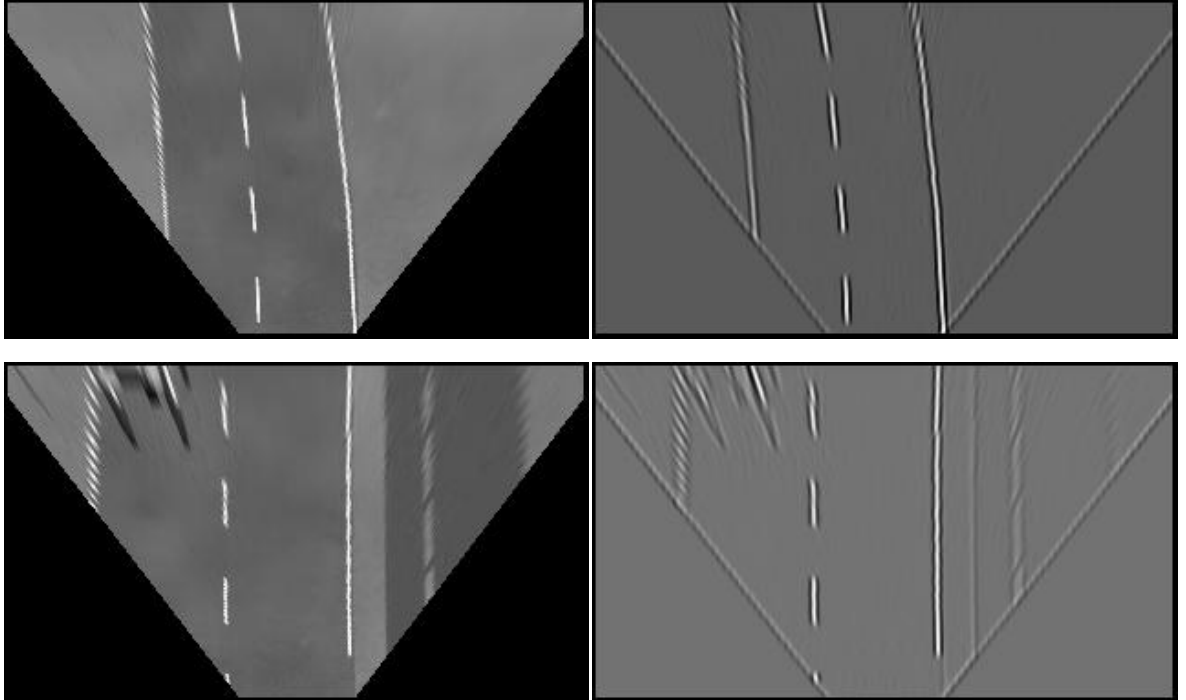
Şekil 2.16 (a) $\sigma = 16$ (b) $\sigma = 12$ (c) $\sigma = 8$ (d) $\sigma = 4$

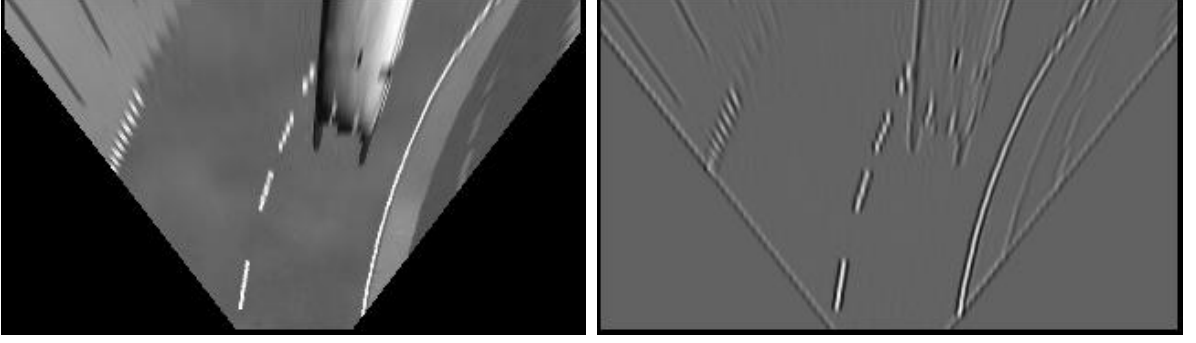
Bu tez çalışmasında kullanılan Gabor filtresindeki parametreler deneysel işlemler sonucunda en iyi sonucu veren değerler göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Seçilen parametre değerlerinden $\lambda = 4.6$ olarak belirlenmiştir. Ortaya çıkarılmaya çalışılan özellik yoldaki şeritler olduğundan virajlar da göz önünde bulundurularak 4 piksele yakın bir değerin seçilmesi en uygun sonucu üretmiştir. θ açısı olarak da 0° seçilmiştir. Kuş bakışı görüntüde şeritler düşey doğrultuda olduğundan filtrenin şeritlere dik olarak uygulanması en iyi sonucu vermektedir. Ancak virajlara girildiğinde filtre ile şeritler arası açı artmaktadır. Bu yüzden virajın yönüne göre θ açısı farklı Gabor filtreleri kullanarak özellik noktalarının kaybedilmemesi sağlanabilmektedir. φ parametresi 0 seçilerek çift Gabor filtresi kullanılmıştır. Amaç, şeritlerin tam orta noktalarının parlatılmasıdır. γ değeri 0.5 seçilerek hafif eliptik bir şekil kazanılmıştır. Ama bu parametrenin eliptik veya dairesel olması çok büyük farklar yaratmamaktadır. Çünkü ortaya çıkarılmaya çalışılan desen çok küçük bir parçadan ibarettir. σ parametresi de 2.57 olarak seçilmiştir. Seçilen parametreler Çizelge 2.1'de görülmektedir.

Çizelge 2.1 Çalışmada Seçilen Gabor Parametre Değerleri

Parametre	Anlamı	Seçilen Değer
λ	Dalga boyu	4.6
θ	Uygulama Açısı	0
φ	Tek, Çift Bilgisi	0
γ	Şekil Bilgisi	0.5
σ	Bant Genişliği Parametresi	2.57

Bu parametreler kullanılarak üretilen Gabor filtresi resimler üzerinde uygulandığında Şekil 2.17'deki sonuçlar elde edilmiştir.

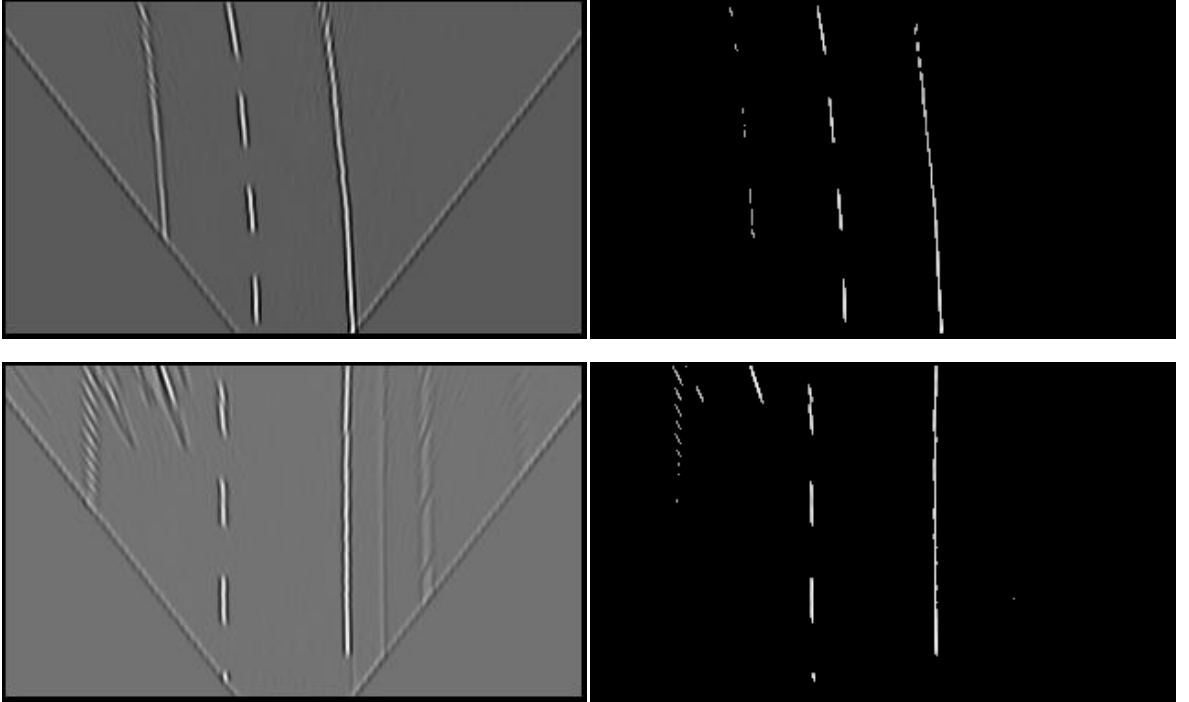


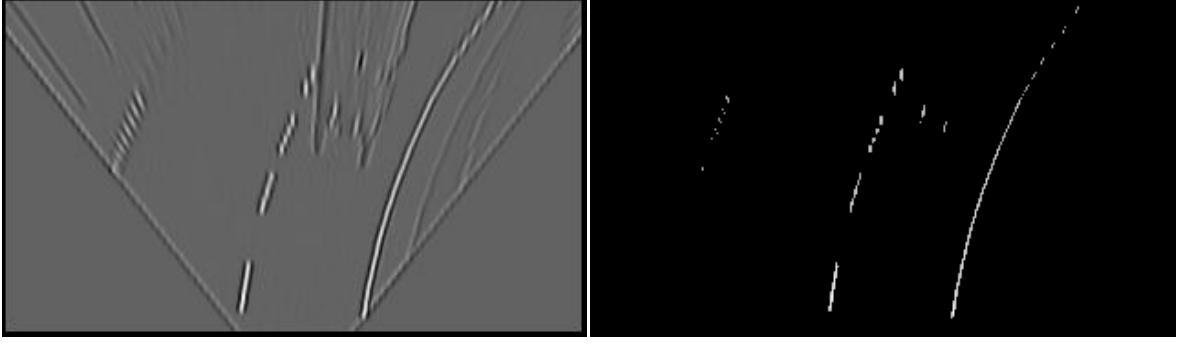


Şekil 2.17 Soldaki resimler eğik perspektif doğrultma sonuçları, soldaki resimler Gabor filtresi sonuçlarıdır.

Gabor filtresinin sonuç resimlerinde görüldüğü gibi olası şerit bölgeleri daha baskın ve parlak, şerit olmayan bölgeler daha sönük olmaktadır. Şekil 2.17 (c) resmindeki aracın jant bölgesi de karakteristik olarak şerit olabilecek şekilde olduğundan Gabor filtresi sonucunda tamamen ortadan kaldırılamamıştır. Resimlerden de anlaşılabileceği gibi düz şeritler daha parlak, virajlı yollardaki şeritler daha az parlaktır.

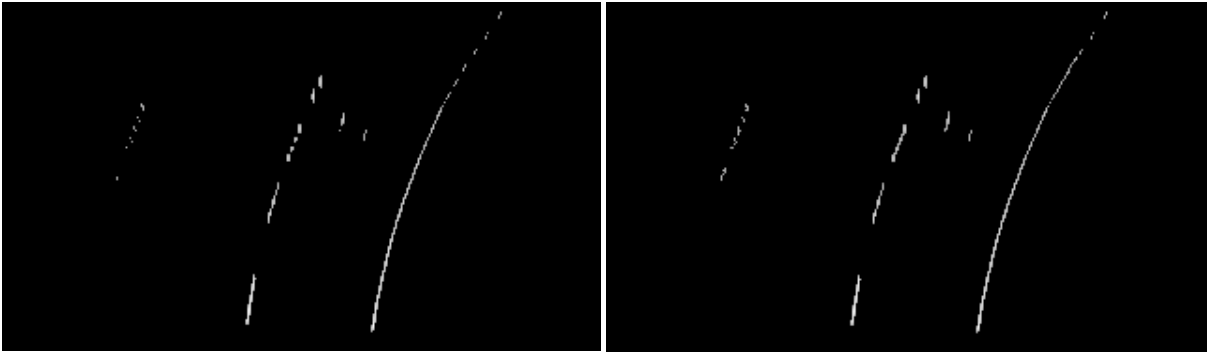
Gabor filtresi uygulandıktan sonra eşik seviyesi ile resim ikili hale dönüştürülerek belirgin pikseller ortaya çıkarılır. Bu işlem sırasında kullanılan eşik değeri beyaz piksellerin resmin genelindeki dağılımı ve oranı göz önüne alınarak belirlenmiştir. Bu işlemten sonra elde edilen örnek sonuç değerleri Şekil 2.18’de gösterilmektedir.





Şekil 2.18 Soldaki resimler Gabor sonuçları, sağdaki resimler eşikleme sonuçlarıdır.

Eşik seviyesi uygulama işlemiyle elde edilen resimlerde şerit dışındaki istenmeyen bilgiler büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır. Ancak Şekil 2.18 (d) resminde görüldüğü gibi aracın jantlarındaki büyük renk değişimi olası şerit pikseli olarak görülmektedir. Bunun gibi küçük gürültüler, düşey piksel yoğunluk metoduyla önemsiz hale getirilmektedir. Gabor filtresi 0° 'lik açıyla uygulandığından Şekil 2.18 (f) resmindeki şeridin son bölümleri kesikli şekilde görülmektedir. Yani bazı özellikler kaybolmuştur. Virajlara girildiği esnada farklı açılardaki gabor filtrelerinin kullanımıyla özellik noktalarındaki kayıplar az da olsa engellenebilmektedir. Şekil 2.19'da farklı iki açığa sahip Gabor filtresinin ürettiği sonuçlar görülmektedir.



Şekil 2.19 (a) $\theta = 0$ (b) $\theta = -10$ (350)

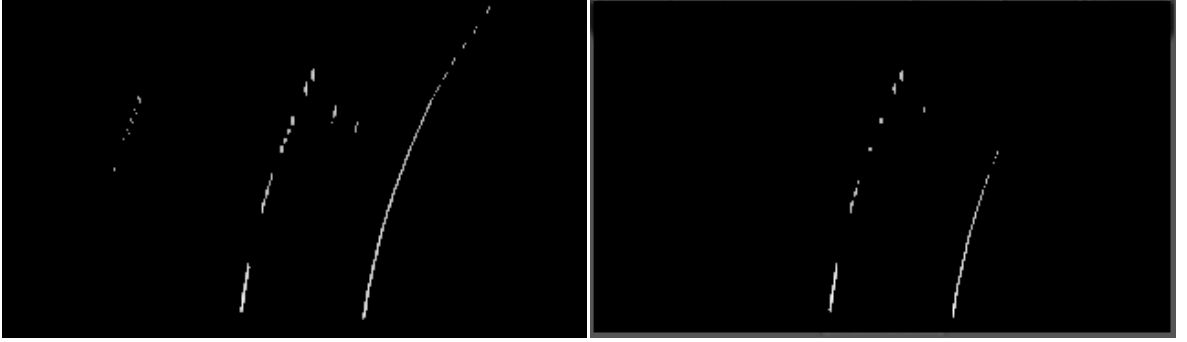
Özellik çıkarımında Gabor yöntemine alternatif olarak (Aly, 2008)'de kullanıldığı gibi 2 boyutlu Gauss filtresi de uygulanabilir. Bunun için öncelikle düşey doğrultuda Gauss yumuşatma filtresi uygulanarak gereksiz ayrıntılar ortadan kaldırılır. (2.18)'de düşey doğrultuda uygulanacak olan Gauss filtresine ait eşitlik görülmektedir.

$$f_{\text{düşey}}(y) = e^{\left(-\frac{1}{2\sigma_y^2} y^2\right)} \quad (2.18)$$

Bu fonksiyondaki σ parametresi, yumuşatılmak istenen şerit bloğunun yüksekliği kadar seçilmelidir. Yatay ekseninde ise Gauss fonksiyonunun ikinci türevi kullanılarak bant-geçirgen bir filtre elde edilir.(2.19)

$$f_{\text{yatay}}(x) = \frac{1}{\sigma_x^2} \cdot e^{\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right)} \cdot \left(1 - \frac{x^2}{\sigma_x^2}\right) \quad (2.19)$$

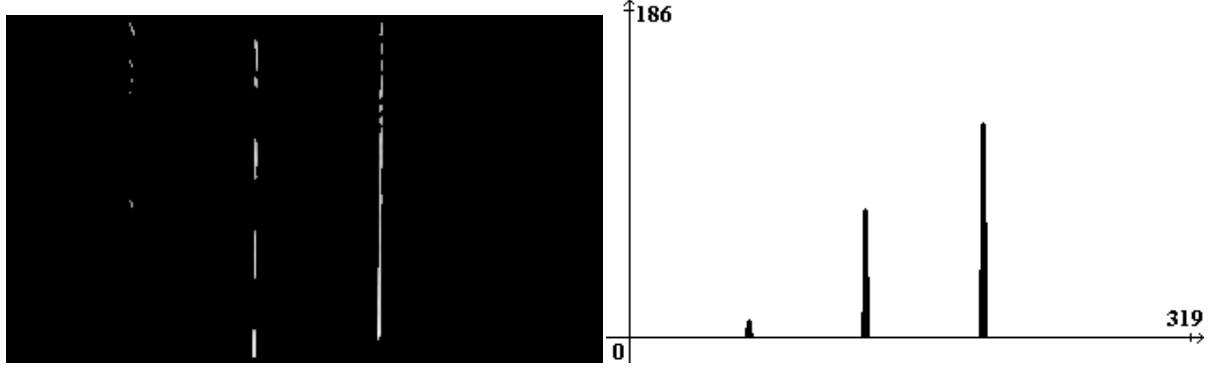
Bu fonksiyondaki σ parametresi ise Gabor filtresindeki λ parametresi gibi tespit edilecek şeritlerin eni düşünülerek seçilmelidir. Problemlı bir görüntü üzerinde Gabor ve Gauss filtrelerinin en iyi sonuçları Şekil 2.20'deki gibi kıyaslanabilmektedir. Gauss filtre cevabında virajlarda özellik kayıpları oluşmaktadır.



Şekil 2.20 (a) Gabor filtresi cevabı (b) Gauss filtresi cevabı

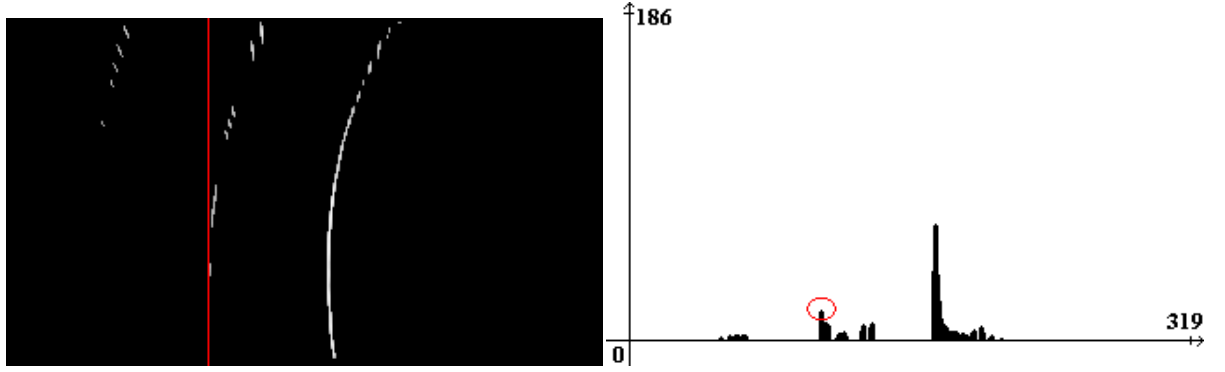
2.1.4 Düşey Histogram ile Şerit Yerlerinin Bulunması

Bu metot kullanılarak aracın sağ ve solundaki şeritler için başlangıç koordinat tahmini yapılmaktadır. Daha sonra şeritlerin üzerindeki pikseller bu başlangıç tahmini göz önüne alınarak bulunacaktır. Gabor filtre cevabıyla elde edilen beyaz piksellerin toplam sayısı, görüntünün bütün sütunları için hesaplanarak düşey histogram elde edilir. Şekil 2.21'de Gabor filtre cevabı ve hesaplanan düşey histogram görülmektedir.



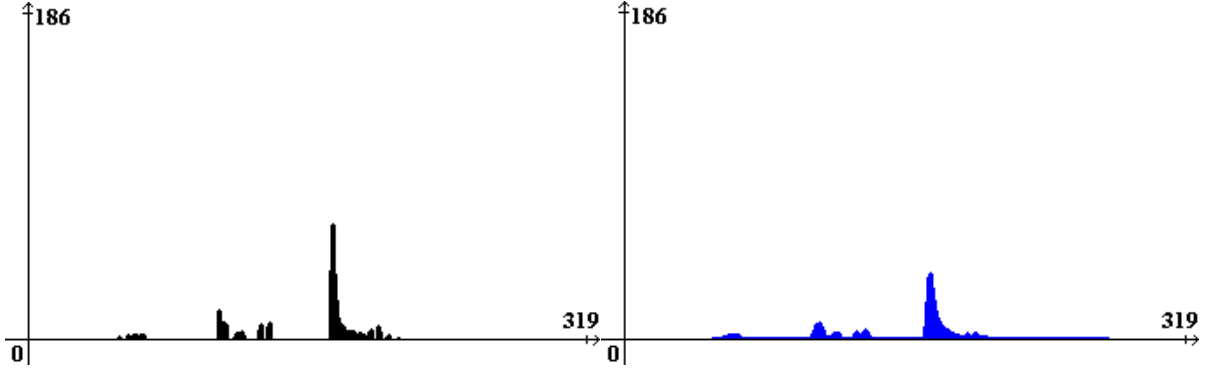
Şekil 2.21 (a) Özellik çıkarımı cevabı (b) Düşey histogram

Şekilde görüldüğü gibi aracın etrafındaki en yüksek piksel yoğunluğuna sahip iki şerit net bir şekilde görülebilmektedir. Hafif virajlı yollarda birbirine çok yakın iki histogram değeri arasında seçim yapmak zor olabilmektedir. (Şekil 2.22)



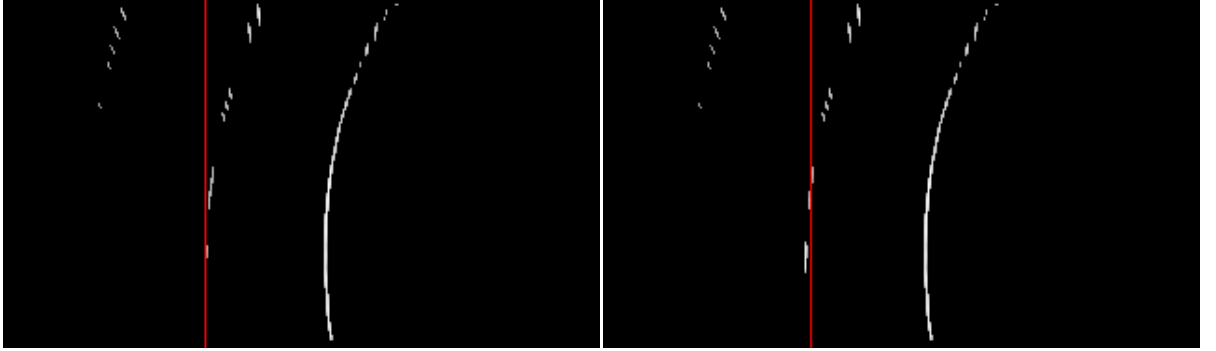
Şekil 2.22 (a) Özellik çıkarımı cevabı (b) Düşey histogram

Şekil 2.22 (a) resmindeki kırmızı çizgi, histogramdaki kırmızı daire ile işaretlenmiş yerden alınan başlangıç tahmin bilgisidir. Ancak görüldüğü gibi yol sağa döndüğünden çok iyi bir tahmin değildir. Bu gibi durumları engellemek ve daha doğru tahminlerde bulunabilmek için histograma Gauss yumuşatma işlemi uygulanır. Bu işlemden sonra histogram Şekil 2.23'deki gibi görünmektedir.



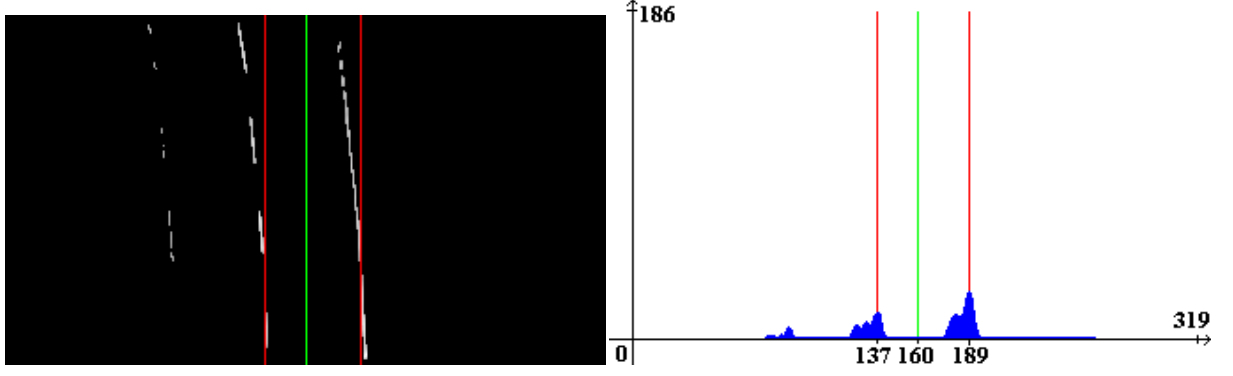
Şekil 2.23 (a) DPYM histogramı (b) DPYM histogramı Gauss yumuşatma cevabı

Şekil 2.23 (b)'de görüldüğü gibi Şekil 2.22 (b) resminde kırmızı daire içine alınan nokta 2 piksel kadar sağa kaymıştır ve tahmin sonucu Şekil 2.24 (b)'deki gibi değişmiştir.



Şekil 2.24 (a) Yumuşatma olmadan şerit tahmini (b) Yumuşatmadan sonra şerit tahmini

Histogram düzgün bir şekilde elde edildikten sonra en yüksek yoğunluktaki iki değerin bulunduğu x-koordinatı değerleri, şeritlerin başlangıç noktası olarak kabul edilir. Bu işlem için öncelikle histogram dizisi hızlı sıralama (quick sort) algoritmasıyla küçükten büyüğe dizilir. Yoğunluk değerleri birbirine çok yakın ve koordinat olarak da yan yana olan bölgelerde bir şerit için birden fazla başlangıç tahmini yapılmasını engellemek için yalnızca en yüksek yoğunluk değeri seçilir. Sıralanmış histogram değerleri üzerinde şeritlerin başlangıç tahminleri yapılırken ilk şerit her zaman en baştaki eleman olur. Daha sonra ikinci şeridi ararken, aracın yolun hemen hemen ortasında olduğu varsayımı yapılarak, şeritlerin koordinat olarak bu örnek için $x=160$ noktasına (görüntünün x koordinatındaki orta noktasına) göre aynalanmış bir değerde olmasına dikkat edilerek arama devam ettirilir. Şekil 2.25'de ilk şeritin başlangıç koordinat tahmini $x=189$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.25 (a) Özellik çıkartımı cevabı (b) DPYM histogramı

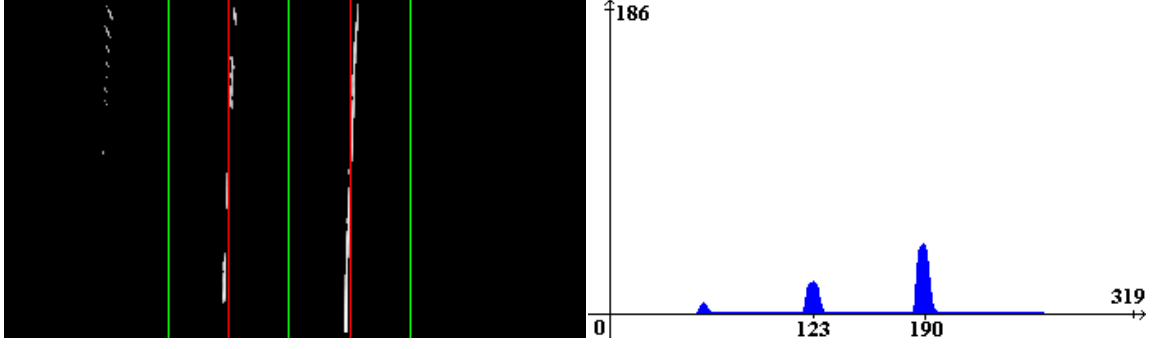
Şekil 2.25'deki yeşil çizgi, görüntünün tam orta noktasını aynı zamanda araç içindeki kameranın yerini temsil etmektedir. Kırmızı çizgiler de şerit tahmininde bulunan koordinatları temsil etmektedirler. Görüldüğü gibi bu örnek için sağ ve sol şeritlerin orta noktaya olan uzaklıkları arasında $(189-160) - (160-137) = 6$ piksellik bir fark vardır. Bu bilgiler göz önünde bulundurularak sağ ve sol şeritler simetriğe yakın varsayılarak küçükten büyüğe dizilmiş histogram dizisi üzerinde arama yapılır ve şeritlerin başlangıç koordinatları tahmin edilmiş olur.

Şeritlerin başlangıç koordinatları Şekil 2.25'deki gibi belirlendikten sonra yolun genişliği hesaplanır. Şekil 2.25'deki örnek resimde yolun genişliği $189-137 = 52$ piksel olarak belirlenmiştir. Daha sonra bu bilgi özellik noktalarının tespiti aşamasında kullanılacaktır.

Şekil 2.24'de bu yöntemin keskin virajlarda başarısız olacağı görülmektedir. Çünkü yapılan tahmin ancak şeridin çok küçük bir bölümü için geçerli olacaktır. Şekil 2.2'deki blok diyagramda görüldüğü gibi Düşey Histogram yöntemi yalnızca videonun ilk penceresi için yapılacak bir işlemdir. Daha sonraki pencereler için şerit takibi yöntemi kullanılacağından yeniden histogram hesaplanmasına gerek kalmamaktadır. Bu sayede aşırı virajlı yollardaki başarısızlıklar engellenmiş olmaktadır.

2.1.5 Özellik Noktalarının Tespit Edilmesi

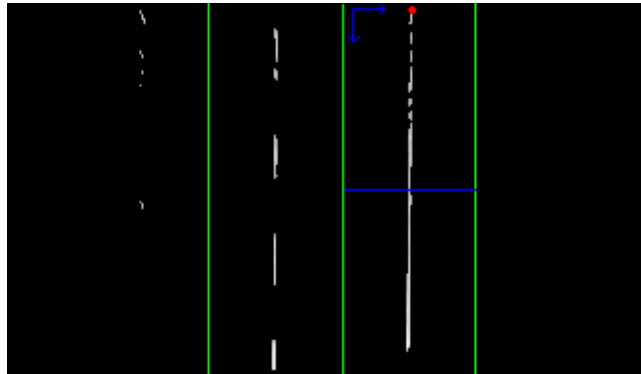
Düşey Piksel Yoğunluk Metoduna göre şeritlerin başlangıç koordinatları ve yolun genişliği piksel cinsinden belirlendikten sonra bu noktaların içinde yer alacağı bir pencere içerisinde şerit modelinin karakteristiğini belirlemede baskın rol oynayacak özellik noktaları aranır. Pencerenin yeri belirlenirken başlangıçta hesaplanan yol genişliği bilgisinden faydalanılır. Şeritlerin başlangıç koordinatları etrafında y koordinatında sıfırdan resmin boyuna kadar, x koordinatında ise yol genişliği kadar bir pencere içerisinde özellik noktaları aranır.



Şekil 2.26 (a) Şeritlerin başlangıç koordinatları (b) Düşey piksel yoğunluk histogramı

Şekil 2.26'daki kırmızı çizgiler, histogram yardımıyla bulunan şeritlerin başlangıç adreslerini, yeşil çizgiler ise şeritlerin dışına çizilen hayali pencerelerin sınırını göstermektedir. Olası şeritlere ait olan özellik noktaların bulunması işlemi, belirlenen yeşil pencereler içerisinde yapılacaktır. Her bir şerit için üst, alt ve orta olmak üzere üçer nokta tespit edilecektir. Bir sonraki adımda anlatılan bileşik Bezier eğrisi uydurma yönteminde her bir şerit iki Bezier eğrisi ile temsil edildiğinden üç nokta seçilmektedir. Orta nokta, bir Bezier eğrisinin bitiş noktası olurken diğerinin başlangıç noktası olmaktadır. Orta noktanın alt ve üst noktalara olan uzaklığı birbirine ne kadar yakın olursa çizilen eğri de o kadar yumuşak olmakta ve bu yumuşak eğri modeli de yollardaki trafik şeritlerine en iyi şekilde uyum sağlamaktadır.

Üst noktanın bulunması için soldan-sağa ve yukarıdan-aşağı öncelikle parlak piksel aranır. Arama işlemi düşey ekseninde pencerenin ortasına gelene kadar devam edilir ve ilk parlak piksel bulunduğunda koordinatları belirlenerek işlem tamamlanır. Şekil 2.27'de bir şerit için yapılan arama işleminden sonra bulunan üst nokta kırmızı nokta ile gösterilmektedir. Mavi yatay çizgi, üst nokta için aramanın sonlandırılacağı yerdir.



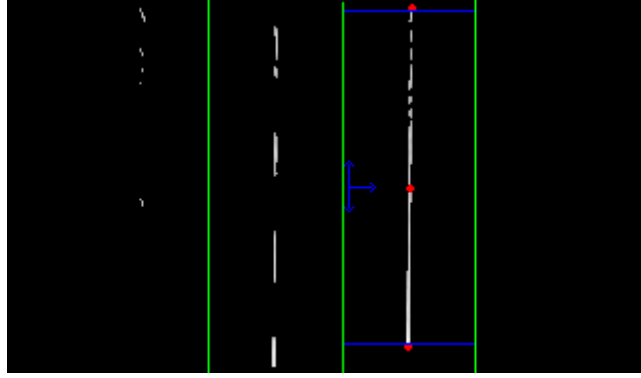
Şekil 2.27 Üst noktanın bulunması

Üst nokta bulunduktan sonra, alt noktanın bulunması için arama işlemi başlatılır. Bu sefer arama yönü soldan-sağa ve aşağıdan yukarı doğru olarak belirlenir ve arama işleminden sonra bulunan alt nokta örneği Şekil 2.28'de gösterilmektedir.



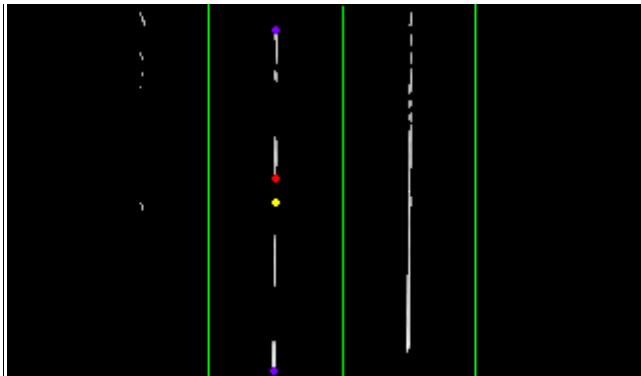
Şekil 2.28 Alt noktanın bulunması

Orta noktanın bulunması sırasında daha önceden tespit edilen üst ve alt noktaların y koordinatındaki değerleri göz önüne alınır. Üst ve alt noktaların koordinat değerlerinin ortalaması alınır ve arama işlemi bu noktadan başlanarak öncelikli olarak soldan-sağa olmak üzere yukarı ve aşağı yönde eş zamanlı olarak yapılır. Aramanın yapıldığı alan üst ve alt noktalar ile kısıtlanmıştır. Bu işlem sonucunda Şekil 2.29’de gösterilen orta nokta bulunur.



Şekil 2.29 Orta noktanın bulunması

Sağ şerit sürekli bir çizgi şeklinde olduğundan orta nokta doğrudan bulunmuştur. Sol şerit için arama işlemi 4-5 adım kadar devam etmekte ve sonuç olarak Şekil 2.30’daki kırmızı nokta bulunmaktadır.



Şekil 2.30 Orta noktanın bulunması

Şekil 2.30’daki sarı nokta, sol şeridin alt ve üst noktalarına ait y-koordinatı değerlerinin

ortalamasını göstermektedir. Görüldüğü gibi bu nokta üzerinde parlak bir piksel yoktur. Soldan-sağa öncelikli olmak üzere yukarı ve aşağı doğrultuda eş zamanlı olarak başlatılan arama işleminden sonra sarı noktaya en yakın parlak piksel kırmızı nokta ile işaretlenen bölgede bulunmuştur. Orta nokta bulunduğundan arama işlemi devam ettirilmaz.

2.2 Şerit Eşleme Modülü

Bu modülde bileşik Bezier eğri eşleştirme ve skor fonksiyonu hesaplamaları yapılmaktadır. Şeritlerin eğri modellerinin çıkarılması ve başarılarının ölçülmesi sağlanmaktadır.

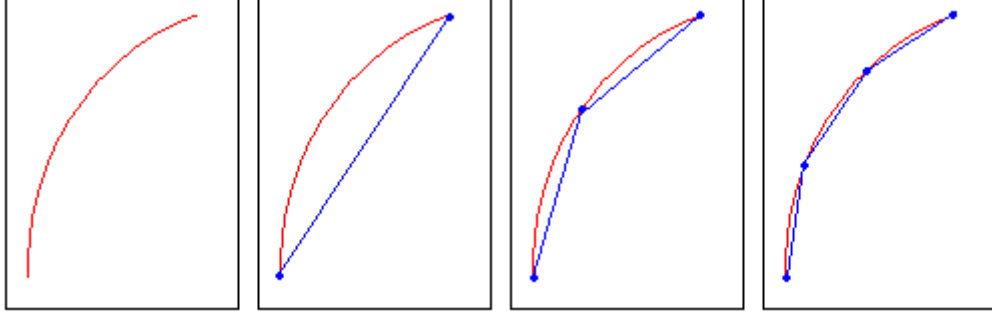
2.2.1 Bileşik Bezier Eğrisi Uydurma

Özellik noktaları tespit edildikten sonra bu noktalardan geçecek olan şerit modelinin tespit edilmesi gerekmektedir. Literatürdeki bazı çalışmalarda (Macek vd.,2004)' de olduğu gibi şeritler geometrik olarak düz çizgi yapısında düşünülmüştür. Ancak bu çalışmada virajlı yollar net bir şekilde tespit edilememektedir. Şekil 2.31'de (Macek vd.,2004) çalışmasındaki bazı sonuç resimleri görülmektedir.



Şekil 2.31 (Macek vd.,2004)' deki virajlı yolda düz şerit tespit sonucu

Virajlı bir yolu tespit edebilmek için düz çizgi geometrisini de içinde barındıran eğri modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. İki noktayı düz bir çizgi oluşturacak şekilde birleştirmek mümkündür. Bir eğri üzerindeki noktalar bu şekilde düz çizgiler oluşturacak şekilde birleştirilebilir. Çizginin kırılma noktaları ne kadar artarsa eğri de o kadar yumuşak hatlara sahip olacak şekilde elde edilir. Eğri modelini daha iyi açıklayabilmek için düz çizgiden eğriye geçiş Şekil 2.32'da gösterilmektedir.



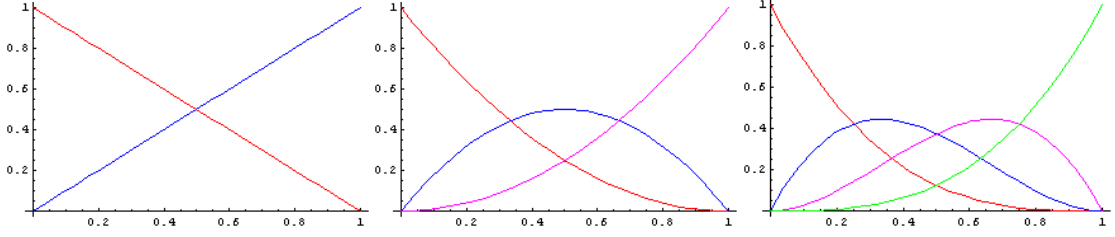
Şekil 2.32 (a) Eğri örneği. (b) İki noktalı çizgi (c) Üç noktalı çizgi (d) Dört noktalı çizgi

Şekil 2.32’de görüldüğü gibi kırılma noktalarının sayısı arttıkça elde edilen şekil eğriye daha yakın hale gelmektedir. Virajlı yollardaki şeritleri tespit etmede kullanılacak olan eğri modellerinin temel mantığı da bu noktaların sayısını maksimuma çıkararak yumuşak bir eğri elde etmektir. Kırılma noktalarının tek tek tespit edilmesi çok kolay olmadığından yüksek dereceli polinom fonksiyonlar yardımıyla başlangıç ve bitiş noktaları ile birkaç kontrol noktası belirlendiğinde eğri üzerinden geçebilecek bütün noktalar tespit edilmektedir. (Kim, 2008), (Wang vd., 2004) ve (Aly, 2008)’deki çalışmalarda olduğu gibi literatürdeki birçok çalışmada Bezier eğri modeli kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntem temel olarak Bernstein polinomlarına dayanmaktadır (Lorentz, 1953; Farin, 1993). Bernstein polinomları, binom açılımını kullanarak aldığı dereceye bağlı olarak paraboller üretmektedir. Matematiksel olarak (2.20) deki gibi tanımlanmaktadırlar.

$$B_{i,n}(t) = \binom{n}{i} t^i (1 - t)^{n-i}, i = 0, 1, 2, \dots, n \text{ ve } t \in [0,1] \quad (2.20)$$

$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!}$$

Bu denklemdeki “n” parametresi polinomun derecesini belirtmektedir. $\binom{n}{i}$ ise binom katsayısıdır. t parametresi de sıfır ile bir arasında aldığı değerlere göre eğri üzerindeki noktaların belirlenmesini sağlamaktadır. (2.20)’ye göre 1., 2. ve 3. dereceden bernstein polinomlarının grafiksel gösterimi Şekil 2.33’de görülmektedir.



Şekil 2.33 (a) 1. dereceden bernstein polinomu $B_{0,1}(t) = 1 - t$ ve $B_{1,1}(t) = t$ eğrileri

(b) 2. dereceden bernstein polinomu $B_{0,2}(t) = (1 - t)^2$, $B_{1,2}(t) = 2(1 - t)t$ ve $B_{2,2}(t) = t^2$ eğrileri

(c) 3. dereceden bernstein polinomu $B_{0,3}(t) = (1 - t)^3$, $B_{1,3}(t) = 3(1 - t)^2t$, $B_{2,3}(t) = 3(1 - t)t^2$ ve $B_{3,3}(t) = t^3$ eğrileri

Şekil 2.33’de görüldüğü gibi polinomun derecesi büyüdükçe daha karmaşık eğriler elde edilmektedir. Bezier eğrileri, matematiksel olarak belirlenen dereceye kadar Bernstein polinomlarının toplamı olarak ifade edilmektedir.(2.21)

$$B(t) = \sum_{i=0}^n b_{i,n}(t) P_i, \quad t \in [0,1] \quad (2.21)$$

Bu denklemdeki $b_{i,n}(t)$ parametresi (2.20) de ifade edilen Bernstein polinomudur. P parametresi ise eğrinin iskeletini oluşturacak olan noktaları ifade etmektedir. (2.20) deki ifadeyi 3. dereceden olan ve “kübik” polinom fonksiyon üzerinde açacak olursak (2.22), (2.23), (2.24) ve (2.25) deki eşitlikler elde edilir.

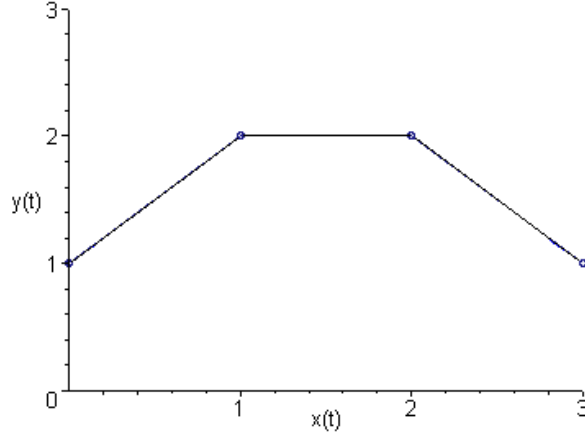
$$B_{0,3}(t) = (1 - t)^3 \quad (2.22)$$

$$B_{1,3}(t) = 3(1 - t)^2t \quad (2.23)$$

$$B_{2,3}(t) = 3(1 - t)t^2 \quad (2.24)$$

$$B_{3,3}(t) = t^3 \quad (2.25)$$

Bu eşitliklerin herbiri 3. dereceden Bezier eğrisinde kullanılacak olan Bernstein polinom fonksiyonlardır. Bu denklemleri Şekil 2.34’deki örnek üzerinden inceleyerek somutlaştırmak mümkündür.



Şekil 2.34 (2.21)'deki P noktasına 4 tane örnek.

Kartezyen koordinat düzleminde bulunan bu noktalar, (2.22) - (2.25) arasındaki Bernstein polinomları ile çarpılarak Bezier eğrisi modeli elde edilmiş olur. Bu örnekteki P kontrol noktaları $P1 = [0,1]$, $P2 = [1,2]$, $P3=[2,2]$, $P4=[3,1]$ olarak belirlenmiştir. (2.21)'deki Bezier denklemi, bu örnek için (2.26)'daki gibi genişletilebilir.

$$\text{Bezier}(t) = B_{0,3}(t) P1 + B_{1,3}(t) P2 + B_{2,3}(t) P3 + B_{3,3}(t) P4 \quad (2.26)$$

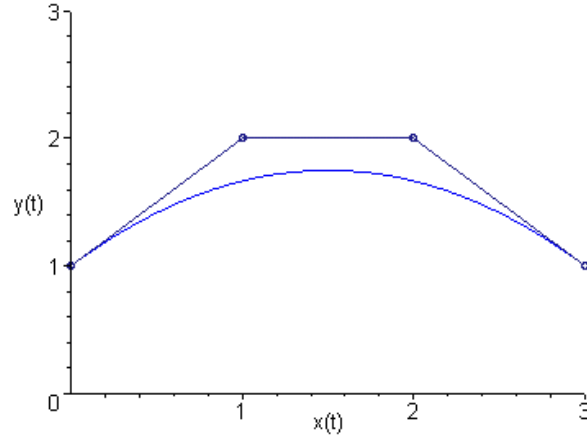
Bu ifadedeki değişkenlerin yerine değerlerini yazarak (2.27) deki ifade elde edilir.

$$\text{Bezier}(t) = (1 - t)^3 [0,1] + 3(1 - t)^2 t [1,2] + 3(1 - t) t^2 [2,2] + t^3 [3,1] \quad (2.27)$$

Bu ifadeyi de X ve Y koordinatlarına göre ayrı ayrı çarparak (2.28) deki ifadeyi elde ederiz.

$$\text{Bezier}(t) = [3t, -3t^2 + 3t + 1] \quad (2.28)$$

Son olarak (2.28) deki ifade elde edildikten sonra “t” için sıfır ile bir arasında değerleri seçilerek eğriyi oluşturan noktalar belirlenmiş olur. Sıfır ile bir arasında ne kadar çok sayı seçilirse eğrinin devamlılığı o kadar artmış olur. Şekil 2.34 deki noktalardan geçen Bezier eğrisi Şekil 2.35’de gösterilmektedir.



Şekil 2.35 Üçüncü dereceden Bezier eğrisi örneği

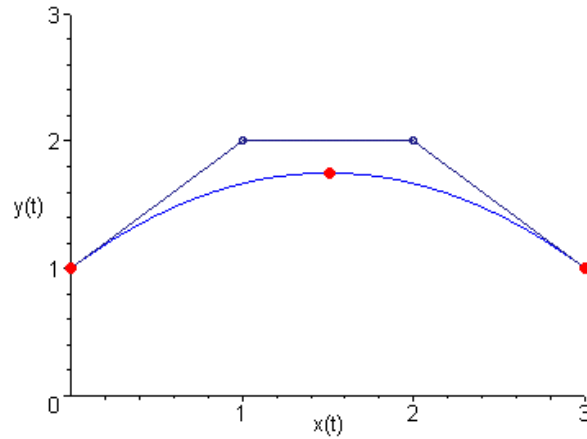
Örneğin sağlamasını yapmak için (2.28)'deki t parametresi 0,0.5 ve 1 değerleri için test edildiğinde aşağıdaki noktalar elde edilmektedir.

$$t = 0 \quad \Rightarrow \quad [3t, -3t^2 + 3t + 1] = [0, 1]$$

$$t = 0.5 \quad \Rightarrow \quad [3t, -3t^2 + 3t + 1] = [1.5, 1.75]$$

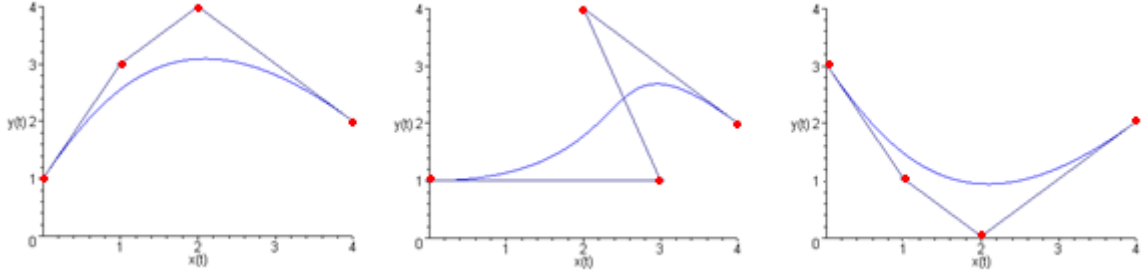
$$t = 1 \quad \Rightarrow \quad [3t, -3t^2 + 3t + 1] = [3, 1]$$

Bu noktaların eğri üzerindeki yerleri Şekil 2.36'de kırmızı noktalar ile gösterilmektedir.



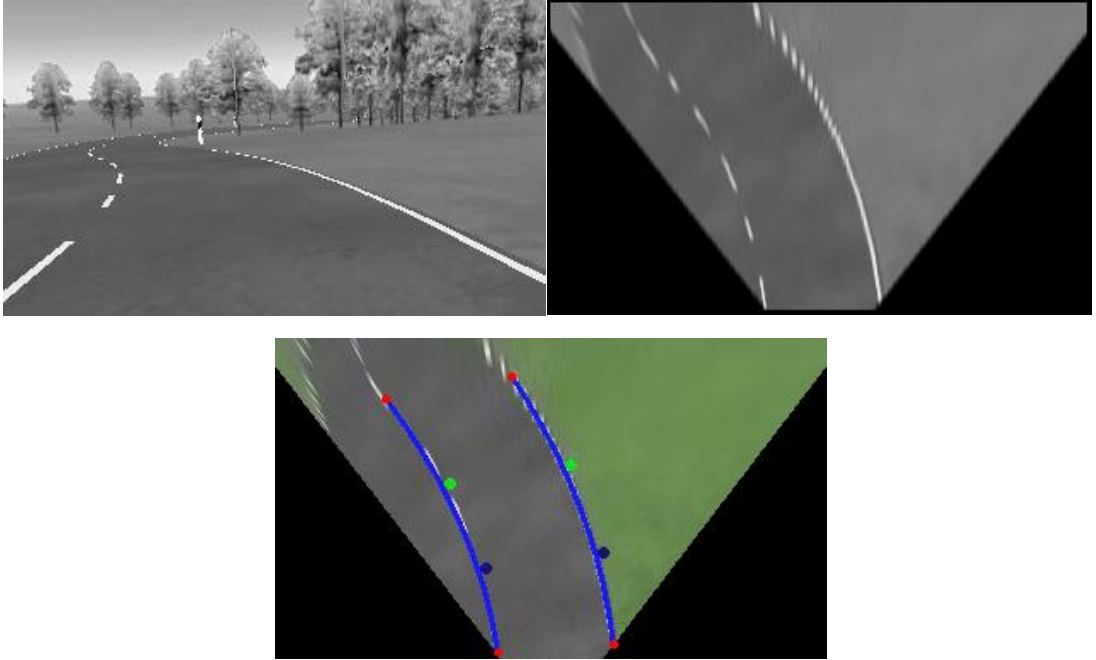
Şekil 2.36 3. dereceden Bezier eğrisi örneği

Çeşitli kontrol noktalarına göre oluşturulan 3. dereceden Bezier eğrisi örnekleri Şekil 2.37'de gösterilmektedir.



Şekil 2.37 3. dereceden Bezier eğrisi örnekleri

Şekildeki kırmızı noktalar, eğrinin şeklini belirleyen noktalardır. Bu noktalardan iki tanesi başlangıç ve bitiş noktalarını temsil etmekte olup eğrinin üzerinde yer almaktadır. Diğer iki nokta ise kontrol noktaları olarak adlandırılıp eğrinin şeklinin kontrolünü sağlamaktadır. Kontrol noktalarının sayısı arttıkça daha kompleks eğri modelleri elde etmek mümkündür. Uygulamaya bağlı olarak bu parametre değiştirilebilir. Bu çalışmada kuş bakışı görüntü ile çalışıldığından dolayı yolun belirli bir bölümü hesaba katılmaktadır. Bu sayede “S” şekli gibi kompleks eğri modelleri ile tespit edilebilecek olan virajlar parçalı olarak işlenmektedir. Bu yüzden çalışmada kullanılan eğri modelinde kübik Bezier eğrisi kullanılmıştır. Şekil 2.38’de görüldüğü gibi “S” şeklindeki virajın öncelikle ilk bölümü işlendiğinden 2 kontrol noktası ile işlem tamamlanabilmektedir.



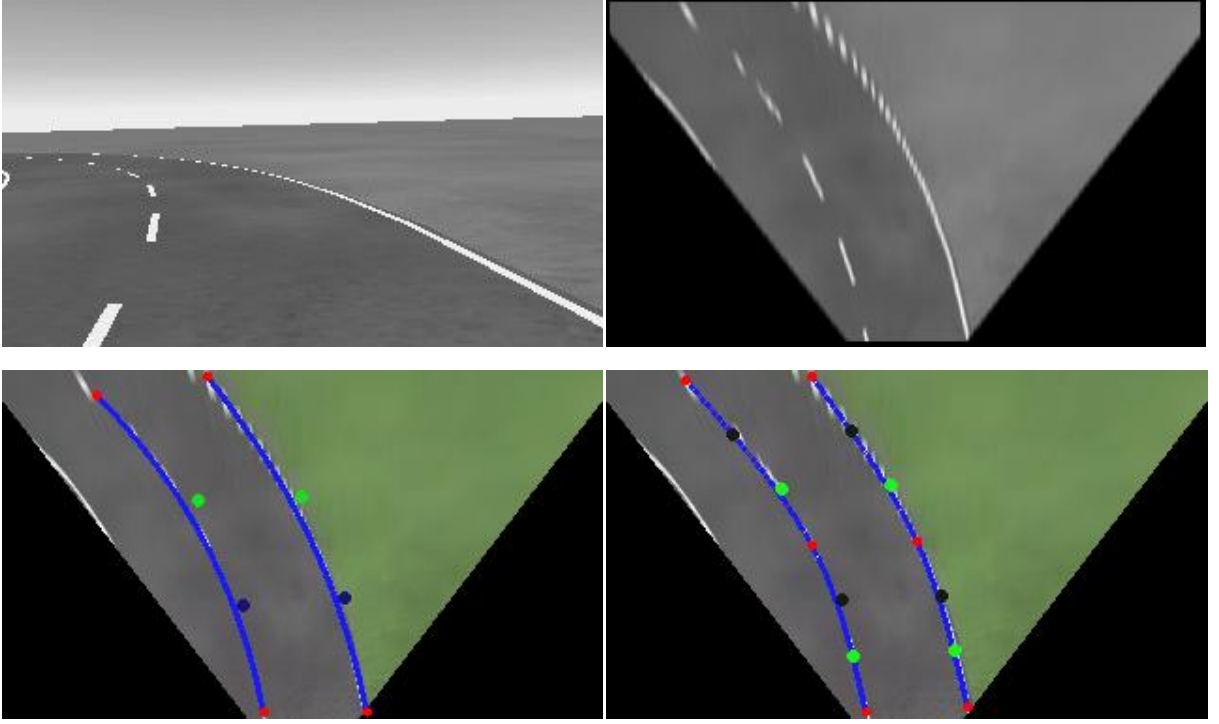
Şekil 2.38 (a) S virajlı giriş resmi (b) Kuş bakışı görüntü (c) Çizilen eğriler, kontrol noktaları

Sistem, kuş bakışı görüntü yerine perspektif görüntü ile çalışıyor olsaydı Şekil 2.38 (a)

resmindeki virajı yakalayabilmek için daha fazla kontrol noktasına ihtiyaç duyulacaktı. Bezier eğri modelindeki polinom fonksiyonun derecesi, kullanılan nokta sayısının bir eksiği olduğundan kontrol noktalarının sayısı arttığında daha yüksek dereceden bir polinom fonksiyonu çözmek gerekir ki bu da işlem yükünü arttırmaktadır.

Sistemde kübik (3. dereceden) Bezier fonksiyonunun kullanılması uygundur. Şekil 2.38 (c)'de gösterilen kırmızı noktalardan oluşan başlangıç ve bitiş noktaları eğrinin üzerinde yer aldığından 2.1.5 bölümünde anlatıldığı gibi tespit edilebilmektedir. Lacivert ve yeşil renkteki kontrol noktaları, eğrinin dışında kalmaktadır. Bu noktaların eğri için en uygun olduğu yerin belirlenmesinde RANSAC fitting gibi yöntemler kullanılmıştır (Aly, 2008). Ancak virajlar keskinleştikçe Şekil 2.37'de görüldüğü gibi kontrol noktaları eğriden daha fazla uzaklaşacaktır ve en uygun noktaları bulmak için daha fazla iterasyona ihtiyaç duyulacaktır. Bu iterasyonlar sonucunda en uygun eğrinin bulunacağı da garanti edilememektedir.

Bu sorunu çözmek için bu çalışmada bileşik Bezier eğrisi yaklaşımı uygulanmıştır. Bölüm 2.1.5'de anlatıldığı gibi başlangıç ve bitiş noktalarına ek olarak bir de orta nokta seçilmiştir. Bu noktalar kullanılarak her bir şerit için uç uca birleştirilmiş iki tane Bezier eğrisi çizilmektedir. Kontrol noktalarının tahmin edilmesi yerine de Bezier polinom fonksiyonunun ikinci türevi kullanılarak kontrol noktaları eğriye yaklaştırılmış ve koordinatları doğrudan hesaplanarak trafik şeritleriyle birebir örtüşen yumuşak eğri modeli oluşturulmuştur. Bileşik Bezier eğrisi ve tekil Bezier eğrisi arasındaki fark Şekil 2.39'da görülmektedir.



Şekil 2.39 (a) Giriş resmi (b) Kuş bakışı görüntü (c) Tekil Bezier Eğrisi (d) Bileşik Bezier Eğrisi

(2.26)'daki eşitliği (2.29)'daki şekilde yazarak kübik Bezier eğri denklemi olarak ifade ederiz.

$$\text{Bezier}(t) = (1-t)^3 P_1 + 3(1-t)^2 t P_2 + 3(1-t)t^2 P_3 + t^3 P_4 \quad (2.29)$$

Bu denklemdeki P_1 ve P_4 noktaları, Şekil 2.39(d)'deki eğri üzerindeki kırmızı noktalardır. Bileşik Bezier eğrisi kullanıldığından ortadaki kırmızı nokta bir eğrinin bitiş noktasıyken, diğer eğrinin başlangıç noktasıdır. P_2 ve P_3 noktaları da şekildeki lacivert ve yeşil noktalardır. (Piegl ve Tiller, 2000)'de anlatıldığı gibi bir eğrinin yumuşaklığı, o eğri için hesaplanabilecek türev sayısı ile doğru orantılıdır. Hesaplanabilecek türev sayısı da fonksiyonun derecesi ile doğru orantılıdır. Daha önce de anlatıldığı gibi çalışmada kuş bakışı görüntü ile çalışıldığından 3. dereceden bir Bezier fonksiyonu yeterli olmaktadır. (2.29)'daki ifadenin türevi (2.30)'daki gibi gösterilir.

$$\text{Bezier}'(t) = -3(1-t)^2 P_1 + 3(3t^2 - 4t + 1)P_2 + 3(2t - 3t^2) P_3 + 3t^2 P_4 \quad (2.30)$$

Bu ifadenin ikinci türevi alınarak (2.31) elde edilir.

$$\text{Bezier}''(t) = 6(1-t) P_1 + 3(6t - 4)P_2 + 3(2 - 6t) P_3 + 6t P_4 \quad (2.31)$$

Bu ifadeler yalnızca bir Bezier eğrisini temsil etmektedir. Bu fonksiyonları bileşik Bezier eğri modeline uyarladığımızda (2.32) ve (2.33) eşitlikleri elde edilir.

$$\text{Bezier}_i'(t) = -3(1-t)^2 P_{i-1} + 3(3t^2 - 4t + 1)P_{1_i} + 3(2t - 3t^2) P_{2_i} + 3t^2 P_{3_i} \quad (2.32)$$

$$\text{Bezier}_i''(t) = 6(1-t) P_{i-1} + 3(6t - 4)P_{1_i} + 3(2 - 6t) P_{2_i} + 6t P_{3_i} \quad (2.33)$$

Bu denklemdeki P_{i-1} ve P_i eğrilerin başlangıç ve bitiş noktalarını, $P1_i$ ve $P2_i$ de kontrol noktalarını temsil etmektedir. Birinci ve ikinci türevin süreklilik durumundan ötürü (2.34) ve (2.35) eşitlikleri ortaya çıkmaktadır.

$$\text{Bezier}_{i-1}'(1) = \text{Bezier}_i'(0) \quad (2.34)$$

$$\text{Bezier}_{i-1}''(1) = \text{Bezier}_i''(0) \quad (2.35)$$

(2.34) ve (2.35) eşitlikleri teorik olarak bir eğrinin bitiş noktasının diğer eğrinin başlangıç noktasına eşit olduğu anlamına gelmektedir. (2.34) eşitliğindeki değerleri (2.32)'de yerine yazarak (2.36) eşitliği elde edilmiştir.

$$P1_i + 2P2_{i-1} = 2P_{i-1} \quad ; (i=2,...,n) \quad (2.36)$$

(2.35) deki değerleri (2.33)'de yerine yazdığımızda (2.37) eşitliği elde edilmiştir.

$$P1_{i-1} + 2P1_i = P2_i + 2P2_{i-1} \quad ; (i=2,...,n) \quad (2.37)$$

Bu denklemler sayesinde iki eğrinin kontrol noktaları arasında ilişki kurulmaktadır. (2.37) eşitliğinin sol tarafındaki noktalar bir şeridi oluşturan iki eğrinin de 1. kontrol noktalarıdır. Eşitliğin sağında ise iki eğrinin de 2. kontrol noktaları yer almaktadır. Böylece bileşik eğri şeklinin, onu oluşturan 2 eğri parçasının kontrol noktalarına göre biçimlendiği görülmektedir. Bu denkleme ek olarak bileşik eğrinin başlangıç ve bitiş noktalarındaki türevler de sıfıra eşitlenerek bu noktalarda bir süreklilik durumunun olmayacağı belirtilir. (2.38)

$$\text{Bezier}_1''(0) = 0 \text{ (Eğrinin başlangıcı)} \quad (2.38)$$

$$\text{Bezier}_n''(1) = 0 \text{ (Eğrinin bitişi)}$$

Denklemdaki n parametresi eğri noktalarının sayısıdır. Şekil 2.39(d) resmindeki her şerit için toplam kırmızı nokta sayısıdır. Bu çalışmadaki değeri 3'tür.

(2.38)'deki değerleri de (2.35) eşitliğinde yerine koyarak (2.39) ve (2.40) eşitlikleri elde edilir.

$$2P1_1 - P2_1 = P_0 \quad (2.39)$$

$$2P2_n - P1_n = P_n \quad (2.40)$$

(2.36), (2.37), (2.39) ve (2.40) eşitliklerinde P2 değişkenleri yalnız bırakılarak eşitlik 2.41-2.45 elde edilir.

$$2P_1 + P_2 = P_0 + 2P_1 \quad (2.41)$$

$$P_1 + 4P_2 + P_3 = 4P_1 + 2P_2 \quad (2.42)$$

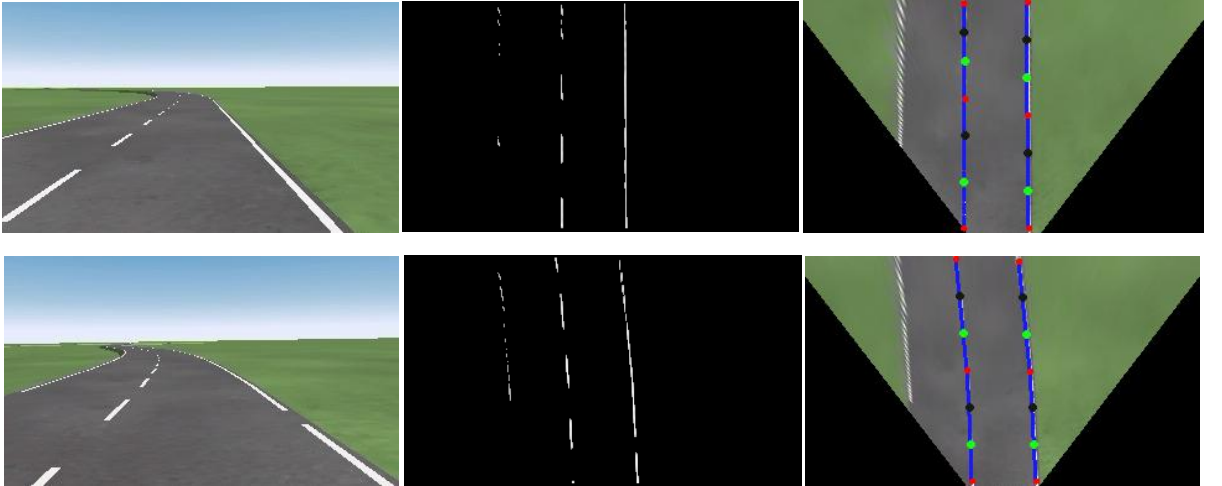
$$P_{i-1} + 4P_i + P_{i+1} = 4P_{i-1} + 2P_i \quad (2.43)$$

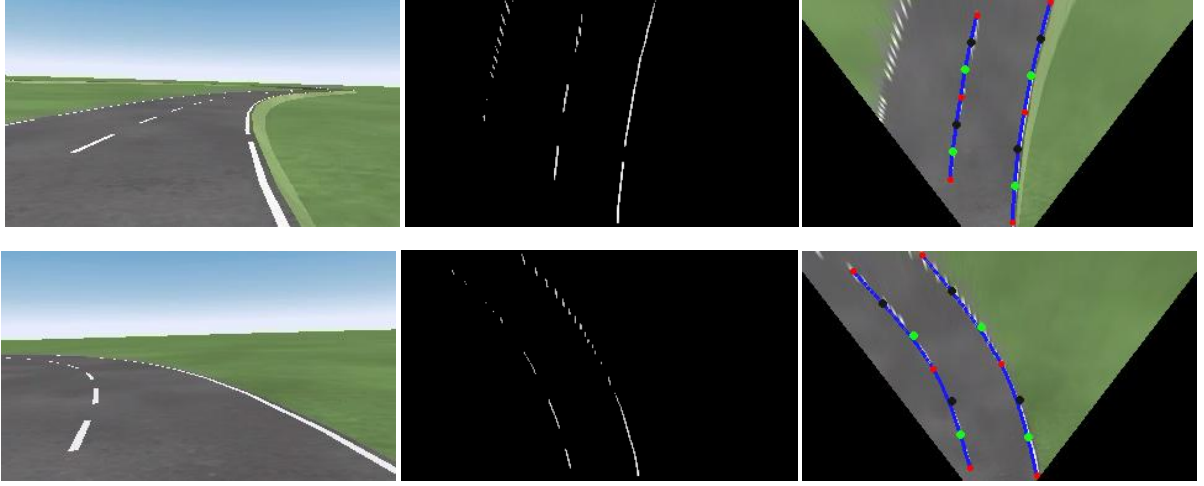
$$P_{n-2} + 4P_{n-1} + P_n = 4P_{n-2} + 2P_{n-1} \quad (2.44)$$

$$2P_{n-1} + 7P_n = 8P_{n-1} + P_n \quad (2.45)$$

Son olarak bu eşitlikler normal değişken eleme yöntemiyle çözülerek eğrilerin ilk kontrol noktaları olan P_1 değerleri hesaplanır. Daha sonra P_1 (2.36), (2.37), (2.39) ve (2.40) eşitliklerinde yerine yazılarak eğrilerin ikinci kontrol noktaları olan P_2 değerleri hesaplanır.

Bütün kontrol noktaları hesaplandıktan sonra belirlenen t parametresi aralığına göre eğrinin üzerindeki noktalar çizilebilmektedir. Çizim işlemi için (2.26) eşitliğindeki P noktaları yerine yazılır ve t parametresi sıfırdan başlayıp bire ulaşana kadar, önceden belirlenen bir hassasiyet parametresi kadar artırılır ve eğri çizilmiş olur. Bu hassasiyet parametresi belirlenirken çalışılan pencerelerin boyutları göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada şeritler düşey doğrultudadır ve çalışılan pencerelerin boyu n piksel olduğunda t parametresi en az “ $1 / n$ ” olmalıdır. Ancak kesikli şeritler için eğrilerin boyu değişkenlik göstereceği için t parametresini dinamik olarak her görüntü penceresi için hesaplamak daha uygun olacaktır. Şeritlerin boyu kısaltıkça t parametresinin değeri büyürken aksi durumda küçülmektedir. Bileşik Bezier eğrisi uydurma yönteminin örnek sonuç resimleri Şekil 2.40’da görülmektedir.



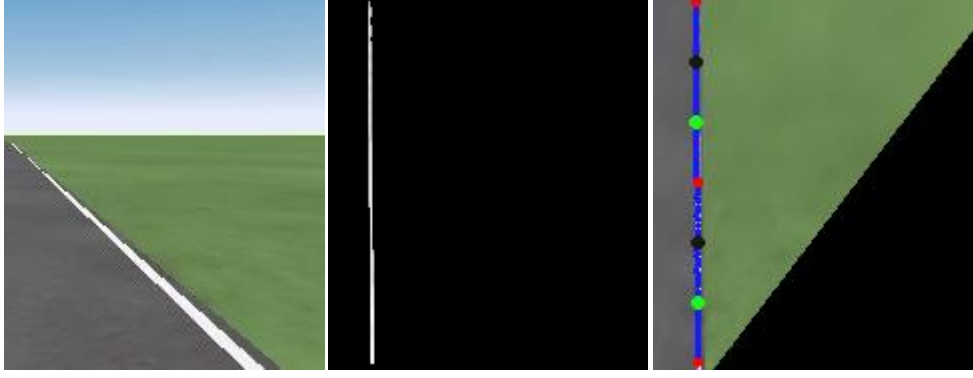


Şekil 2.40 Bileşik Bezier eğrisi uydurma yöntemi için örnek sonuçlar.

2.2.2 Skor Fonksiyonu ile Şerit Eşleştirme

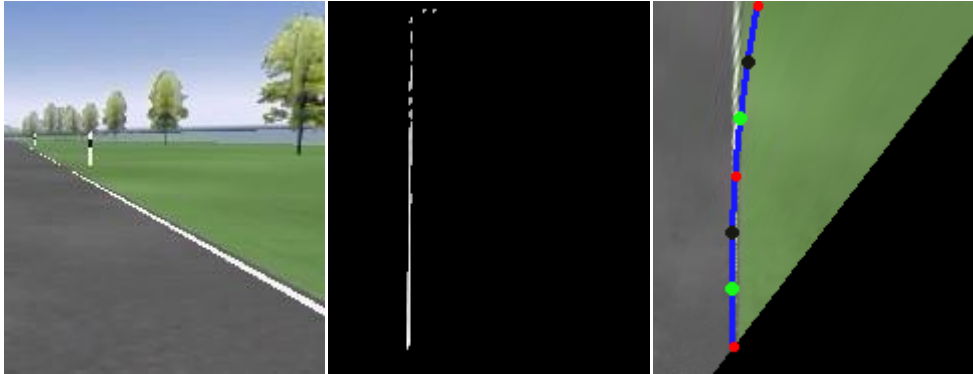
Trafik şeritleri için çizilen eğrilerin başarısının ölçülmesi, başarısız durumlarda şeritlerin yeniden çizilerek düzeltilmesine imkan verirken sistemin başarısının ölçülmesini de sağlamaktadır. Bölüm 1.1’de Mevcut Yöntemler başlığı altında da bahsedildiği gibi trafik şeridi tespit ve takip sistemlerinin kullandığı ortak bir veritabanı ve başarı ölçüm metodu olmadığından başarı ölçümü yapılırken tahminlere ve deneysel sonuçlara göre üretilmiş eşik değerleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada şeritler bileşik Bezier eğri modeli ile temsil edildiğinden her şerit için ikişer tane Bezier eğrisi bulunmaktadır. Bu eğrilerin başarısı ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Böylelikle skoru düşük olan bölgeye müdahale edilip daha hızlı düzeltme işlemi yapılabilir.

Skor fonksiyonu olarak iki ayrı metodun ortalaması alınıp başarı ölçümü yapılmaktadır. Bunlardan ilki, Bezier eğri modeli ile tespit edilen şeridin, yola ne kadar uyum sağladığını ölçmektedir. Bezier eğri fonksiyonunda değişen t değerlerine göre eğri üzerindeki pikseller çizilirken, bu piksellerin parlak beyaz piksellere tekabül edip etmediği kontrol edilir. Bir piksellik sapma gözardı edilmektedir, çünkü şeritler her zaman 1 piksel genişliğinde olmadığından çizilen pikselin x -eksenindeki komşuluklarında beyaz piksel olduğunda da o pikselin şeride uyum sağladığı varsayılmaktadır. Şekil 2.41’de sürekli ve düz bir trafik şeridinin şerit modeli gösterilmektedir.



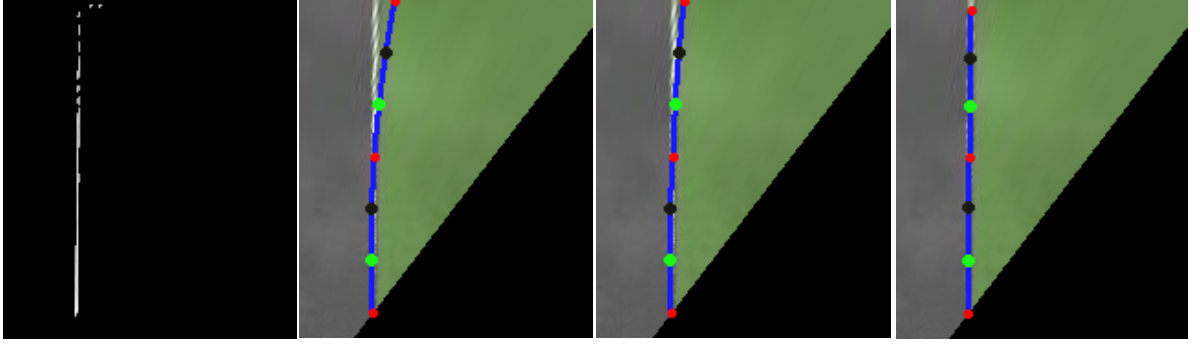
Şekil 2.41 (a) Giriş resmi (b) Kuş bakışı ve özellik çıkarımı cevabı (c) Şerit uydurma cevabı

Şekildeki örnekte başarı %100 olarak ölçülecektir. Mavi pikseller Bezier eğri modelinden hesaplanan piksellerdir ve her birinin üzerinde veya birer komşuluğunda parlak beyaz piksel bulunmaktadır. Şekil 2.42'deki örnekte ise düz şeridin üst bölümü şerit dışındaki noktalara kaymıştır. Bu durumda şeridin üst bölümünün başarıları düşük olacaktır. Çünkü mavi piksellerin 1'er komşuluğunda beyaz piksel bulunmamaktadır.



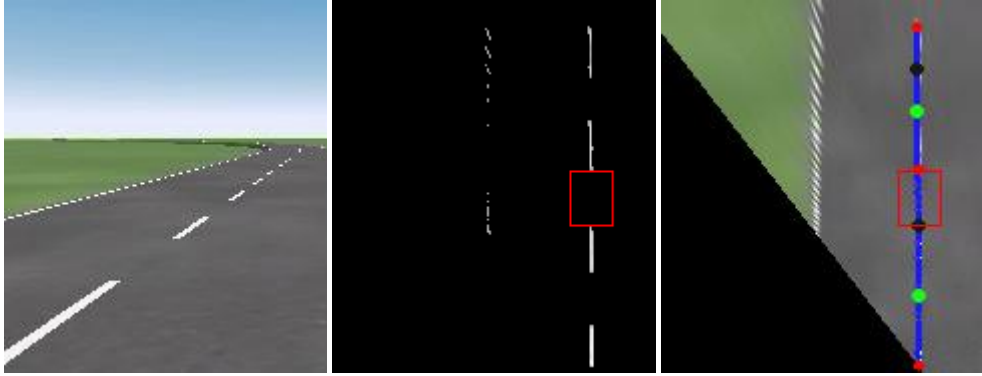
Şekil 2.42 (a) Giriş resmi (b) Kuş bakışı ve özellik çıkarımı cevabı (c) Şerit uydurma cevabı

Bu durumda üst şerit bölümünün başarıları düşük olduğundan yalnızca üst kırmızı piksel olan özellik noktası için aramaya devam edilir ve Şekil 2.43' deki düzeltme işlemi yapılmış olur.



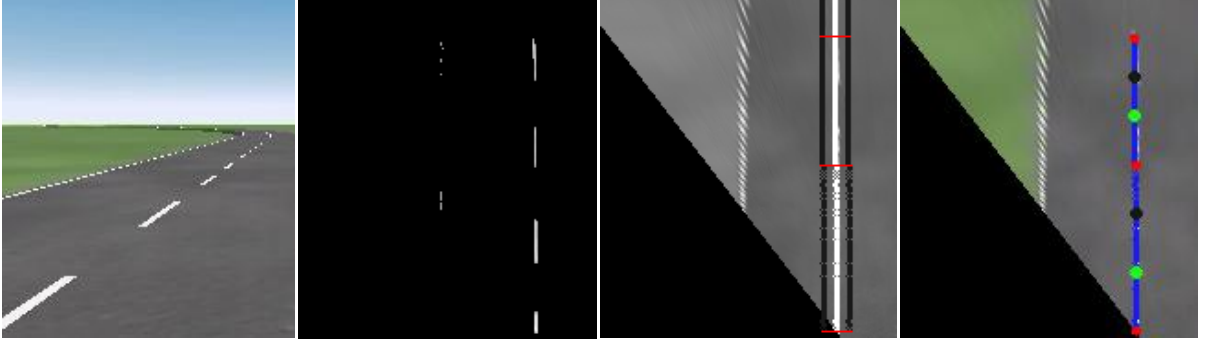
Şekil 2.43 Yanlış bulunan şeridin düzeltilmesi süreci

Bu başarı ölçüm yöntemi sürekli şeritler için başarılı olmaktadır. Ancak kesikli şeritlerin başarısı yalnızca bu yöntem ile ölçüldüğünde düşük çıkmaktadır. Çünkü kesikli şeritte beyaz piksellerin olmadığı bölgelere eğri modelinden hesaplanan mavi pikseller denk geldiğinde 1'er komşuluğa bakılarak başarısız gibi sayılmaktadır(Şekil 2.44).



Şekil 2.44 Kesikli şeritler için uyuşmayan piksel durumu

Bunu engellemek için, şablon şerit yönteminde kullanılan arama penceresi içindeki toplam piksel sayısı belirlenerek pencere içindeki piksel yoğunluğuna göre davranılmış olunur. Bu yöntem de yine şeridi oluşturan her iki eğri için de ayrı uygulanmaktadır. Şekil 2.44'deki şeridin alt bölümünde beyaz piksellerele birebir uyuşan mavi pikselleri saydığımızda başarı hemen hemen %50 olarak hesaplanacaktır. Ancak bu şeridin alt bölümü için bulunması gereken bütün pikseller bulunmuştur. Şekil 2.45'de görüldüğü gibi 2.3 bölümünde anlatılan şablon şerit içindeki piksel sayısı hesaba katılarak kesikli şeritlerin başarısı daha doğru bir şekilde ölçülmüş olur.



Şekil 2.45 Kesikli şeritler için skor hesaplama

Şekilde görülen şablon şerit resmindeki kırmızı çizgiler, özellik noktalarının koordinatlarında bulunmakta ve piksel yoğunluğunun hesaplanacağı alanın sınırlarını belirlemektedir. Yatay eksenindeki sınırlar ise, şablon şeridin siyah çizgilerle belirlenen sınırlarıdır. İlgili arama alanları içinde beyaz piksellere denk gelen mavi piksellerin toplam sayısı, bu alandaki toplam piksel sayısına oranlanarak başarı ölçülmektedir. Böylece kesikli şeritler için daha mantıklı bir başarı ölçümü yapılmıştır.

Şerit bölümlerinin başarısını ölçmek için bu iki ölçüm yönteminin ortalaması alınır.(2.46)

$$\text{Başarı}(\text{şp}) = \frac{\text{Başarı}_{\text{uyuşma}}(\text{şp}) + \text{Başarı}_{\text{yoğunluk}}(\text{şp})}{2} \quad (2.46)$$

“şp” parametresi, bir şeridi oluşturan şerit parçalarını göstermektedir. $\text{Başarı}_{\text{uyuşma}}$ fonksiyonu, ilk anlatılan yöntem olup eğri modelinden elde edilen noktaların beyaz piksellerle birebir uyumluluğunu kontrol etmektedir. $\text{Başarı}_{\text{yoğunluk}}$ metodu ise ikinci anlatılan yöntem olup, şablon şerit içindeki piksel yoğunluğuna göre hesaplama yapmaktadır.

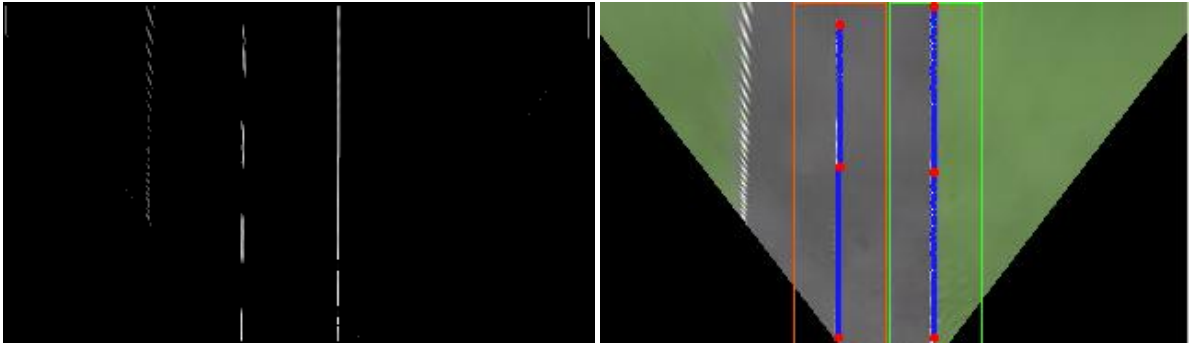
Bir şeridin başarılı ya da başarısız olacağına karar verilecek olan eşik yüzde değeri ise mükemmel koşullarda simülasyon içindeki bütün şerit türlerine göre eğitim çalışması yapılarak en düşük yüzde değerinin hesaplanması ile ortaya çıkarılmıştır. Bu başarı ölçüm yöntemi sayesinde video görüntüler işlenmeden önce her bir görüntü penceresi için el ile doğru sonuç (ground truth) verisi üretilmesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Görüntüler için önceden el ile doğru sonuç verisi üretmek, rastgele veya gerçek zamanlı olarak çalıştırılacak videoların başarısının ölçülmesini engellemektedir. Çalışmada kullanılan yöntem eğitim aşamasına ihtiyaç duysa bile her türlü yeni videonun başarısının ölçülmesine imkan vermektedir.

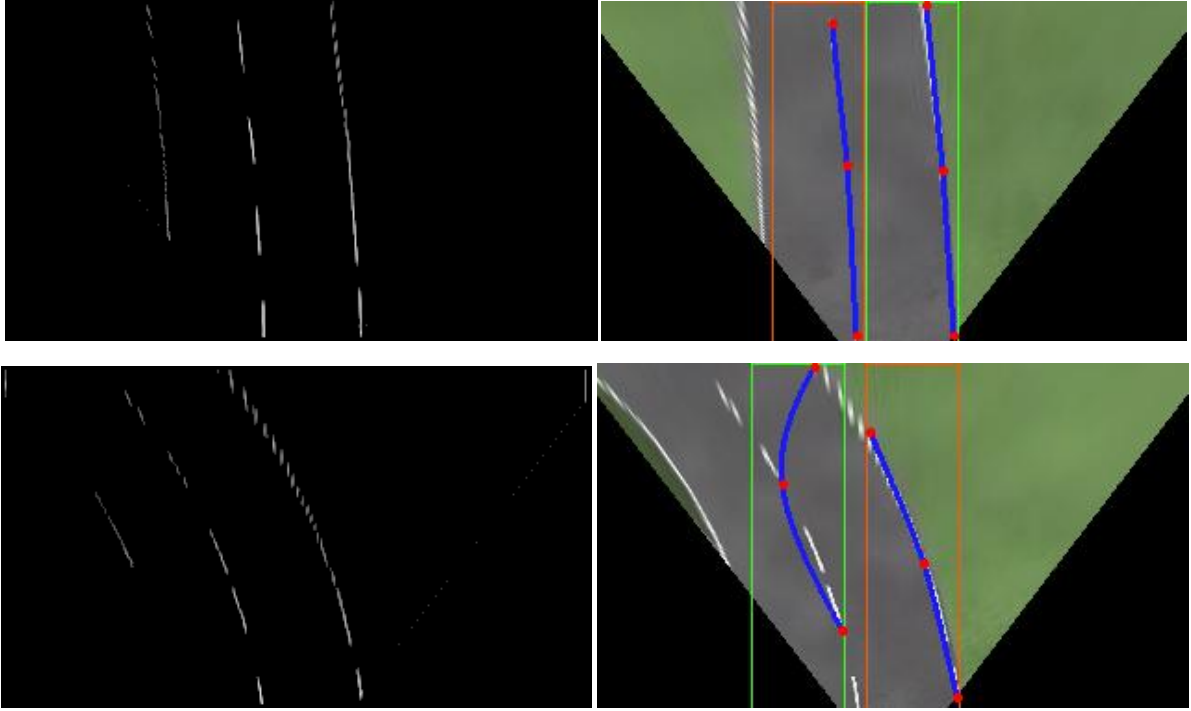
2.3 Şerit Takip Sistemi

Trafik şeritlerine uygun eğriler elde edildikten sonra işlem maliyetini azaltmak ve şerit bulma başarısını artırmak için bulunan şeritin takip edilmesi gerekmektedir. Şerit takibi yapılarak bir önceki çerçevede tespit edilen şeridin özelliklerine göre hareket edilmesi sağlanmaktadır. Böylece birbirini takip eden çerçevelerdeki şeritlerin bulunması hem daha hızlı hem de daha başarılı bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

Şerit takibi sayesinde 2.1.4 bölümünde anlatılan Düşey Histogram ile Şerit Yerlerinin Bulunması adınının her çerçeve için yeniden uygulanmasına gerek kalmamaktadır. İlk şeridin tespit edilmesiyle birlikte şerit eğrilerinin karakteristiğini belirleyen noktalar elde edilmiştir. Bundan sonraki çerçevelerde, elde edilen özellik noktalarının etrafında hareket eden pencereler yardımıyla özellik noktalarının yeni yerleri belirlenmektedir.

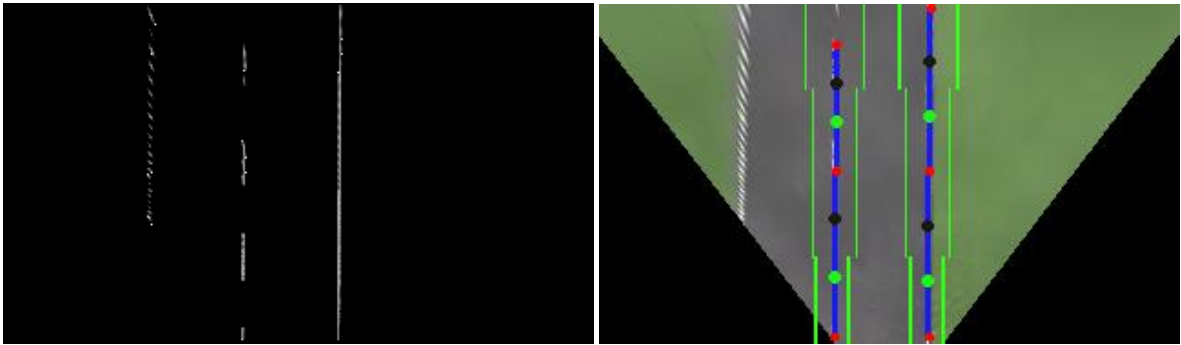
Bu çalışmada şerit takibini sağlamak amacıyla üç farklı yöntem denenmiştir ve ilk iki yönteme göre daha başarılı sonuçlar veren Şablon Şerit Eşleme yöntemi kullanılmıştır. Şerit takibini tam olarak sağlayamayan ilk iki yöntem, “Şablon Şerit Eşleme” yöntemi olarak adlandırılan yöntemin gelişmesine katkı sağlamışlardır. İlk yöntemde düşey histogram ile şerit yerleri bulunduktan sonra çizilen hayali pencereler, gelen viraja göre sağa ve sola kaydırılarak şerit takibi yapılmak istenmiştir. Virajlar keskinleştikçe kaydırılan pencere, diğer şeridin alanına girmekte ve karmaşıklıklar ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.46’de bu yöntem ile ilgili örnek sonuçlar görülmektedir.

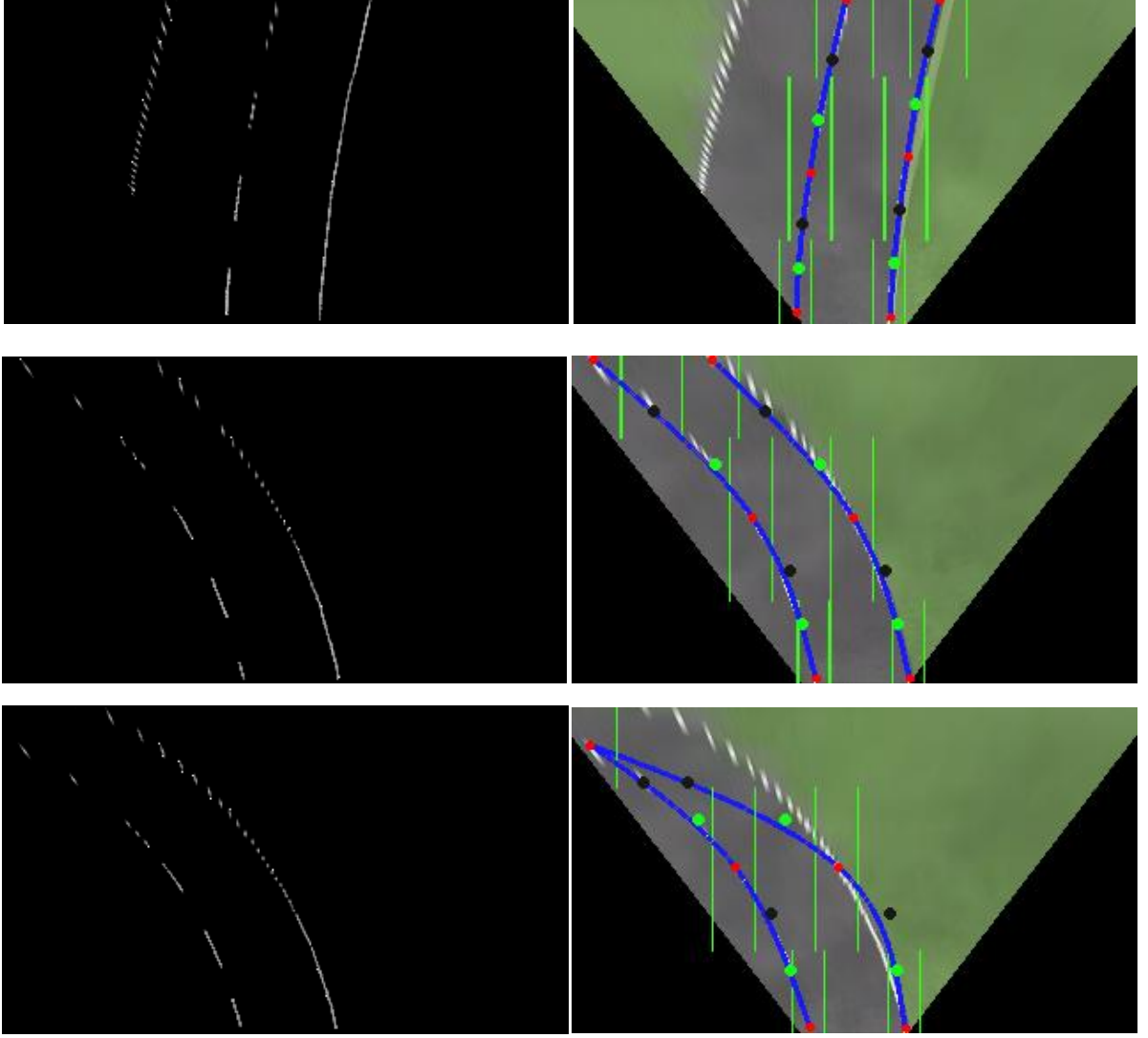




Şekil 2.46 Bütün pencere kaydırma yöntemi örnek sonuçları

Şekil 2.46’de görüldüğü gibi keskin viraj durumunda pencerelerin kaydırılması yeterli olmamaktadır. Bu başarısızlığı gidermek için bütün pencere kullanmak yerine her bir özellik noktası için birer tane olmak üzere toplam 6 pencere kullanılmıştır. “Parçalı Pencere Kaydırma” yöntemi olarak adlandırılan bu yöntemde sonuçlar bir öncekine göre daha başarılı olmasına rağmen yeterli değildir. Parçalı Pencere Kaydırma yöntemine ait örnek şerit takip sonuçları Şekil 2.47’de görülmektedir.

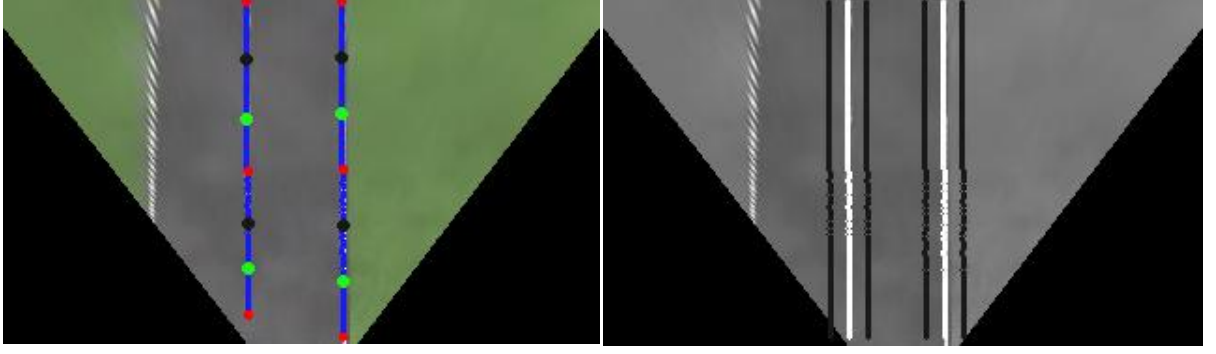




Şekil 2.47 Parçalı pencere kaydırma yöntemi örnek sonuçları

Şekil 2.47’de görüldüğü gibi bu yöntemde de keskin virajlarda pencerelerin diğer pencerelerle karışması engellenememektedir. Ayrıca, ortadaki kırmızı noktaların etrafındaki arama alanının kısıtlandığı da açık bir şekilde görülmektedir.

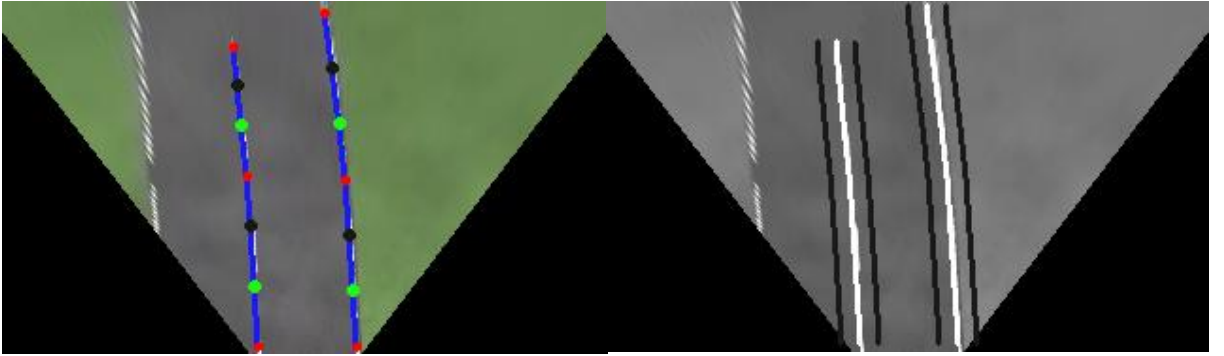
Bu olumsuzlukların üstesinden gelmek amacıyla bu çalışmada Şablon Şerit Eşleme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde başlangıç işlemi olarak ilk bulunan şeritlerin koordinatları kullanılarak birer şablon şerit oluşturulur. Birbirini takip eden görüntü pencerelerindeki yeni özellik noktaları, bu şablon şeritlerin çevresinde aranır. Böylelikle işlem maliyeti azaltılmış olur. Çünkü ardışık iki görüntü arasında özellik noktaları çok fazla yer değiştiremeyeceğinden yeni özellik noktaları daha çabuk belirlenir. Şekil 2.48’de ilk etapta elde edilen şablon şerit görülmektedir.



Şekil 2.48 (a) Şeritler için çizilen doğrular (b) Şablon şeritler ve sınırları.

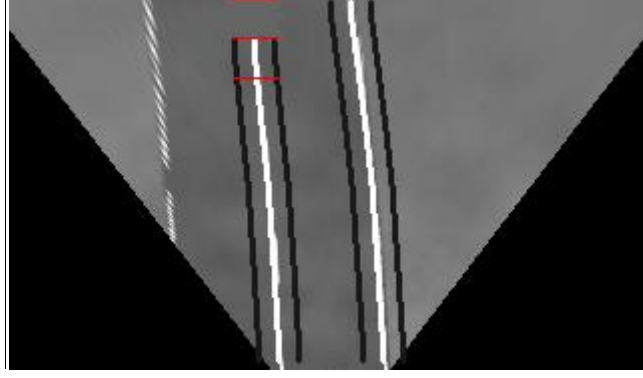
Şekil 2.48(b) resminde beyaz renk ile boyanan bölüm şablon şeridi temsil etmektedir. Şablon şeritlerin etrafında görünen siyah şeritler, belirlenen hassasiyet parametresine göre şablon şeritlerin arama sınırını belirtmektedir. Bir sonraki görüntüdeki özellik noktaları bu siyah sınırlar içerisinde aranacaktır. Arama işlemine beyaz noktalar üzerinden başlanıp eş zamanlı olarak sola ve sağa doğru arama işlemi yapılacaktır. Her görüntü için şerit şablonları yeni bulunan şeritlere göre güncellenmektedir. Bu şekilde şerit takip sisteminin sürekliliği sağlanmış olur.

Şerit eğrilerinin başladığı ve bittiği yeri belirleyen şerit noktaları her zaman görüntünün en alt ve en üst pikselinde olmayabilir. Bu durumda şablon şeridin güncellenmesi sırasında bir sorunla karşılaşılmaktadır. Şekil 2.49’de bu problem görülebilmektedir.



Şekil 2.49 Şablon şerit güncelleme problemi

Eğer şablon şerit, bu şekilde güncellenirse bir sonraki görüntü için yapılacak olan özellik noktası arama işlemi görüntünün en başından başlayamamış olacaktır. Bu da özellik kaybı anlamına gelip şeridin şeklinin tam olarak belirlenmesini engeller. Bu sorunu çözmek için ucu kesilmiş olan şeridin var olan bölümü dikkate alınarak şablon şeridi uzatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun için kesik şeridin ucu ile resmin başlangıç noktası arasındaki piksel farkı hesaplanır ve kesik şeridin ucundan başlanarak hesaplanan fark değeri kadar geriye gidilir. (Şekil 2.50)

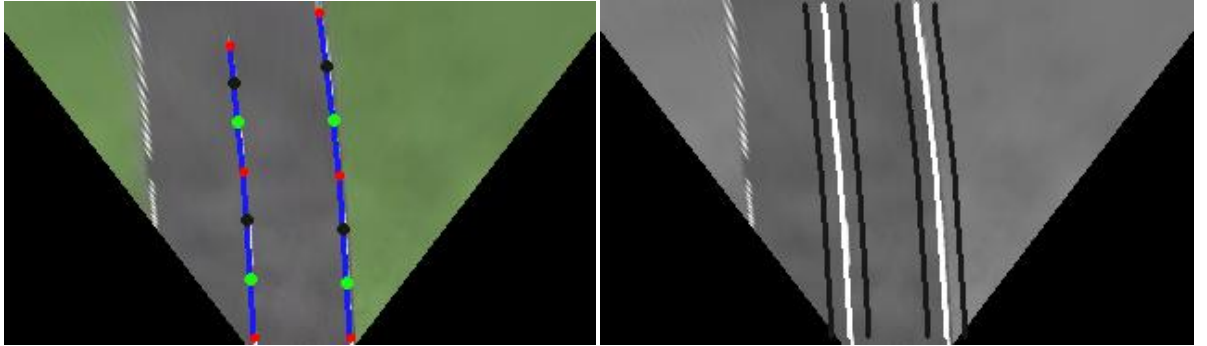


Şekil 2.50 Şablon şerit içine kesik alan kadar ilerlenmiş resim

Gelinen noktadan kesik şeridin ucuna kadarki bölümde şablon şeridin x-ekseninde kaç piksellik kayma yaptığı yani eğrinin eğimi hesaplanır. Şekil 2.50'deki örnekte x-ekseninde 1 piksellik kayma vardır. Kesik alanın y-eksenindeki değeri de 20 piksel olduğundan (2.46) eşitliğindeki katsayı yardımıyla şablon şeridin eksik bölümü oluşturulur.

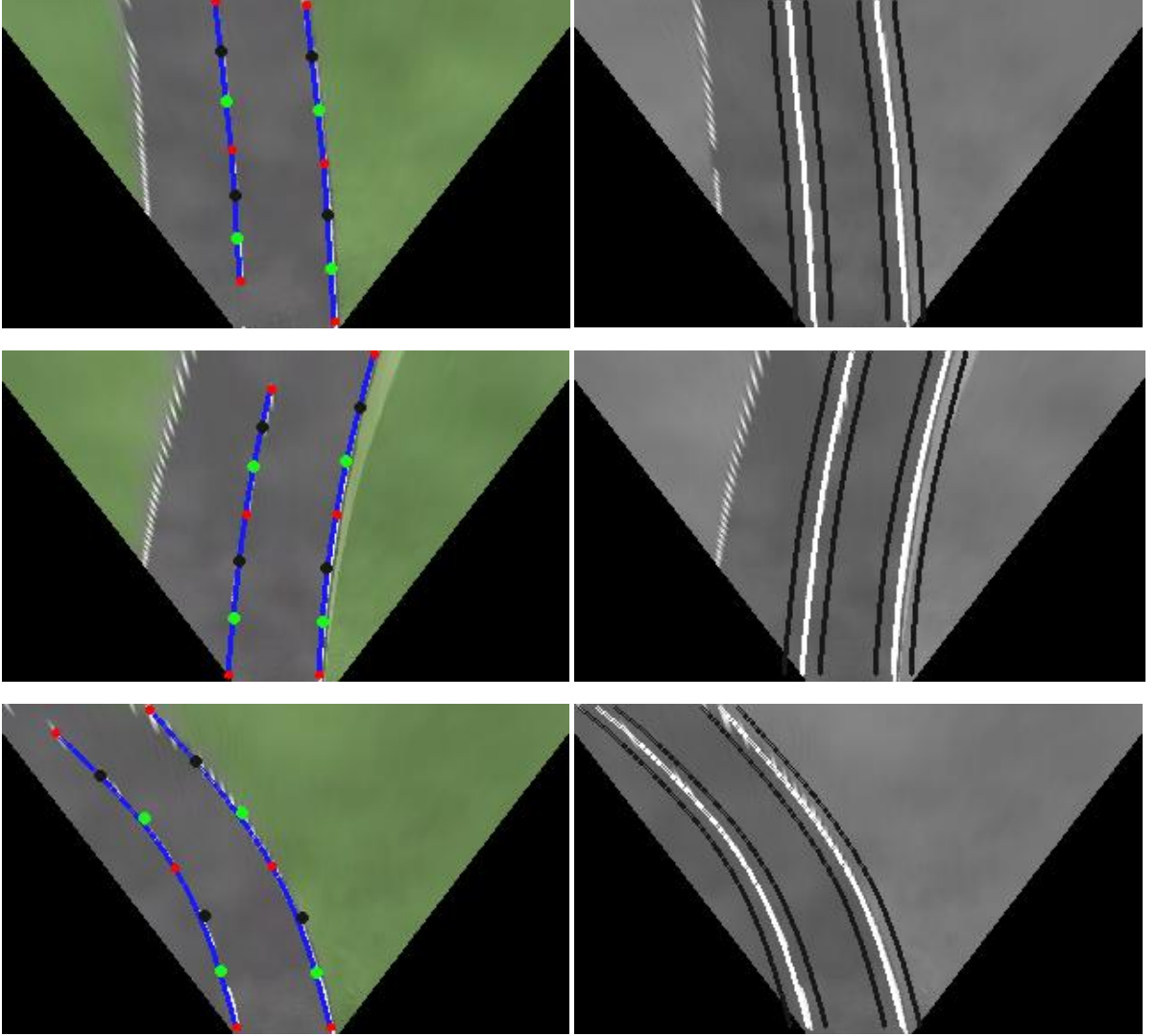
$$k = \text{Kayma}_x / \text{Kayma}_y \quad (2.46)$$

Elde edilen “k” katsayısı, şablon şeridin en uç noktasındaki pikselin x koordinat değeri ile çarpılarak eksik alandaki ilk pikselin x koordinatı hesaplanır. Sonraki pikseller de ardışık olarak hesaplanır ve şablon şerit görüntünün başlangıç noktasına kadar uzatılır.(Şekil 2.51)



Şekil 2.51 (a) Şerit belirleme sonucu (b) Şablon şeridin güncellenmiş hali

Kullanılan bu şerit takip sistemi sayesinde çok keskin virajlarda dahi şeritler birbirine karışmamaktadır. Çünkü şeritlerin etrafını sınırlayan arama bölgeleri, şeridin şekliyle birebir aynıdır ve her yeni görüntüde kendini güncelleyerek olası karışıklıklar engellenmiş olur. Şekil 2.52’de bu yöntemin örnek sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 2.52 Şablon şerit eşleme ile şerit takip sistemi için örnek sonuç resimleri

Örnek sonuçlardan da görüldüğü gibi çok keskin virajlarda bile şerit takip işlemi başarıyla devam ettirilmiştir. Şablon şeritlerin etrafındaki sınırlar sayesinde özellik noktalarının aranacağı alan daraltılarak hem işlem maliyeti azaltılmış hem de şeritlere ait olmayan gürültü noktalarına kayma olasılığı çok düşük bir seviyeye indirilmiştir.

Son olarak eğer bir görüntü penceresi içindeki özellik noktalarından biri bulunamazsa, ardışık iki görüntü arasında özellik noktalarının yerlerinin çok küçük miktarda değişeceği varsayımına dayanarak bulunamayan özellik noktası için bir önceki görüntüdeki özellik noktasasının X ve Y değerleri kullanılır. Daha sonraki görüntülerde özellik noktaları

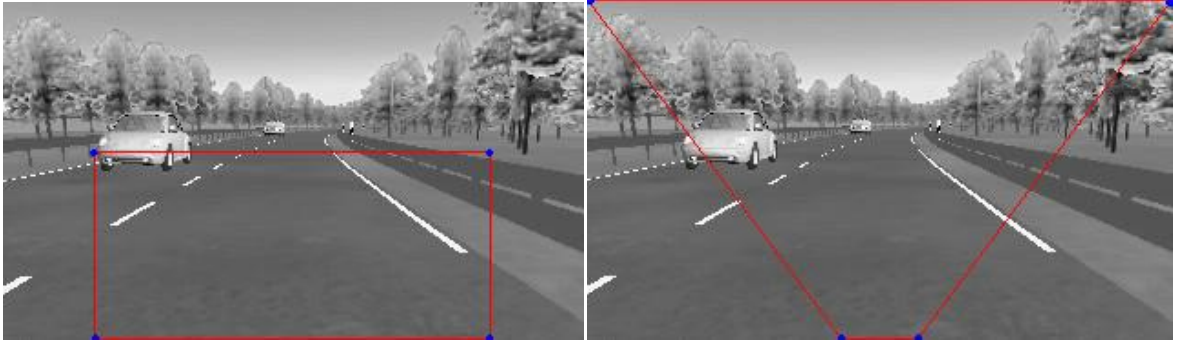
bulunacağı için bu işlem sayesinde takip sisteminin akıcılığı kesintiye uğramamaktadır.

3. UYGULAMA

Bu çalışma, İ.T.Ü. Mekar Mekatronik Araştırma Laboratuvarında geliştirilmekte olan Şerit Koruma Yardımı (Lane Keeping Assistance) Sisteminin video görüntü işleme bölümü olarak Y.T.Ü. Akıllı Sistemler Laboratuvarında geliştirilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen sistem, (Carmaker-HIL)'de özellikleri anlatılan Carmaker simülasyon ortamından alınmış videolarla ve Carmaker sisteminde gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Sistemin farklı senaryolardaki performansını değerlendirmek için düz-engelsiz, düz-engelli, virajlı-engelsiz, virajlı-engelli, koyu renkli araç, açık renkli araç vb. kompleks videolar kullanılmıştır.

3.1 Ön Hazırlık

Sistemde kullanılan yöntemlerdeki eşik değerleri ve bazı parametreler deneysel sonuçlara ve ihtiyaç duyulan çalışma şekline göre seçilmiştir. İçinde değişik parametreler barındıran yöntemlerden ilki olan Eğik Perspektif Eşleme Yönteminde 4 noktaya göre eşleme yaklaşımı kullanılmıştır. Bu dört noktanın yeri, yolun eğimine karar vermeye yetecek kadar büyüklükteki bir yamuğu oluşturacak şekilde seçilmiştir. Bu noktalar ve oluşturdukları şekiller Şekil 3.1' de mavi noktalar ve kırmızı doğrular haline gösterilmiştir.



Şekil 3.1 C1 ve C2 noktalarından oluşan dikdörtgen ve yamuğu.

Bu noktalar seçilirken yolun eğiminin hesaplanabileceği minimum büyüklükteki dikdörtgen oluşturulmuştur. Dikdörtgen büyüdükçe yolun sonundaki ve yanlarındaki birtakım gürültüler de görüntüye dahil olacağından işlem yapmak zorlaşmaktadır. Şekil 3.1'deki yamuğu oluşturan noktalar ise, Şekil 3.1 (a)'daki dikdörtgene gerdirme işlemi uygulayanarak kuş bakışı görüntüye çevrilmesi için gereken noktalardır. Bu yamuğu oluşturan noktalar perspektif görüntüde birbirine paralel olmayan şeritlerin kuş bakışı görüntüde paralel olmasını

sağlayacak şekilde seçilir. Yani yolun ufuk çizgisine yakın bölümleri sağa ve sola daha fazla gerdirilirken, araca yakın olan bölümleri bir miktar daraltılır. Bu şekilde yoldaki şeritler paralel hale getirilir.

Özellik çıkarımını sağlayan 2B Gabor filtresinde ise parametrelerin seçimi (2.1.3) bölümünde ayrıntılı şekilde anlatılmıştır. Seçilen parametre değerleri Çizelge 2.1’de görülmektedir.

Düşey histogram kullanılarak şeritlerin başlangıç yerleri bulunduğu videonun ilk penceresi aşırı virajlı bir yol seçilerek başlanmamalıdır.

Bileşik Bezier eğrisi uydurma yönteminde 3. Dereceden polinom fonksiyon kullanılması yeterli görülmüştür. Kuş bakışı görüntü ile çalışıldığından “S” şekline sahip kompleks virajlar parçalı bir şekilde işlenir ve iki ayrı virajmış gibi algılanıp şeritler tespit edilir. Yine aynı sebepten bileşik Bezier eğrileri 3’er özellik noktası ve 4’er kontrol noktası kullanılarak oluşturulmuştur.

Skor fonksiyonunda kullanılan başarı eşiği belirlenirken simülasyon ortamındaki bütün olası şerit türlerini içeren, engelsiz ve pürüzsüz videolar kullanılmıştır. Bu ortamdaki en düşük başarı eşiği olan %15 değeri, sistemin genelindeki başarı eşiği olarak kabul edilmiştir.

Şerit takibini sağlayan şablon şerit eşleme yönteminde kullanılan ve ardışık görüntüler için özellik noktası arama bölgesinin sınırlarını belirleyen çizgilerin şablon şeritten uzaklığı deneysel sonuçlar ile 7 piksel olarak belirlenmiştir. Bu değer küçüldükçe yanlış noktalara sapma ihtimali azaldığından normal şartlardaki başarı artmaktadır. Ancak istisnai durum olarak keskin bir virajda şerit çizgileri arasında uzun bir kopukluk varsa kopukluğun büyüklüğüne göre ardışık bazı görüntülerdeki şeritler tespit edilememektedir.

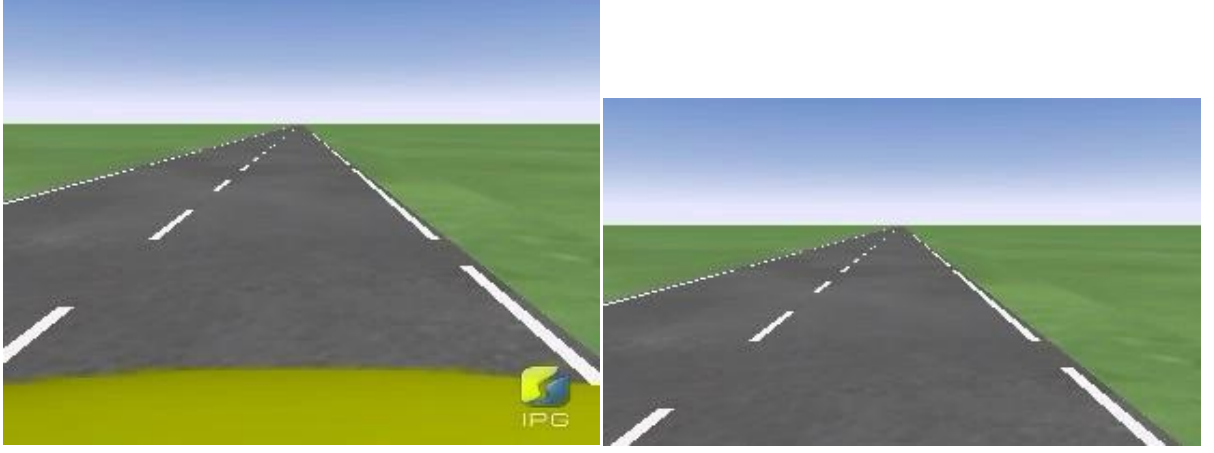
3.2 Sistemin Başarısının Değerlendirilmesi

Sistemin farklı şartlardaki başarısını değerlendirmek için değişik yol senaryoları oluşturulmuştur. Örnek sonuçlar gösterilirken görüntüler soldan sağa ve yukarıdan aşağıya öncelikli olmak üzere (a)’ dan (f)’ ye kadar harflendirilmiştir.

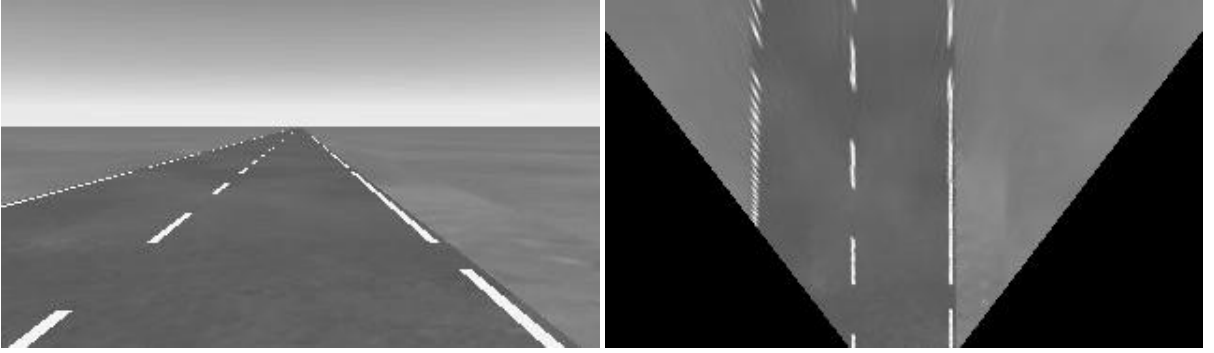
3.2.1 Engelsiz ve Düz Yol

İlk senaryoda düz ve engelsiz bir yolda şerit bulma ve takip işleminin nasıl yapıldığı incelenmiştir. Bunun için kullanılan video görüntüsü engelsiz ve düz bir yola aittir. Bu

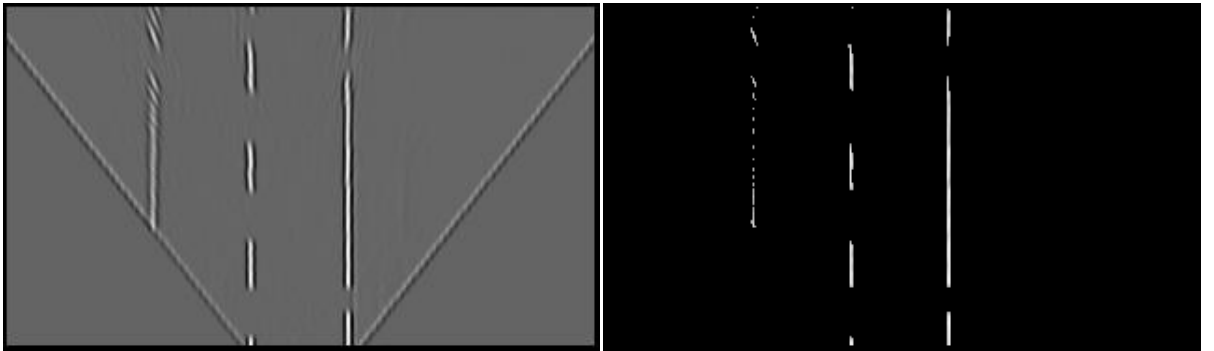
görüntüdeki başarı %100 olarak elde edilmiştir. Şekil 3.2' den Şekil 3.7' ye kadar olan şekiller bu test videosundan görüntüler içermektedir.



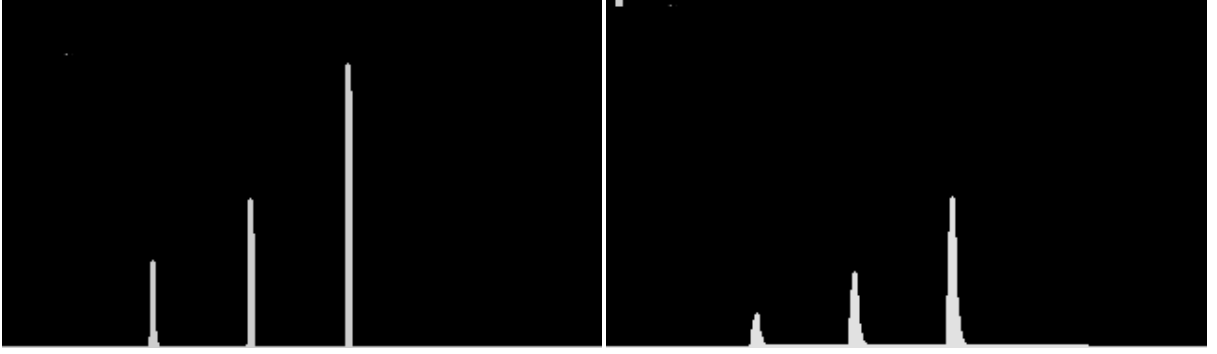
(a) Giriş görüntüsü (b) Kesilmiş görüntü



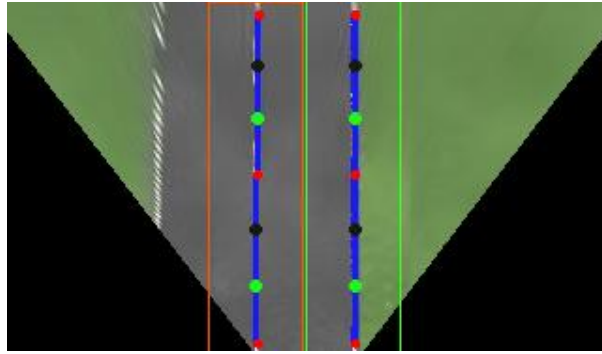
(c) Gri seviyeli görüntü (d) Kuş bakışı görüntü



(e) Gabor cevabı (f) Eşiklenmiş resim



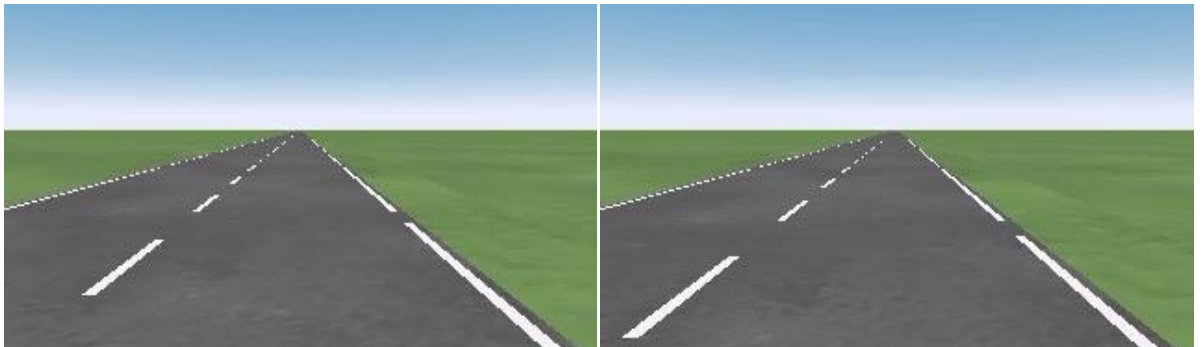
(g) Düşey Piksel Histogramı (h) Gauss Yumuşatması uygulanmış düşey histogram

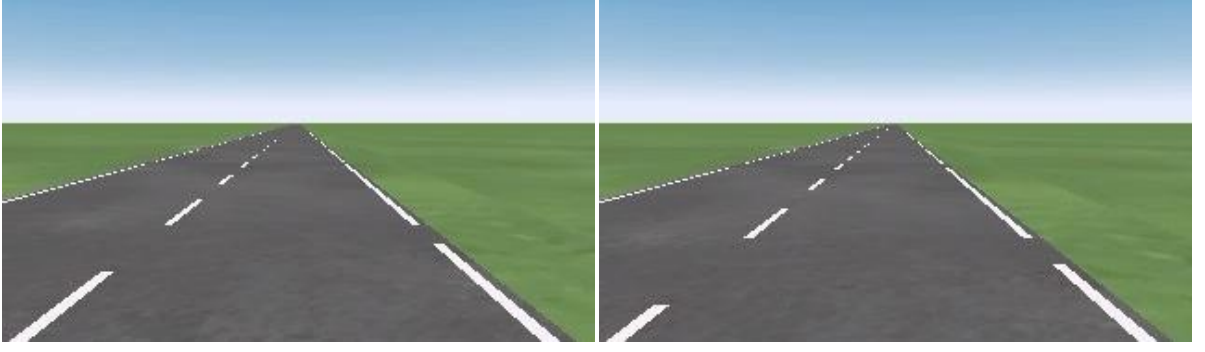


(1) Şerit pencereleri ve ilk şeritler

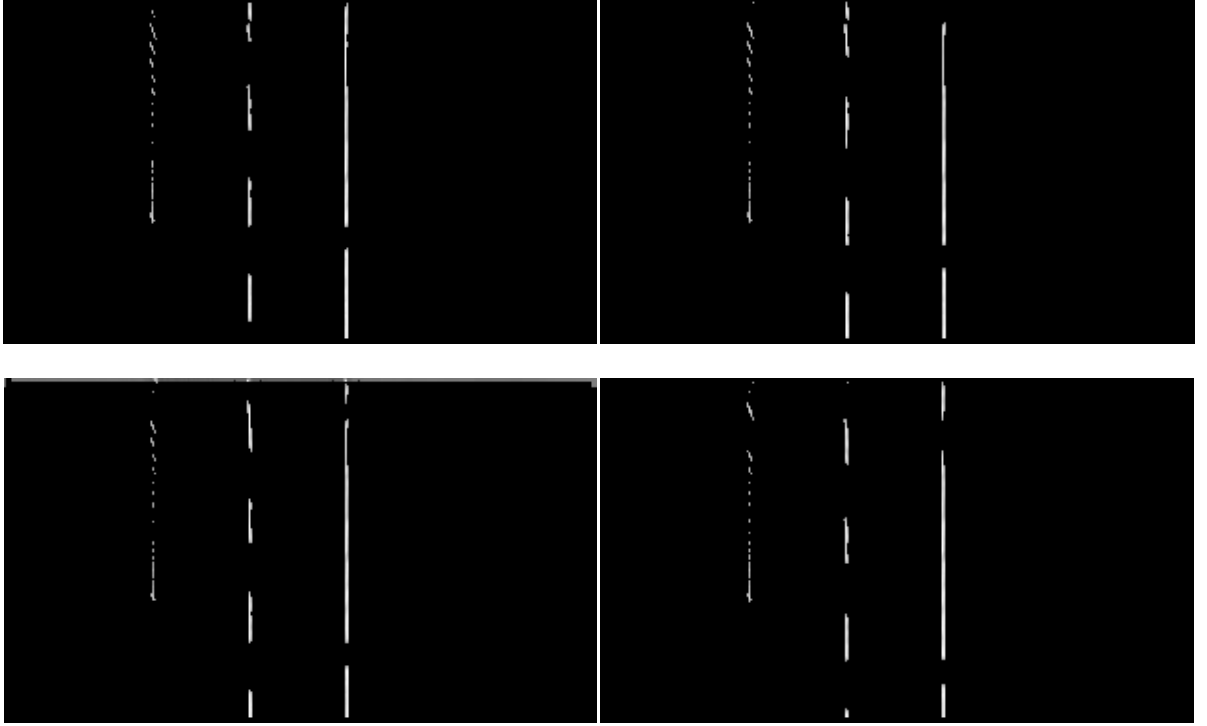
Şekil 3.2 Görüntünün alınması ve şeritlerin başlangıç durumlarının belirlenmesi arasındaki adımlar

Bu aşamadan sonra şablon şerit takibi aşamasına geçilmektedir. Şablon şerit ve ardışık birkaç görüntü Şekil 3.3 ile Şekil 3.7 arasında görülmektedir. Görüntüdeki sürekliliği sağlamak amacıyla şekiller görüntü türüne göre gruplanmıştır.

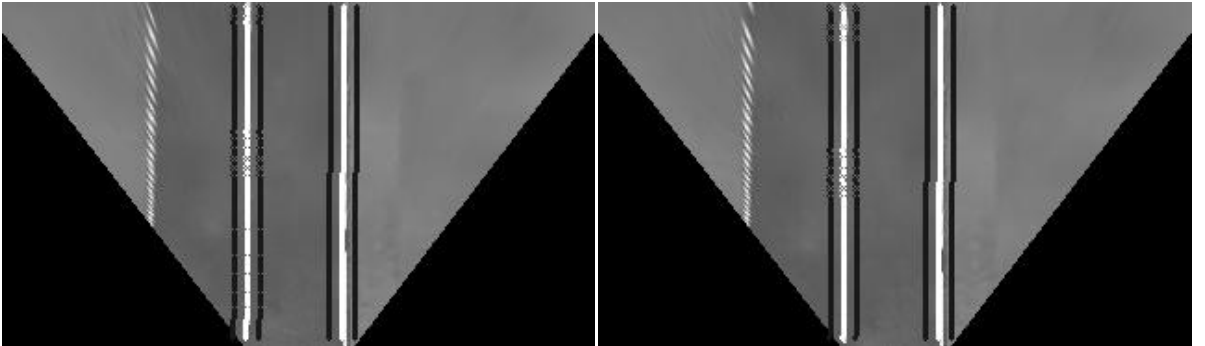




Şekil 3.3 Ardışık dört giriş görüntüsü

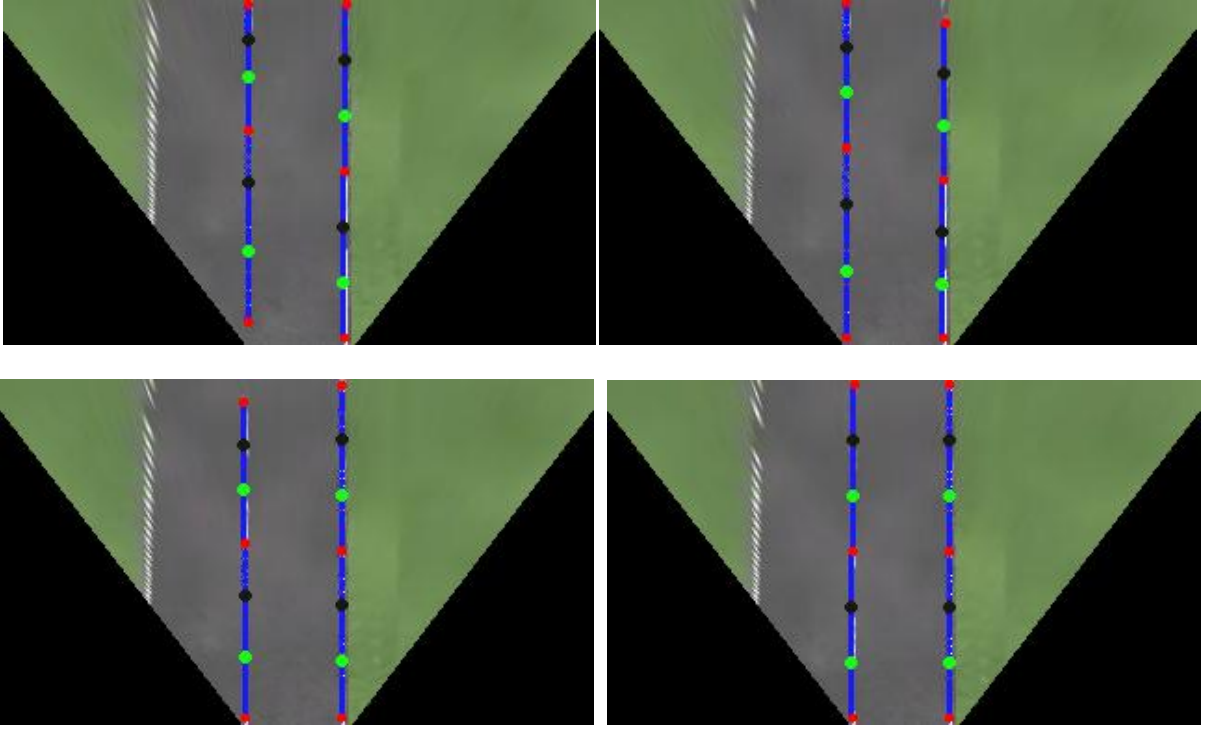


Şekil 3.4 Ardışık dört kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali

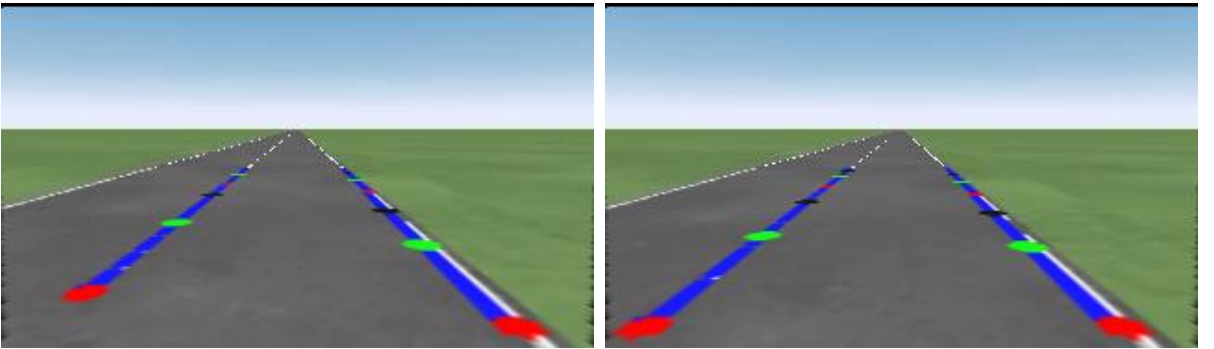


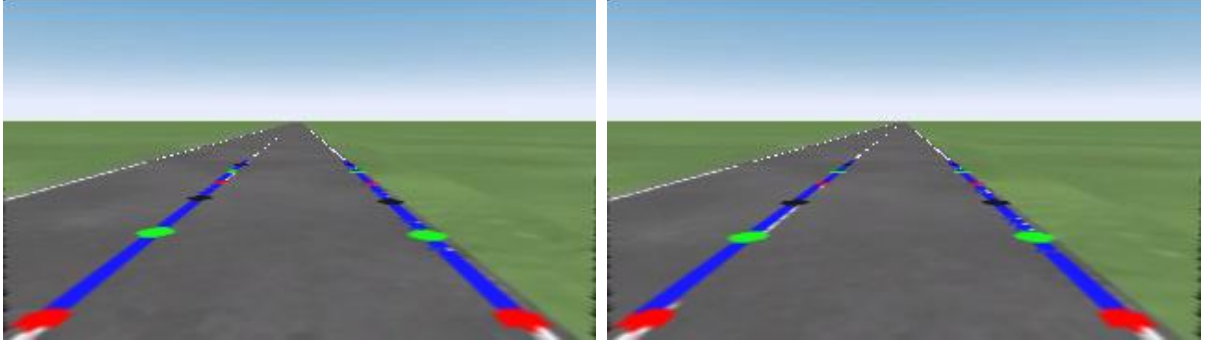


Şekil 3.5 Ardışık dört görüntünün Şablon şeritleri



Şekil 3.6 Ardışık dört görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları





Şekil 3.7 Ardışık dört görüntünün düzeltilmiş hali

Bu test videosu 17 saniye sürmekte ve 431 görüntü içermektedir. Başarı ölçümü sonucunda %100'lük başarı hesaplanmıştır.

3.2.2 Engelsiz ve Virajlı Yol

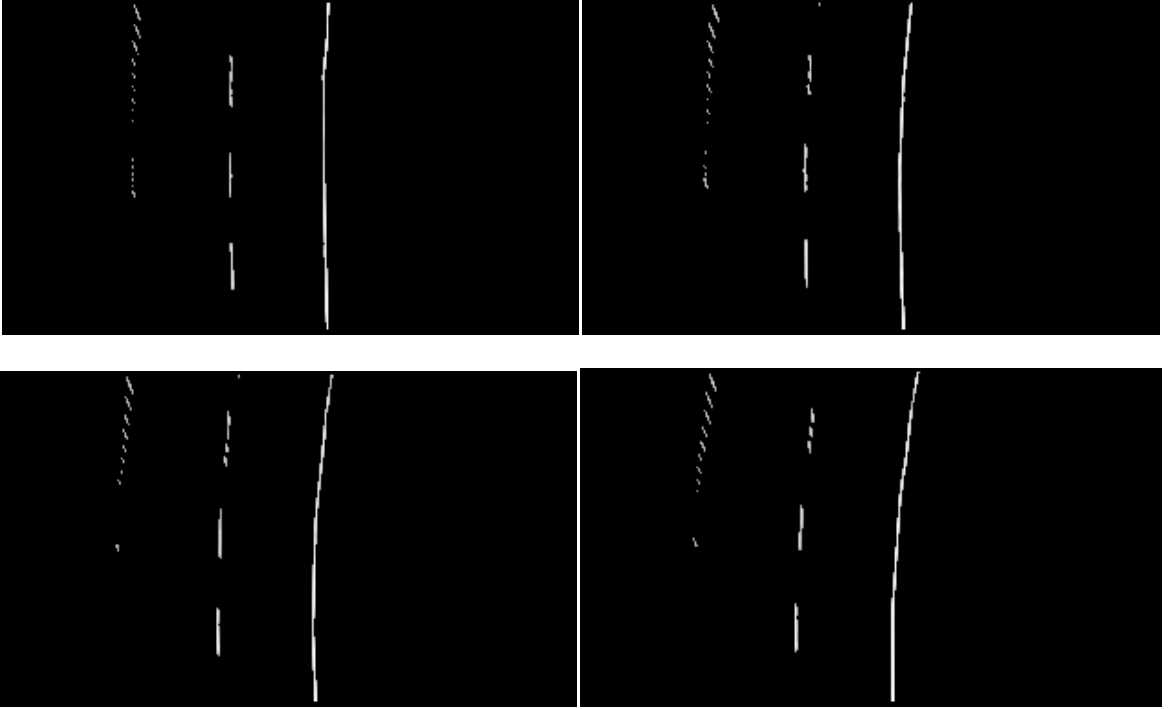
Sistemin test edildiği bir diğer senaryo engelsiz, virajlı bir yola aittir. Virajlar keskinleştğinde trafik şeritlerinde özellik kayıpları olduğundan birkaç görüntüde başarısız olunmuştur. Bu videoya ait örnek resimler

Şekil 3.8 ile Şekil 3.17 arasında gösterilmektedir. Düz yoldan virajlı yola geçişteki eğri farkının daha net algılanabilmesi için görüntü pencereleri beşer görüntü aralıklarla gösterilmektedir.

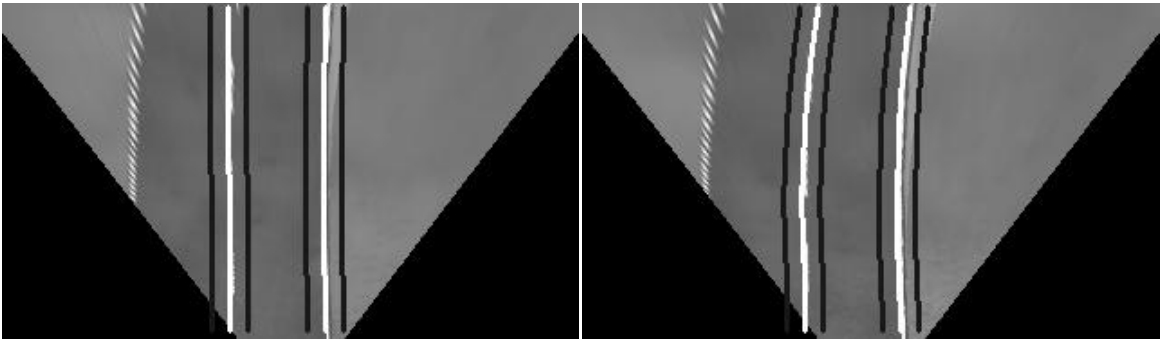


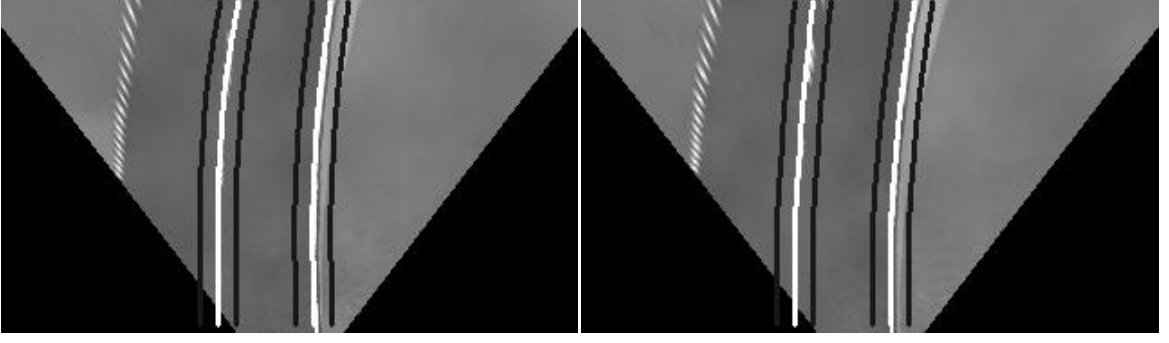


Şekil 3.8 Beşer ardışık giriş görüntüsü

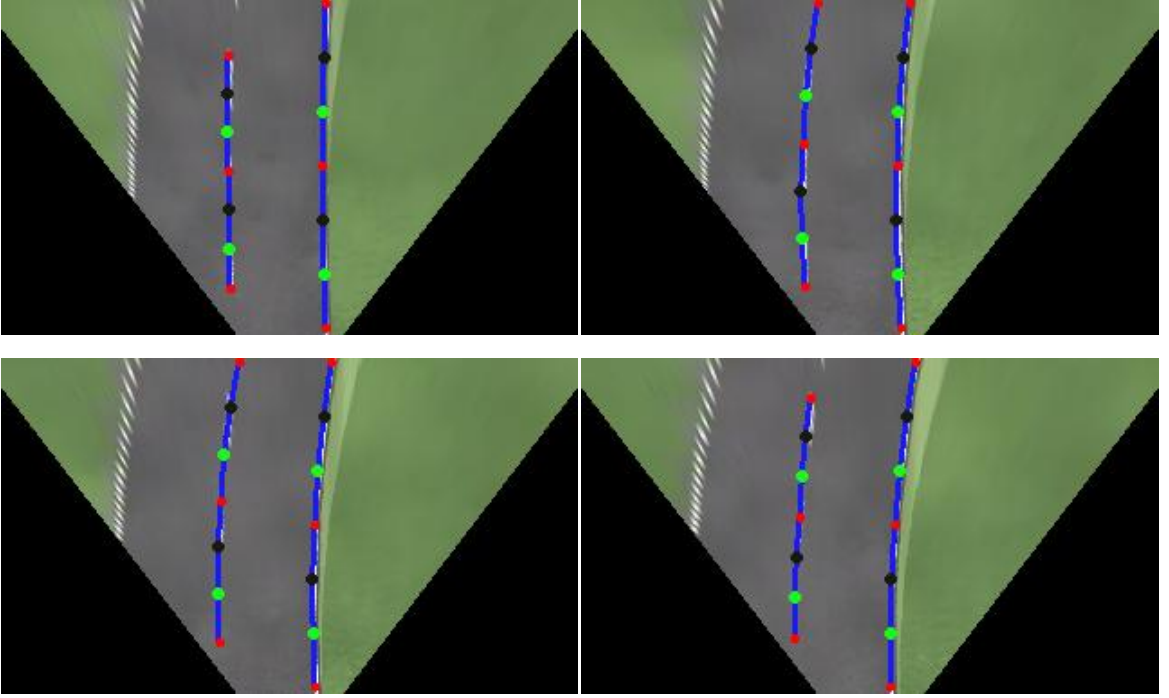


Şekil 3.9 Beşer ardışık dört kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali

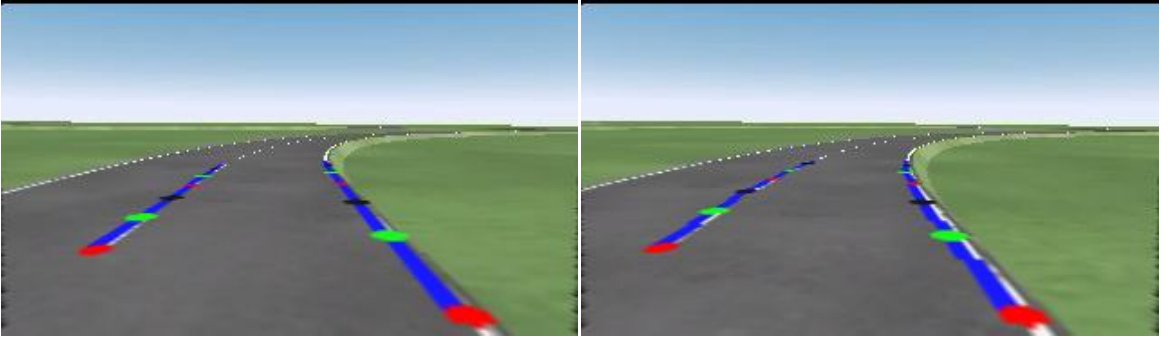


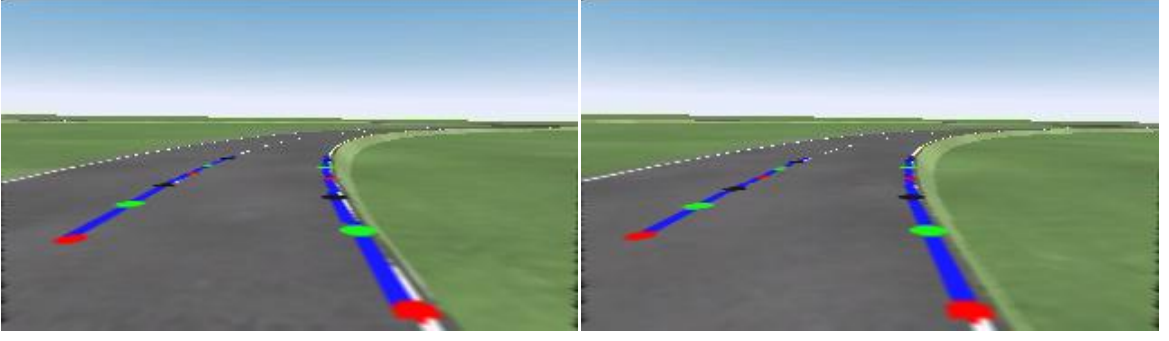


Şekil 3.10 Beşer ardışık dört görüntünün Şablon şeritleri



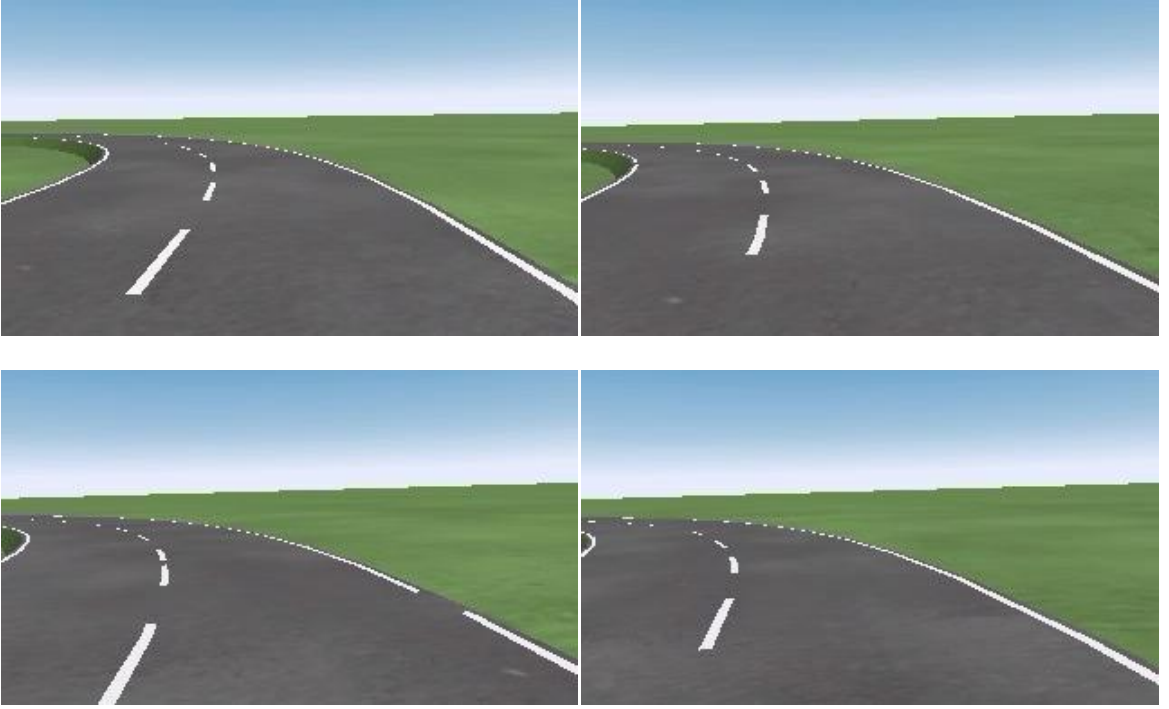
Şekil 3.11 Beşer ardışık dört görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları

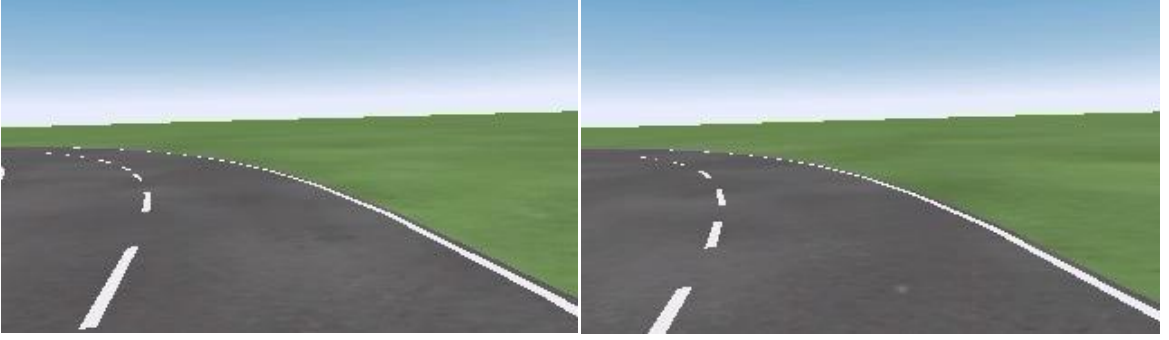




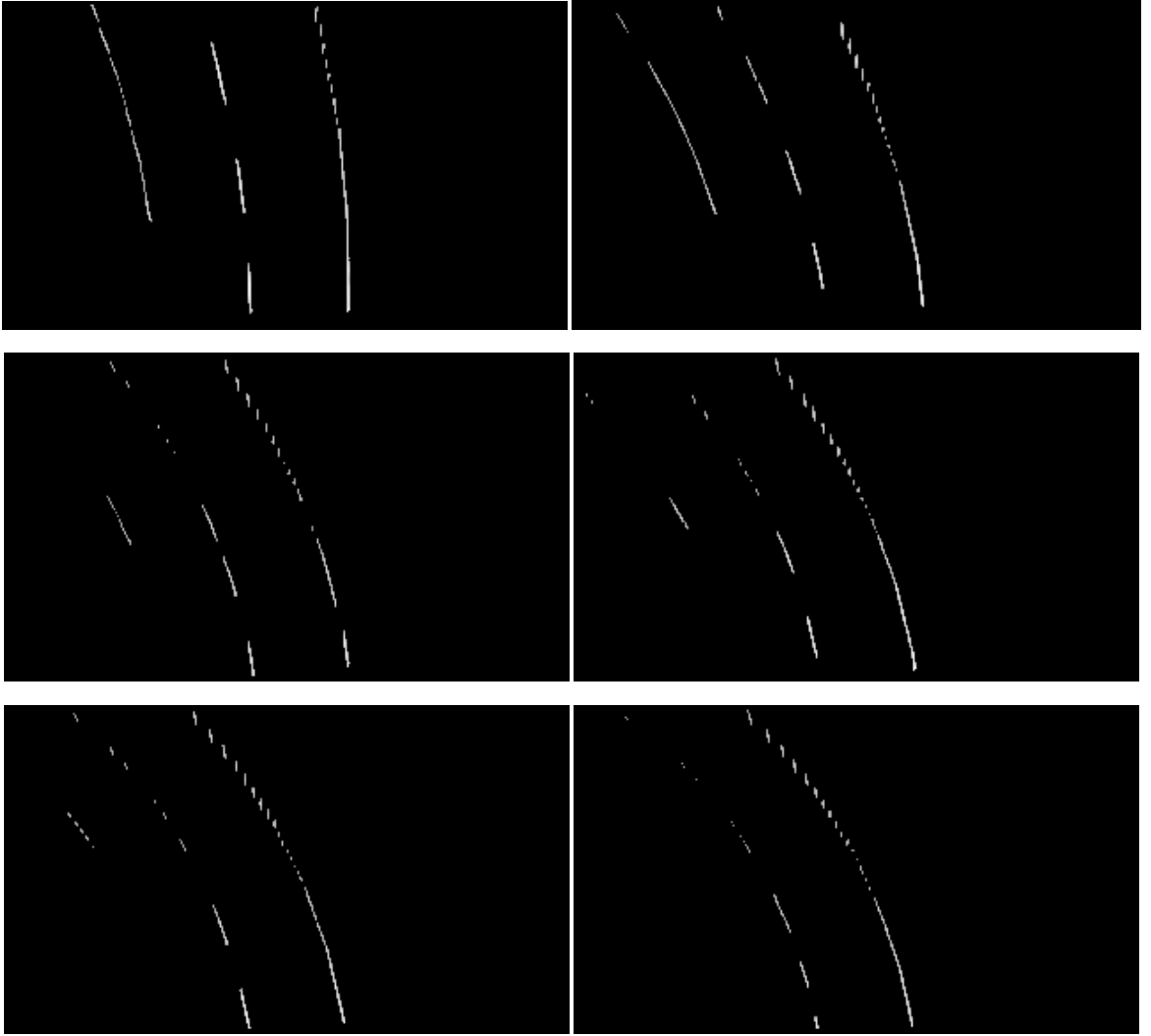
Şekil 3.12 Beşer ardışık dört görüntünün düzeltilmiş hali

Aynı video içerisinde yolun devamında sola doğru daha kesin bir viraj bulunmaktadır. Bu viraj ile ilgili örnek sonuçlar Şekil 3.13 ile Şekil 3.17 arasında görülmektedir. Virajlı yolun boyu çok uzundur ve viraj kademeli olarak keskinleşmektedir. Virajın en keskin halini gösterebilmek için 20'şer görüntü atlayarak 6'şar görüntü gösterilmiştir.

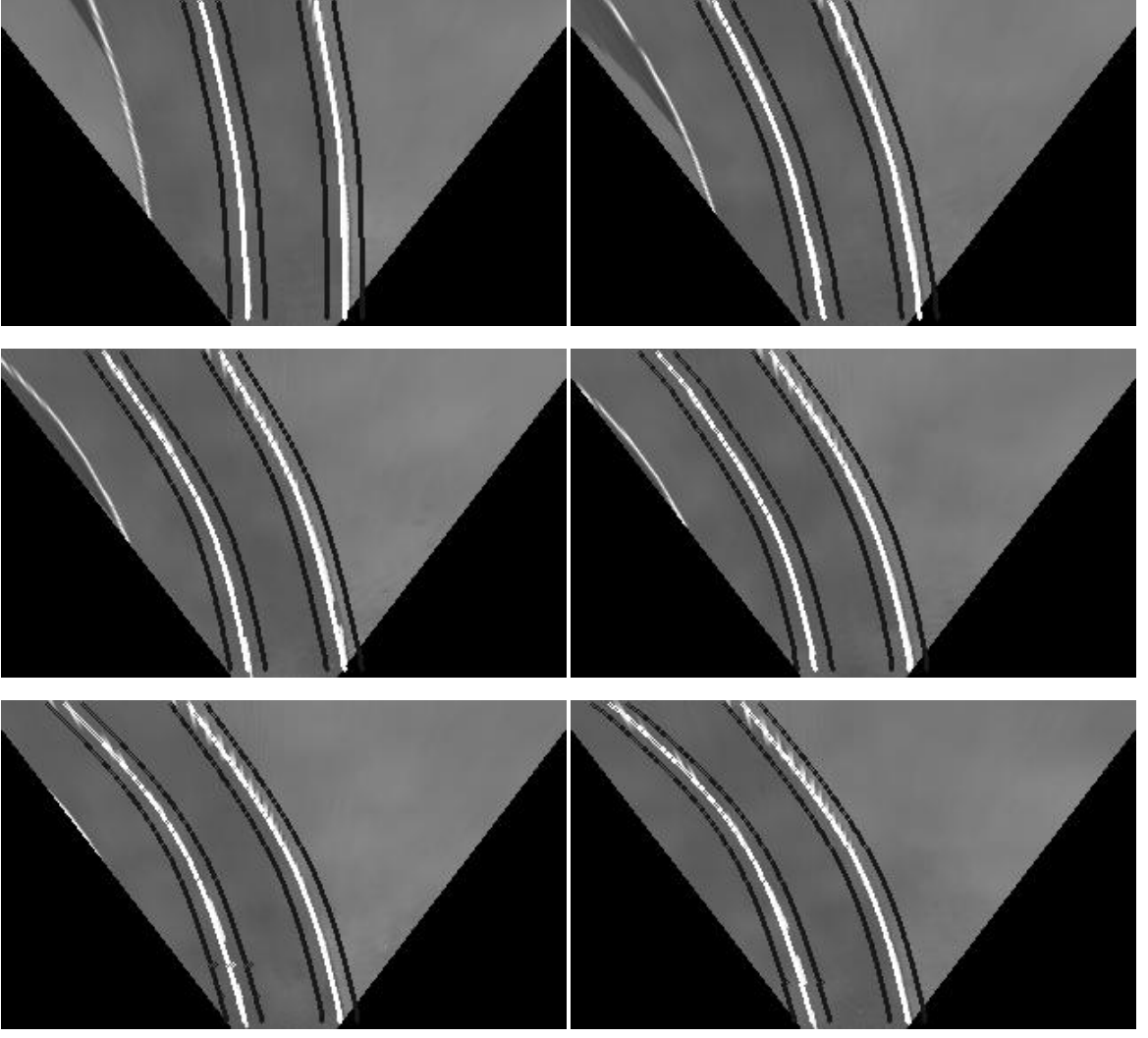




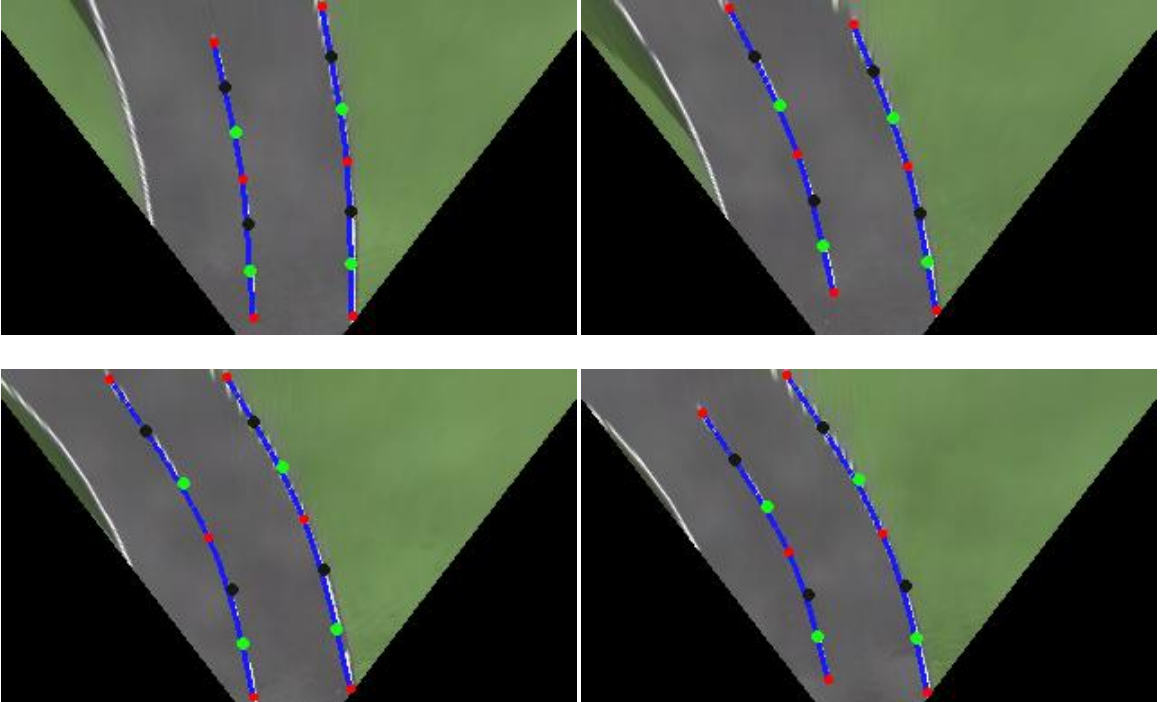
Şekil 3.13 Yirmişer ardışık altı giriş görüntüsü



Şekil 3.14 Yirmişer ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali

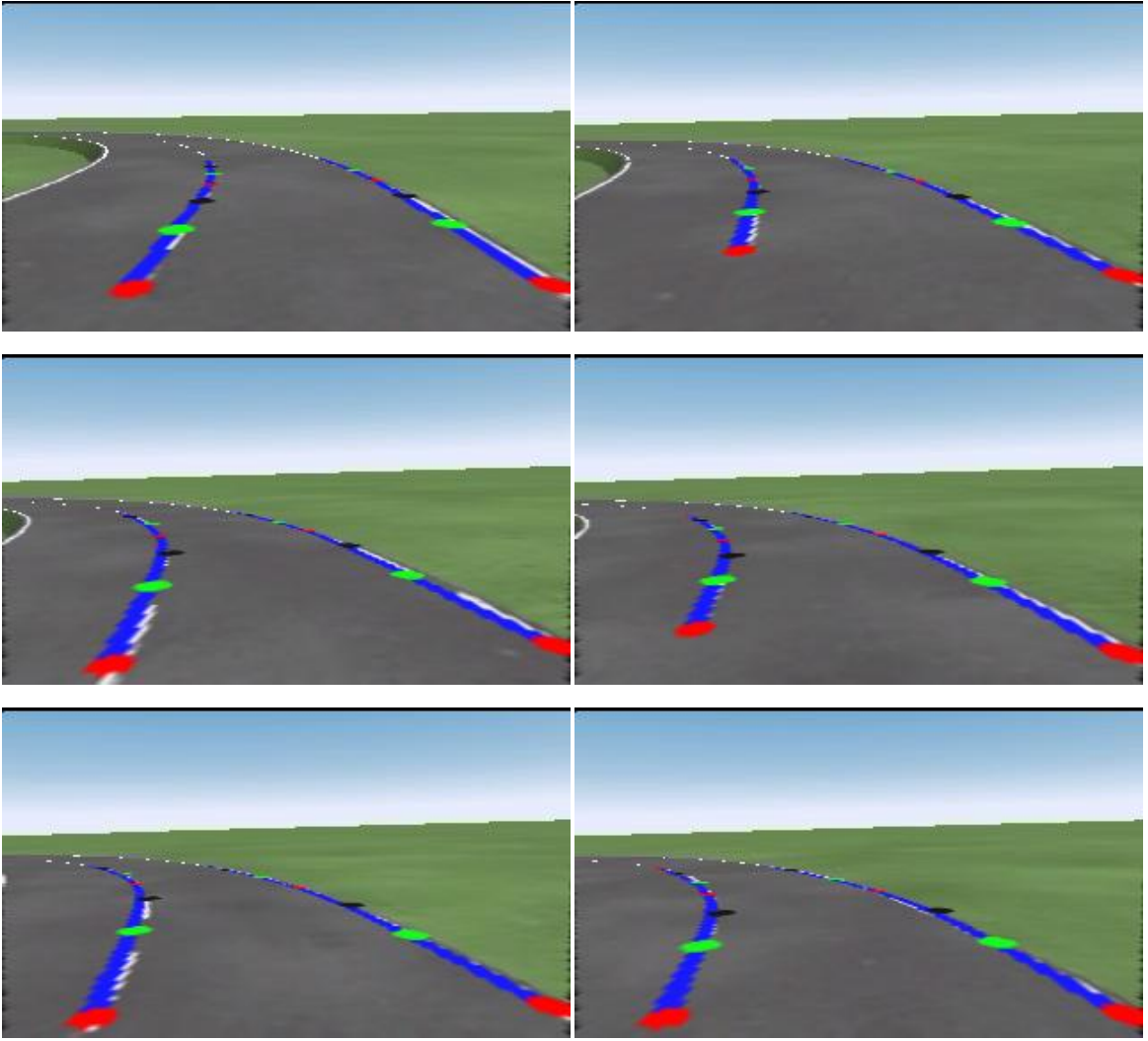


Şekil 3.15 Yirmişer ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri



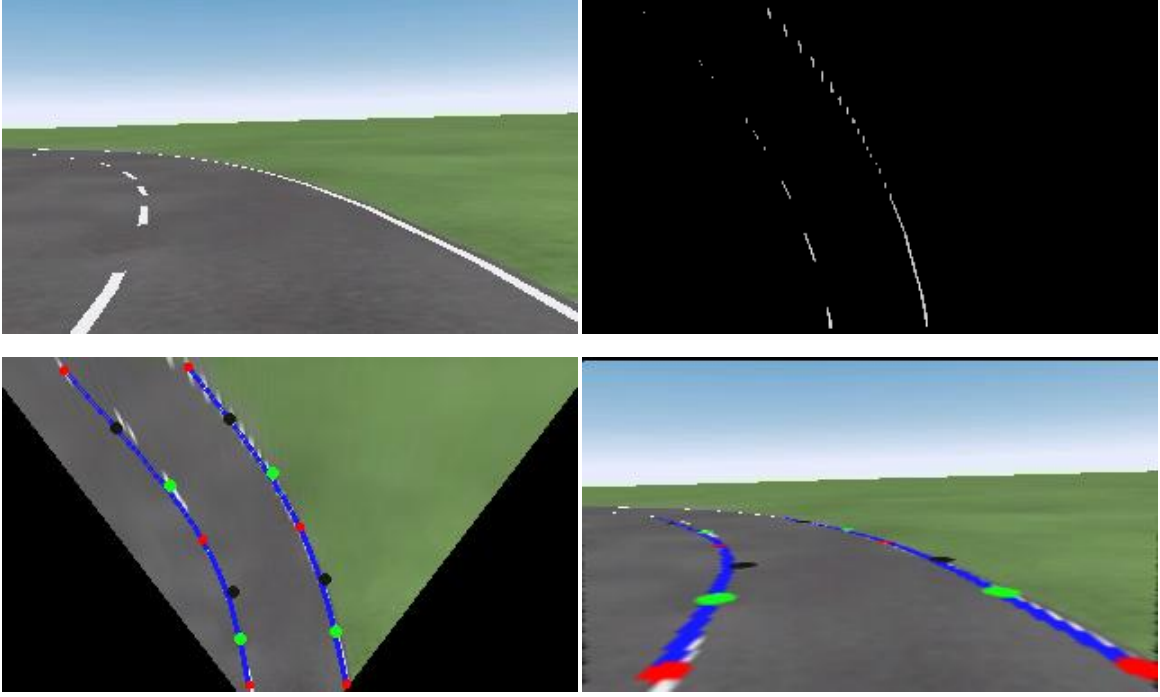


Şekil 3.16 Yirmişer ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları

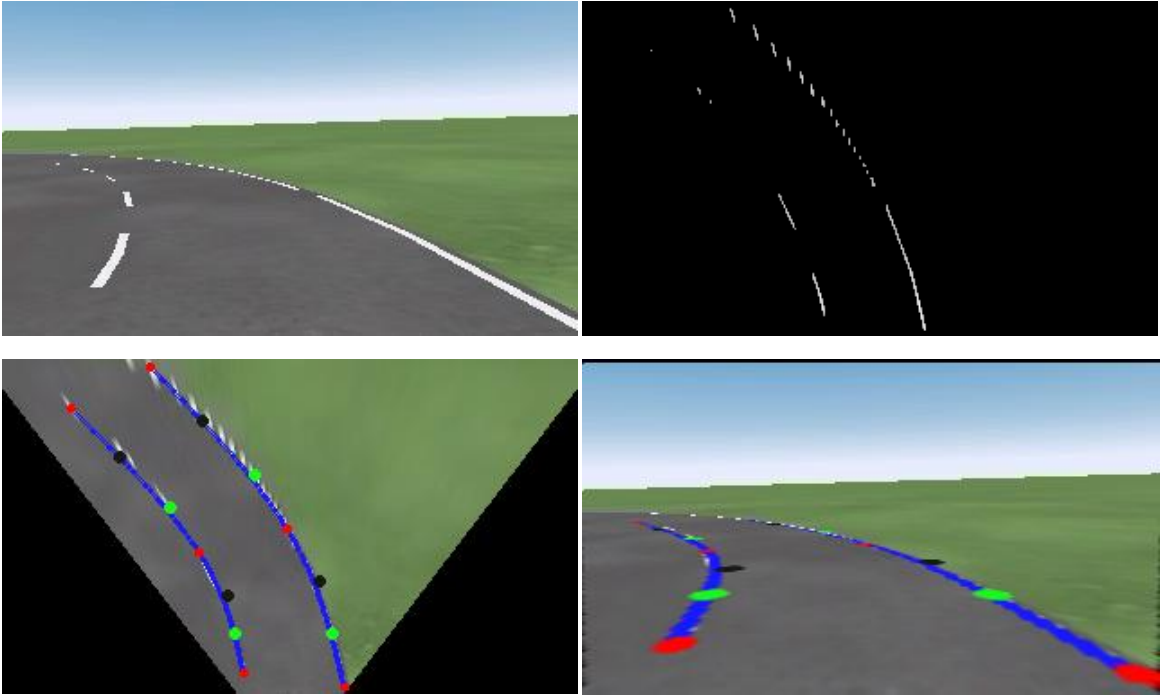


Şekil 3.17 Yirmişer ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali

Bu videoda virajın çok keskinleştiği noktalardaki bazı görüntülerde şeritlerin çizim başarısı eşik değerin altında olduğundan başarısız sayılmıştır. Başarısız sayılan görüntülerden ikisi Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’da gösterilmektedir.



Şekil 3.18 Başarısız şerit takip örneği

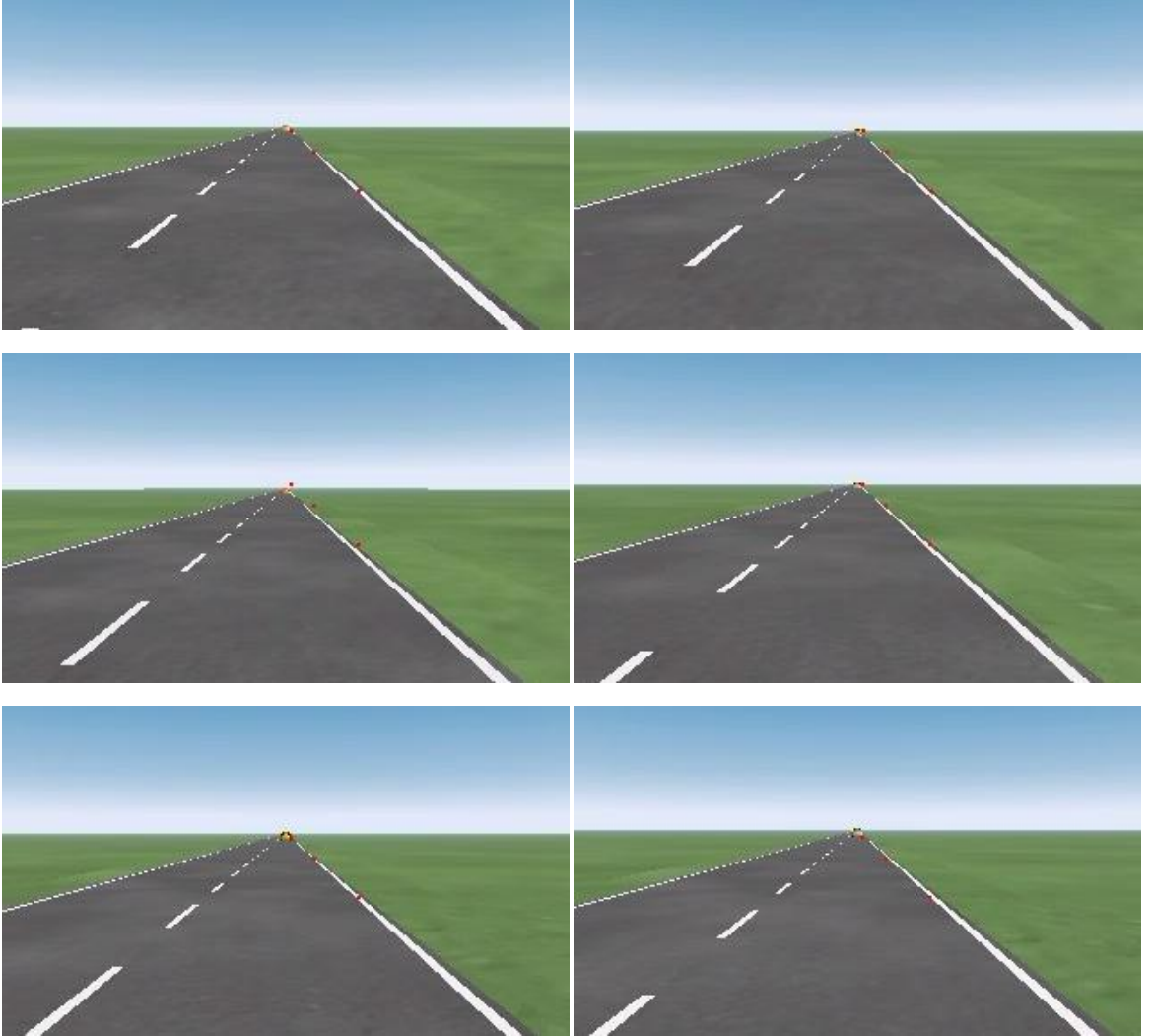


Şekil 3.19 Başarısız şerit takip örneği

Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’da görüldüğü gibi kesikli şerit üzerindeki özellik noktaları azaldığı için orta nokta, alt noktaya yakın seçilmek zorunda kalmıştır, bundan ötürü Bezier eğrisinin şekli bozulmuştur. Bu test videosu 30 saniye sürmekte ve 750 görüntü içermektedir. Toplam 6 tane hatalı görüntü bulunmuştur. Başarı ölçümü sonucunda %99,2’lik başarı hesaplanmıştır.

3.2.3 Engelli ve Düz Yol

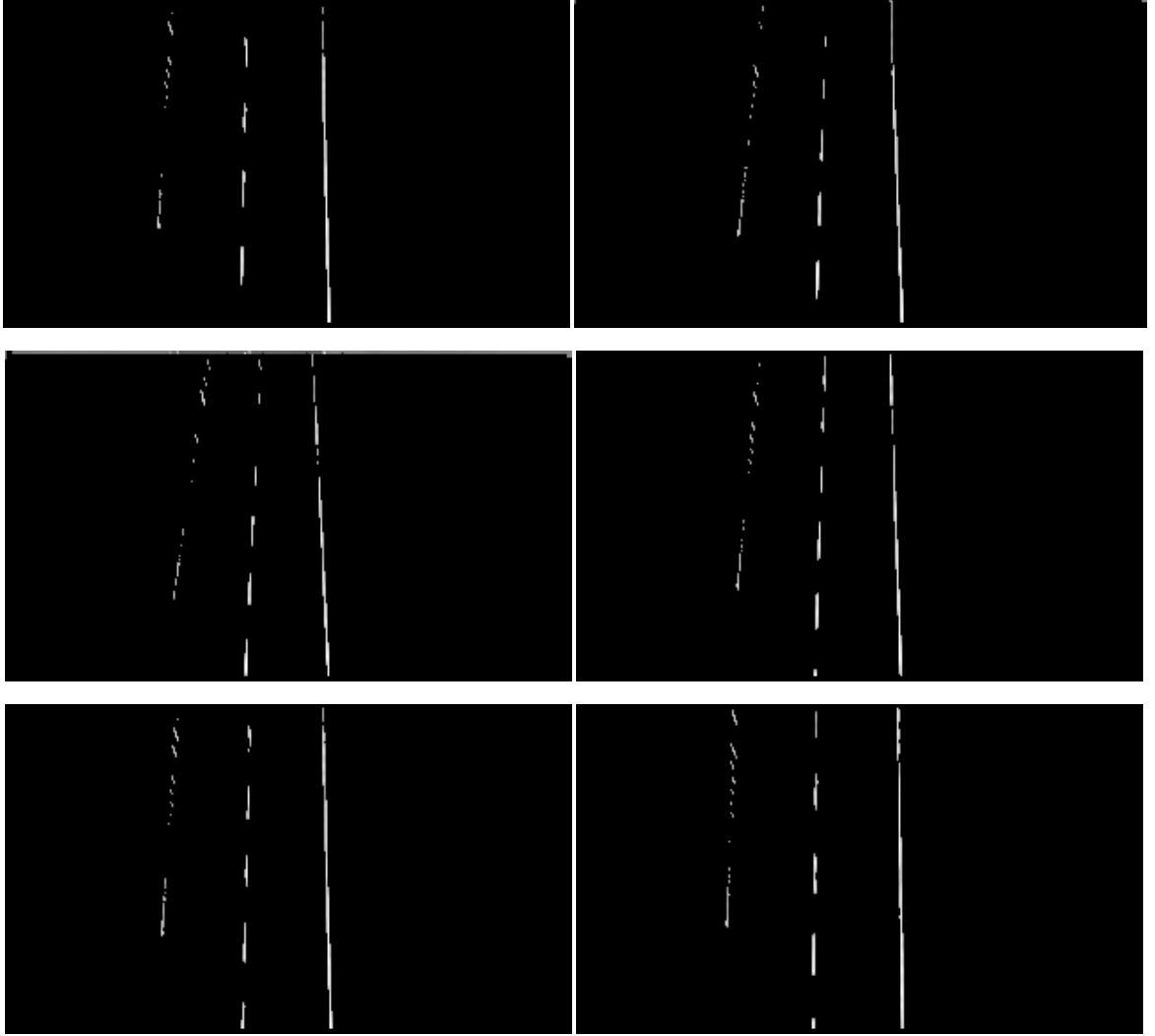
Engelli ve düz yola ait test videosunda aracın önünde başka bir aracın bulunduğu ve hız değişiminden kaynaklanan kamera açısı farklılıklarının olduğu durum test edilmiştir. İlk olarak açık renkli araç, daha sonra koyu renkli araç durumu test edilmiştir. Açık renkli araç durumunda Gabor filtresi bütün gürültüleri temizleyemediğinden aracın bazı parlak bölgelerine ait pikseller görüntüde bulunmaktadır. Ancak şerit takip sistemi sayesinde bu gürültülü bölgeler herhangi bir dezavantaj yaratmamaktadır. Şekil 3.20 ile Şekil 3.24 arasındaki görüntülerde aracın ilk kalkış anında vites aralıklarındaki ivmelenmelerden kaynaklanan kamera açısı farklılıkları görülmektedir.



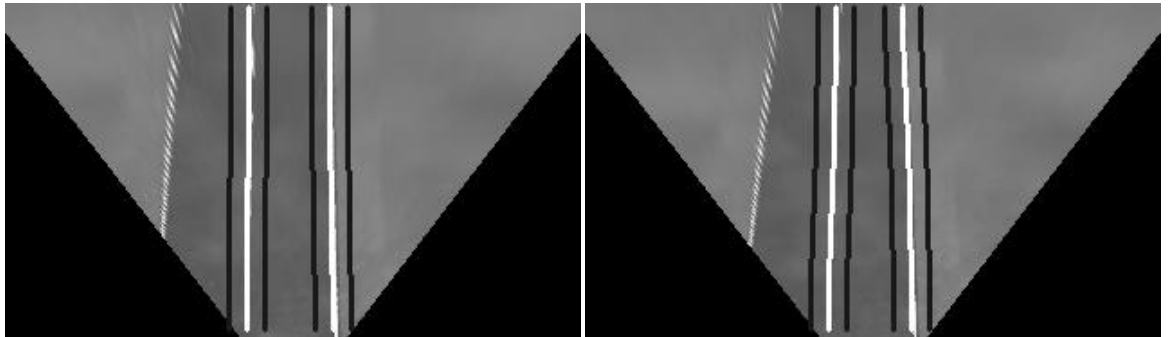
Şekil 3.20 Belirli aralıklarla ardışık giriş görüntüleri

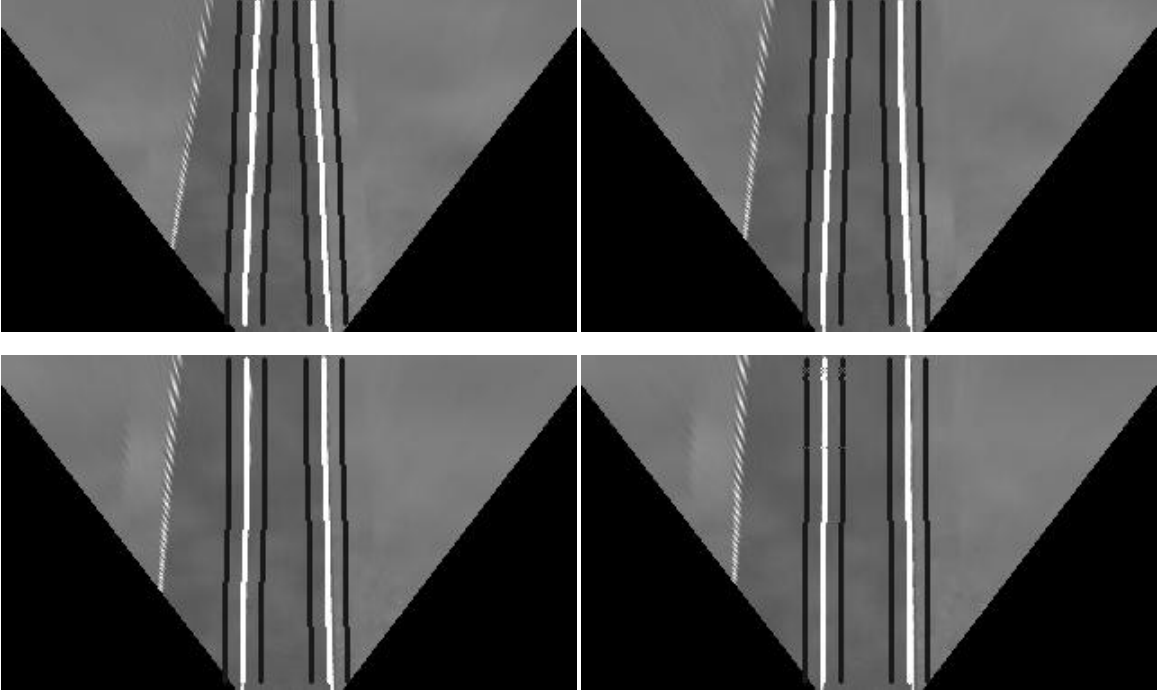
Şekil 3.20'deki perspektif görüntülerde kamera açısındaki değişim anlaşılmadığı için görüntülerde aynı koordinatlarda 3 tane kırmızı nokta çizilmiştir. Bu noktalara bakarak

kamera açısındaki değişim daha net bir şekilde algılanabilmektedir. Şekil 3.20 (c) resmindeki kırmızı noktalar yolun dışında kalırken Şekil 3.20 (f) resminde yolun üzerindedir.

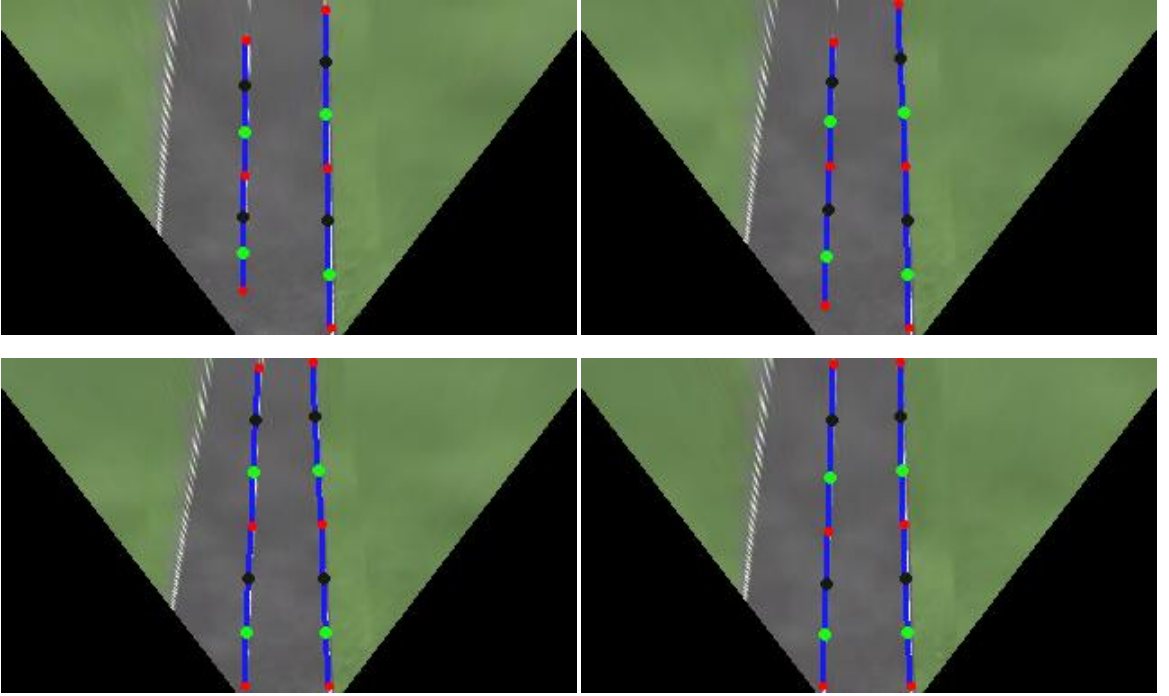


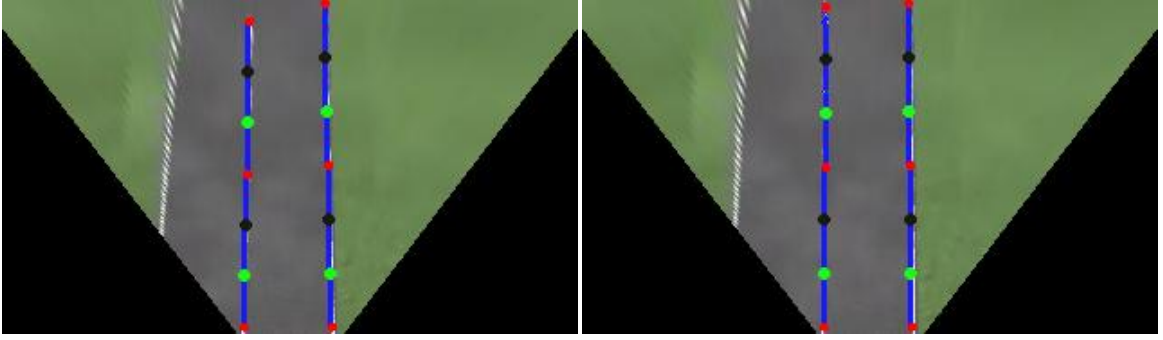
Şekil 3.21 Belirli aralıklarla ardışık Gabor ve eşiklenmiş görüntüler



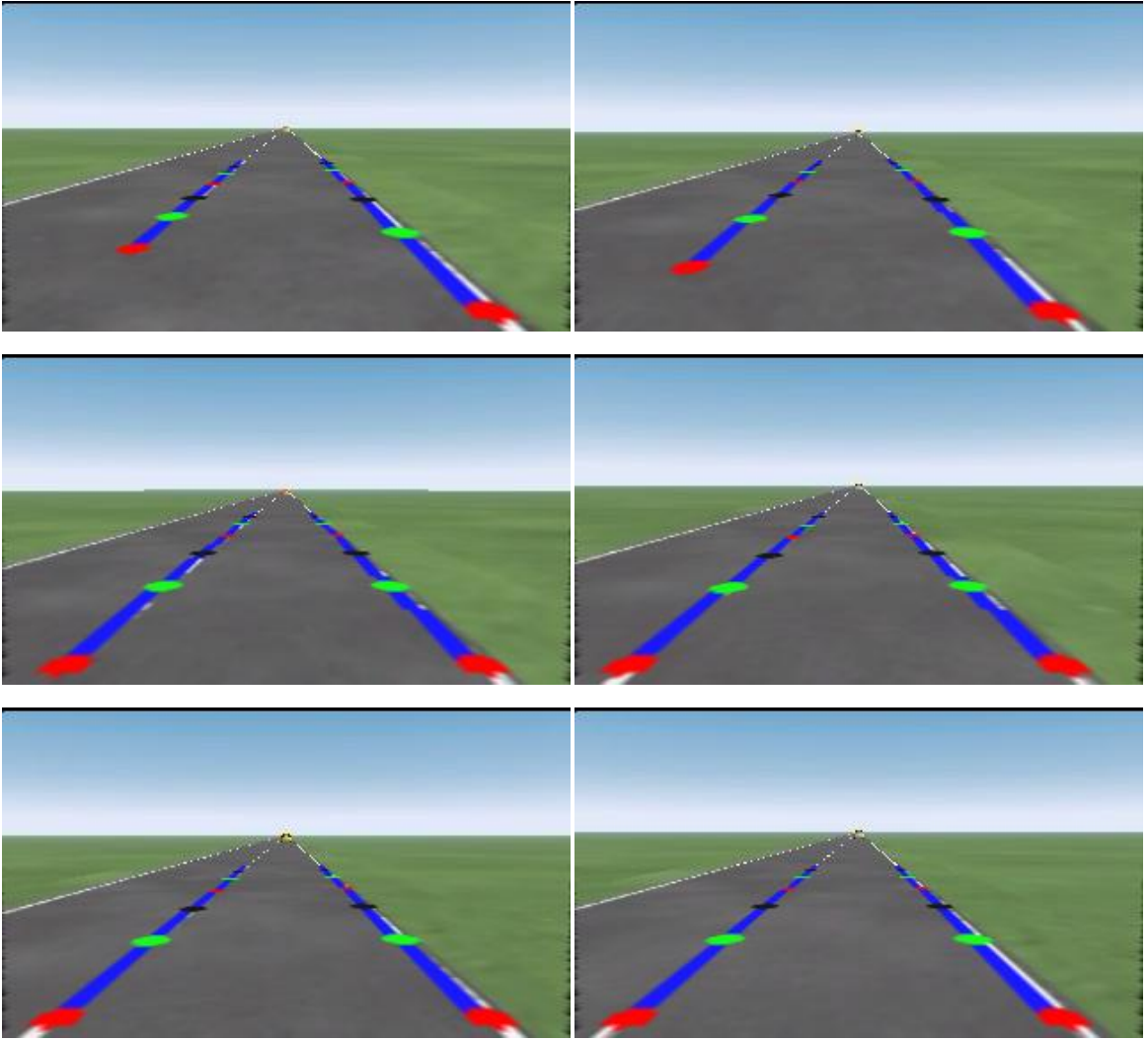


Şekil 3.22 Belirli aralıklarla ardışık şablon şeritleri



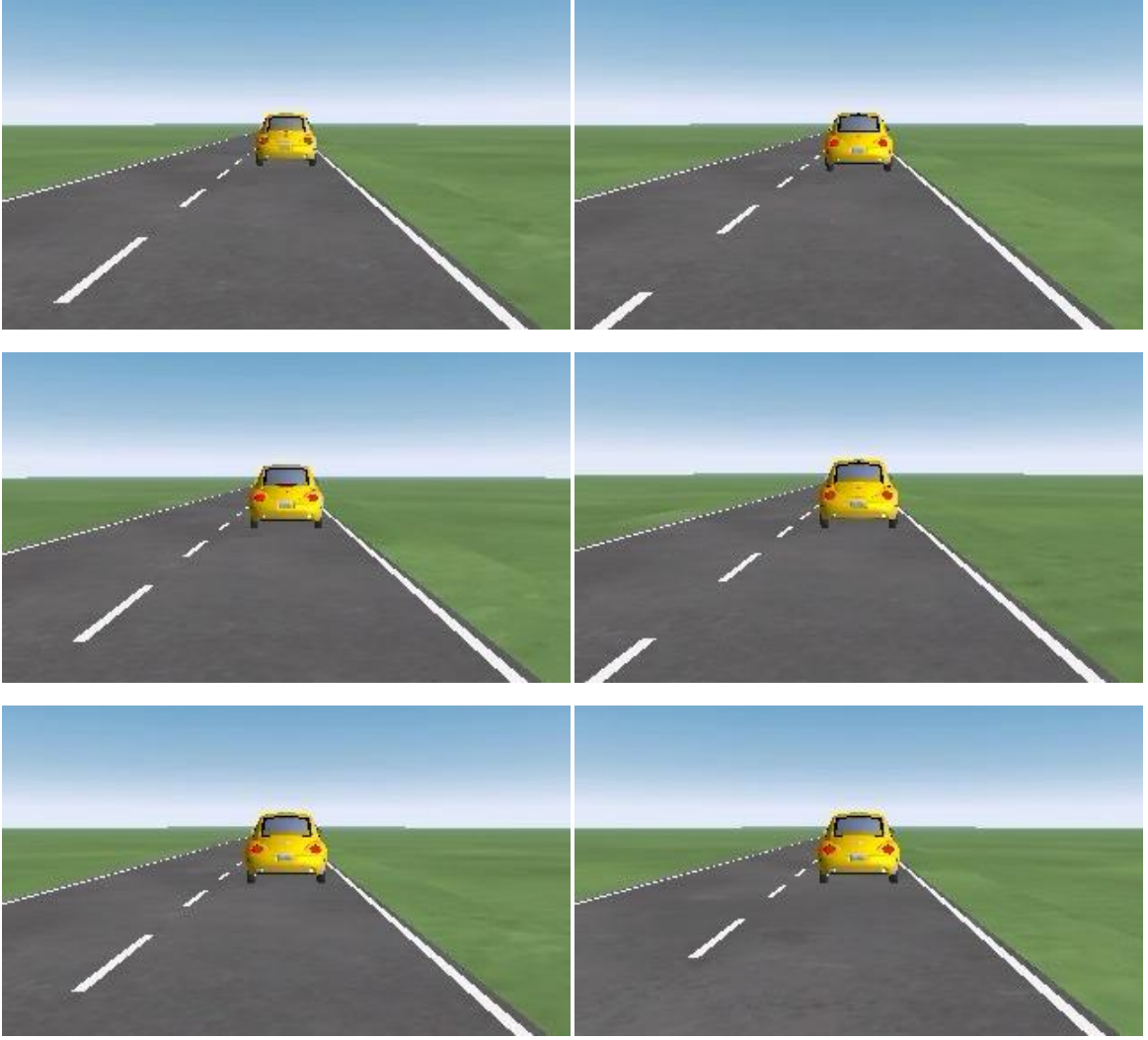


Şekil 3.23 Belirli aralıklarla ardışık görüntülerin Bezier eğri modeli sonuçları

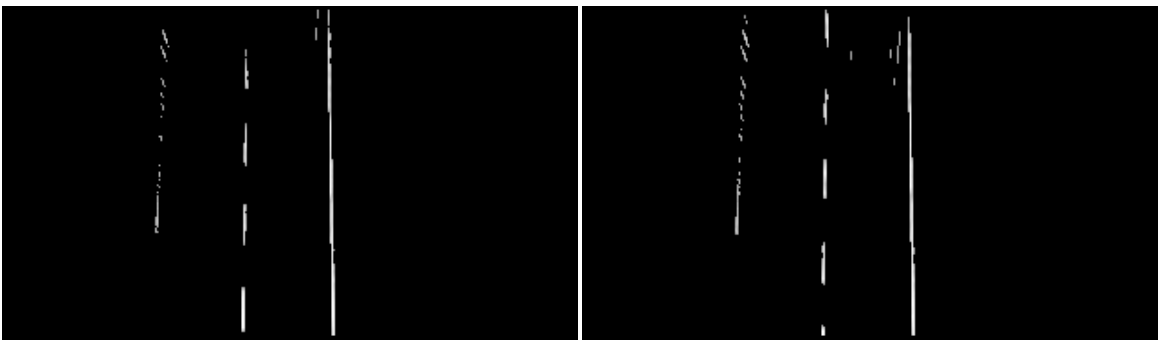


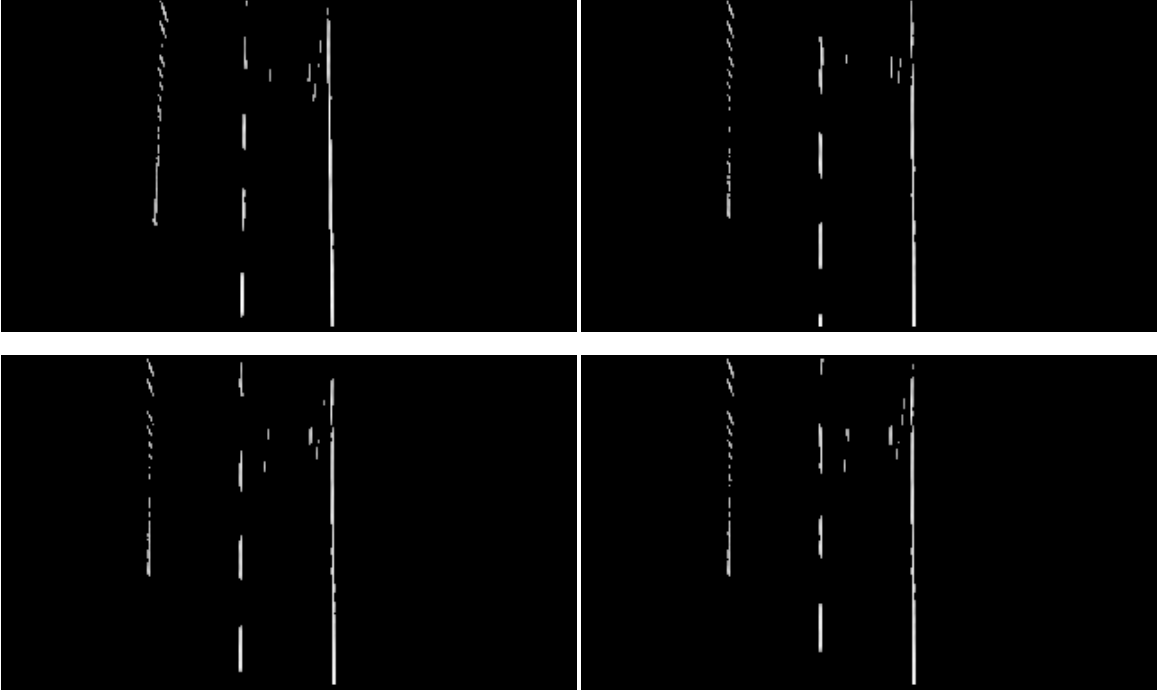
Şekil 3.24 Belirli aralıklarla ardışık görüntülerin düzeltilmiş hali

Şekil 3.25 ile Şekil 3.29 arasında yolun sonunda görüş menziline girmiş olan araç ile birlikte şerit takibi görüntüleri görülmektedir.

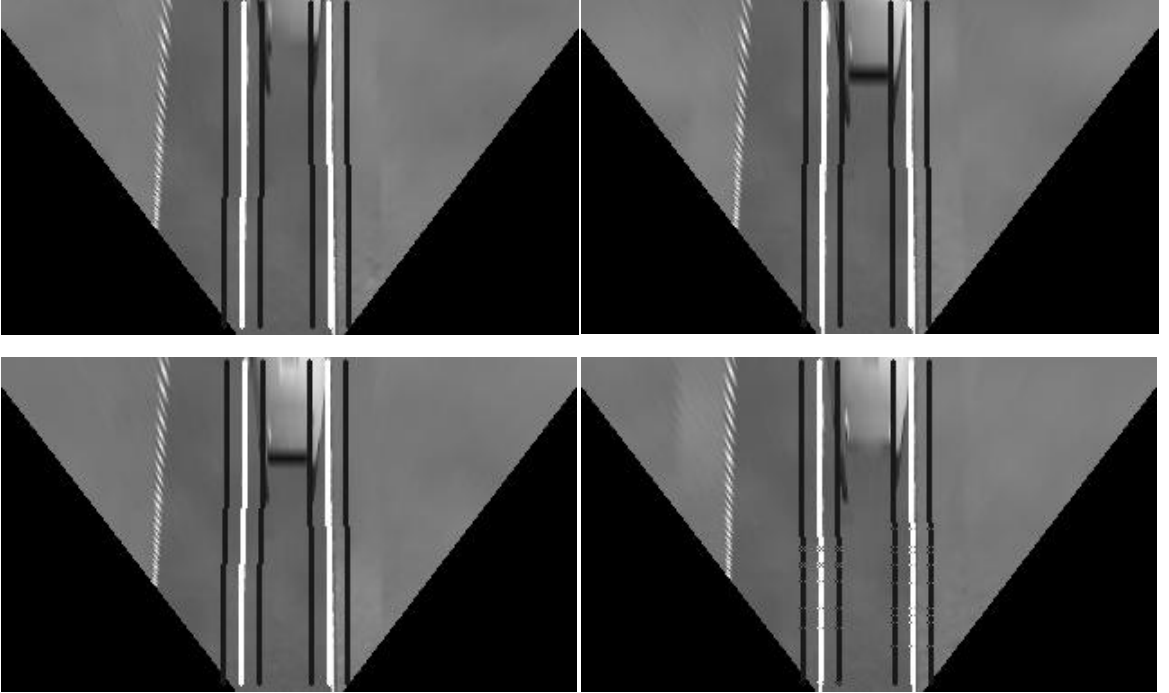


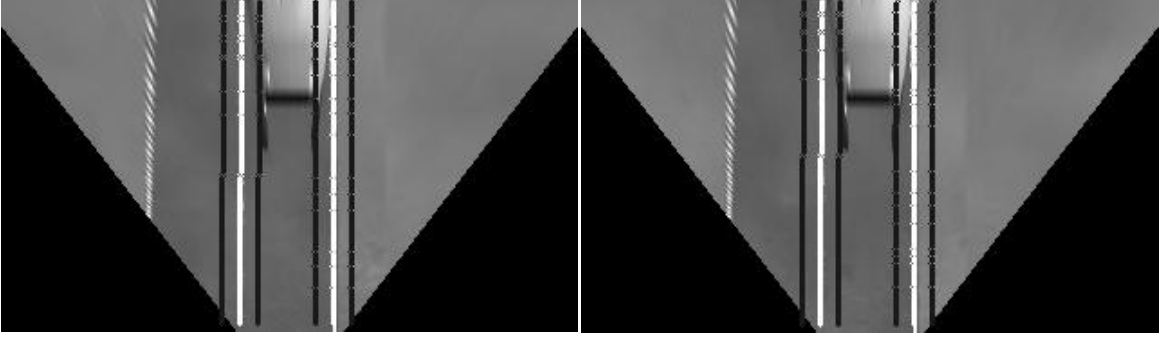
Şekil 3.25 Belirli aralıklarla ardışık altı giriş görüntüsü



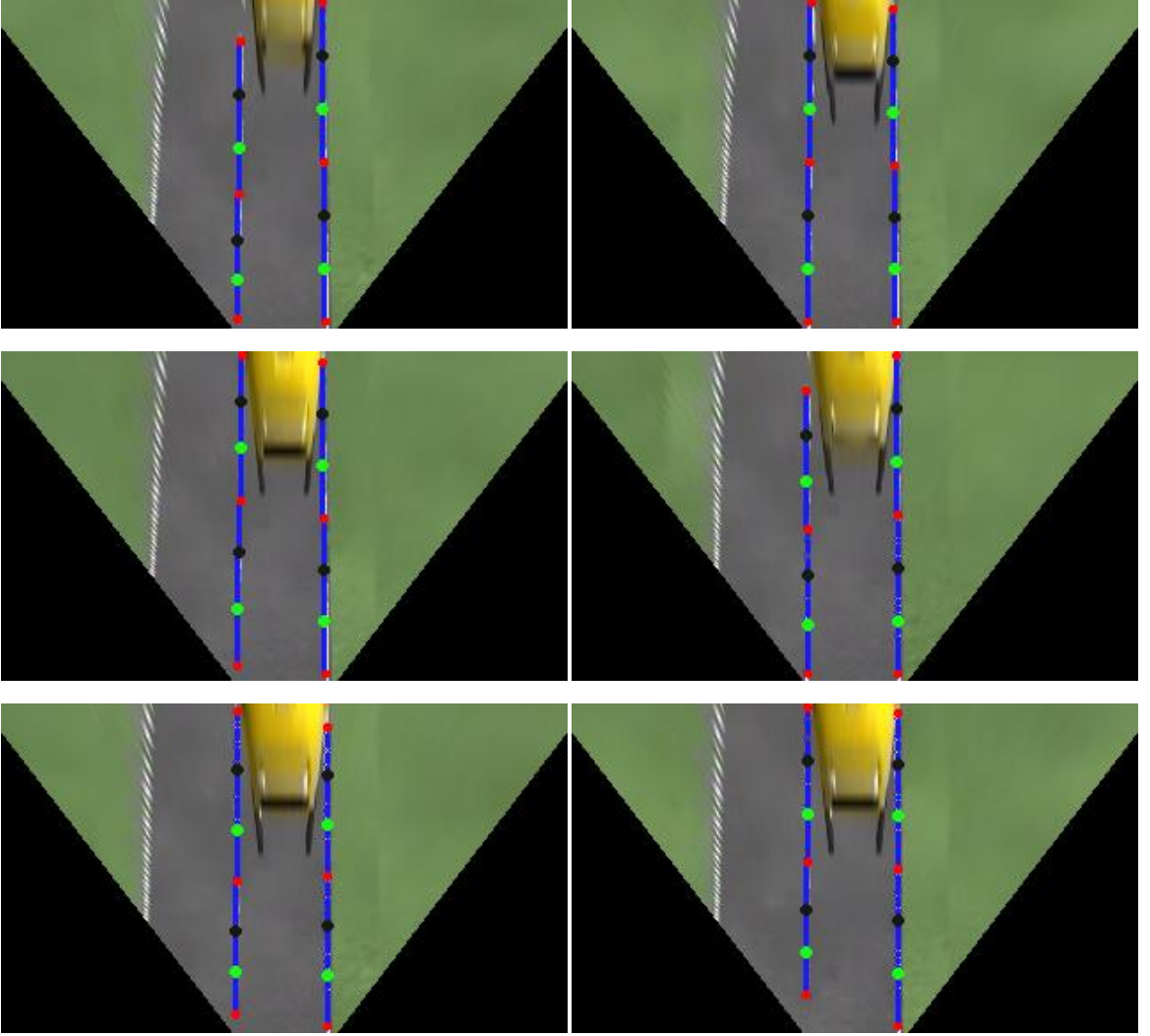


Şekil 3.26 Belirli aralıklarla ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali

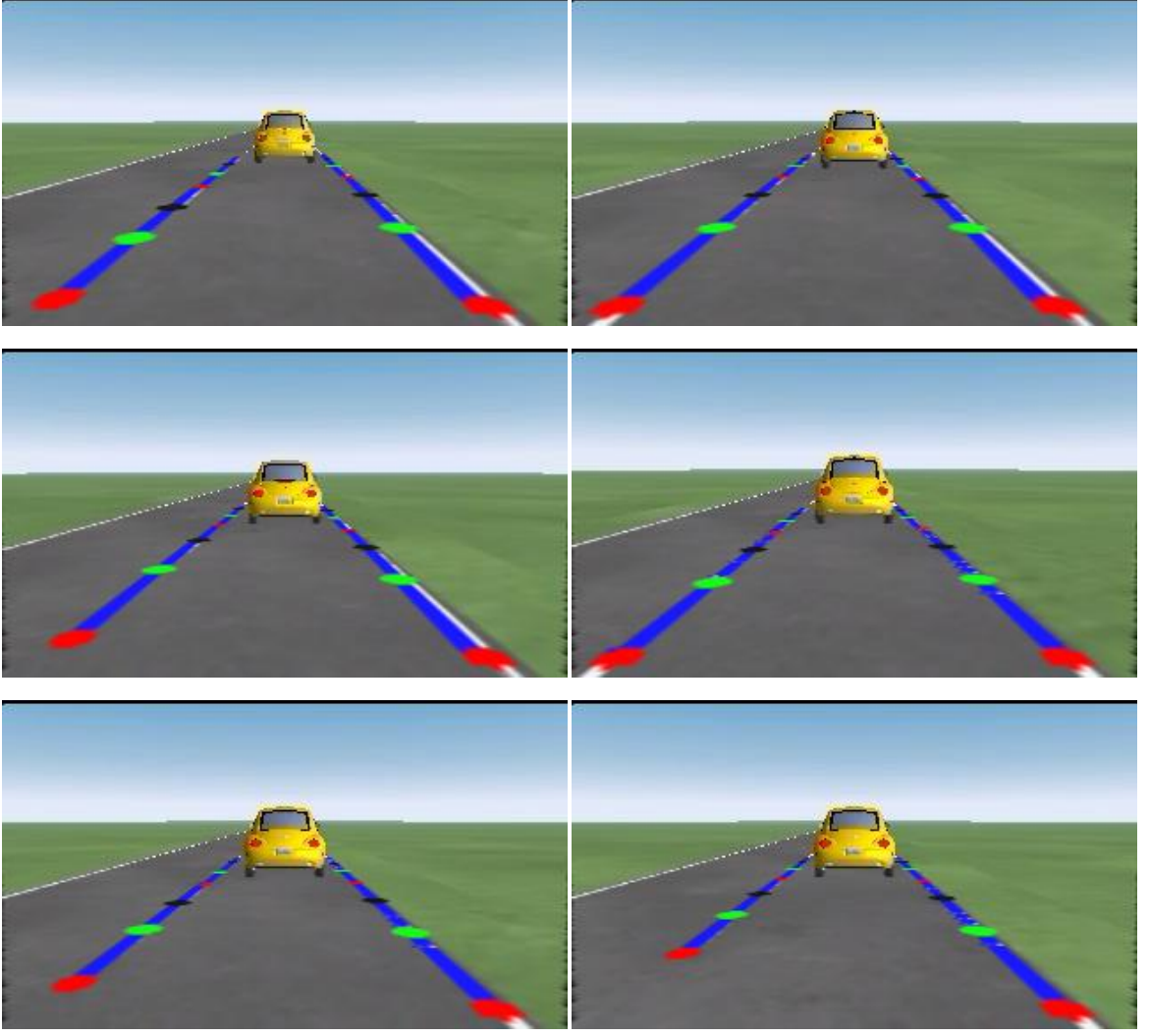




Şekil 3.27 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri



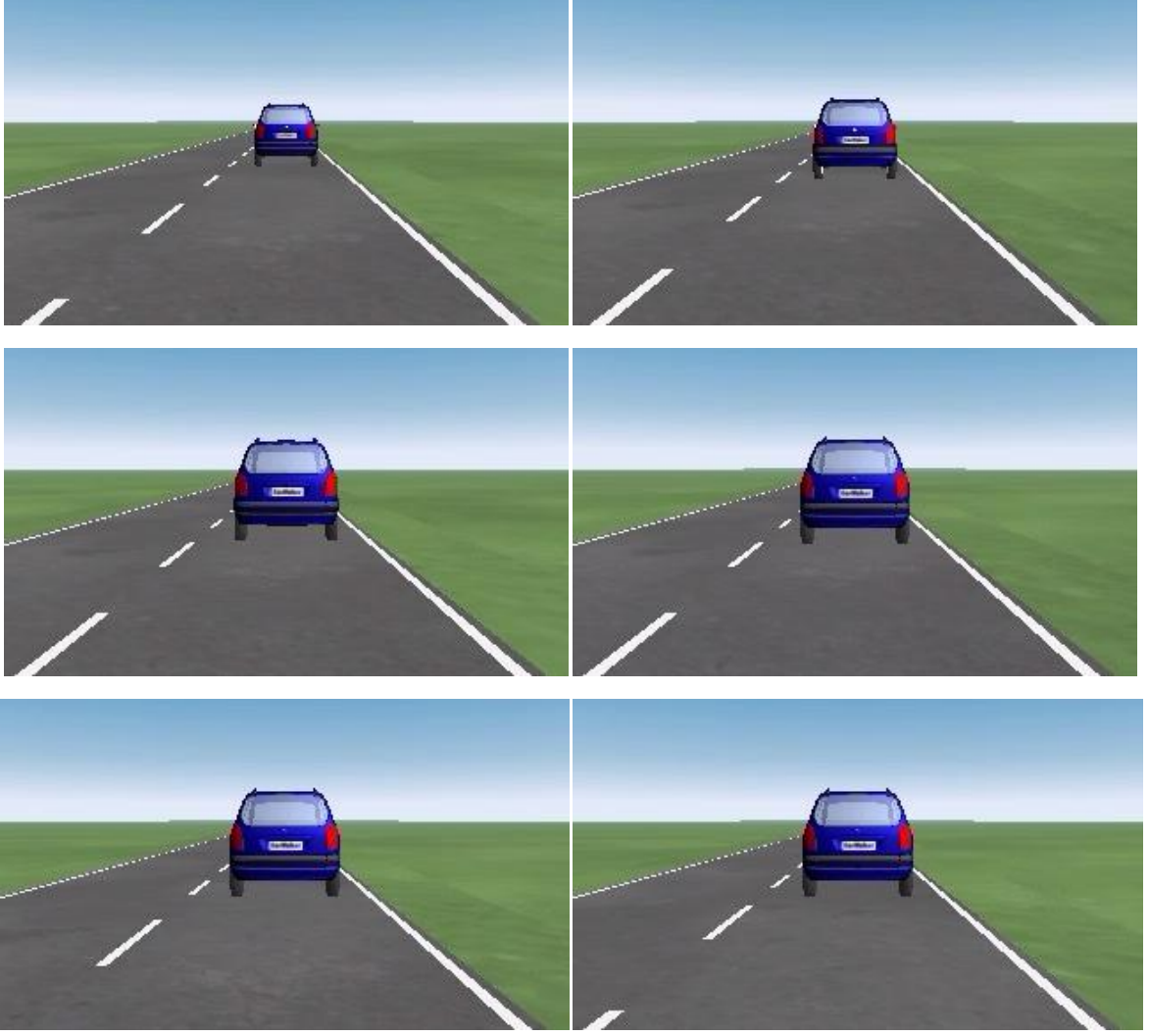
Şekil 3.28 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları



Şekil 3.29 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali

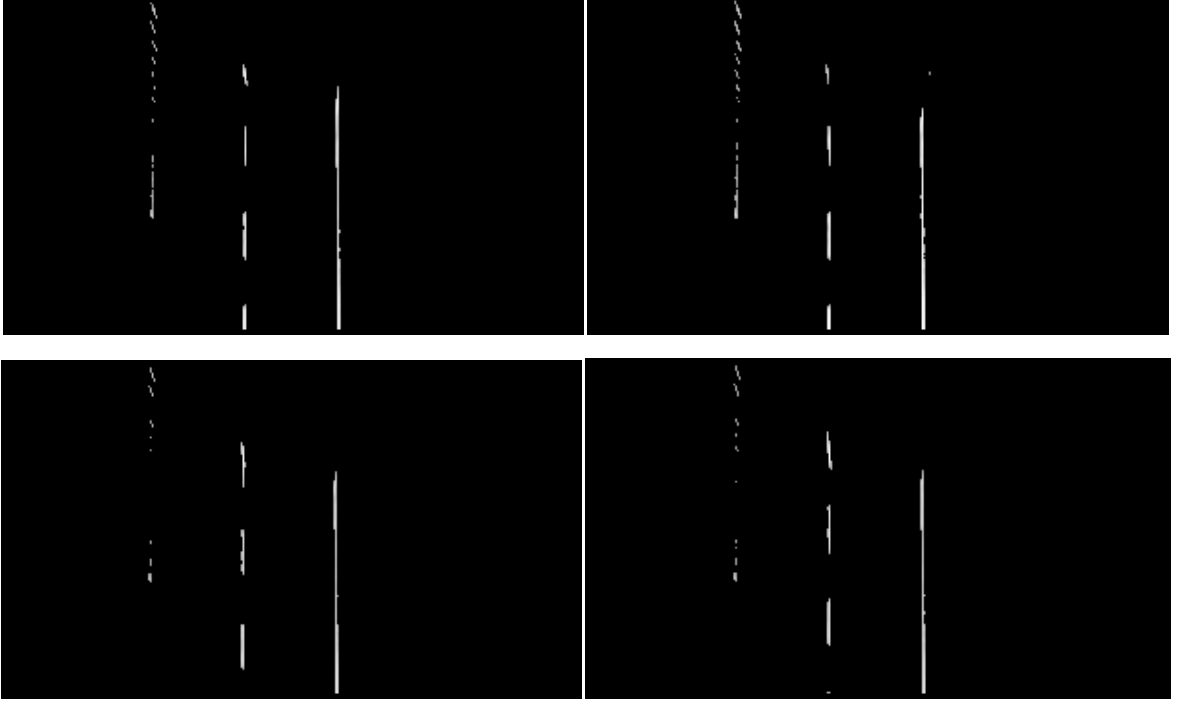
Açık renkli bir araç içeren ve kamera açısındaki farklılıkların olduğu bu test videosu 26 saniye sürmekte olup 650 görüntü içermektedir. Bütün görüntülerdeki trafik şeritleri doğru şekilde tespit edilmiştir. Başarı ölçümü sonucunda %100'lük başarı hesaplanmıştır.

Test için kullanılan bir diğer videoda, bir öncekine benzer şekilde düz yol bulunmakta ve görüş menzili içerisinde bir araç içermektedir. Bu videodaki araç koyu renkli seçilmiştir ve görüntüdeki gürültülerin azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak aracın genişliği fazla olduğundan şeridin bir bölümüne ait olan özellik noktaları silinmektedir. Şekil 3.30 ile Şekil 3.34 arasındaki resimlerde şerit tespit ve takip sisteminin sonuçları gösterilmektedir.

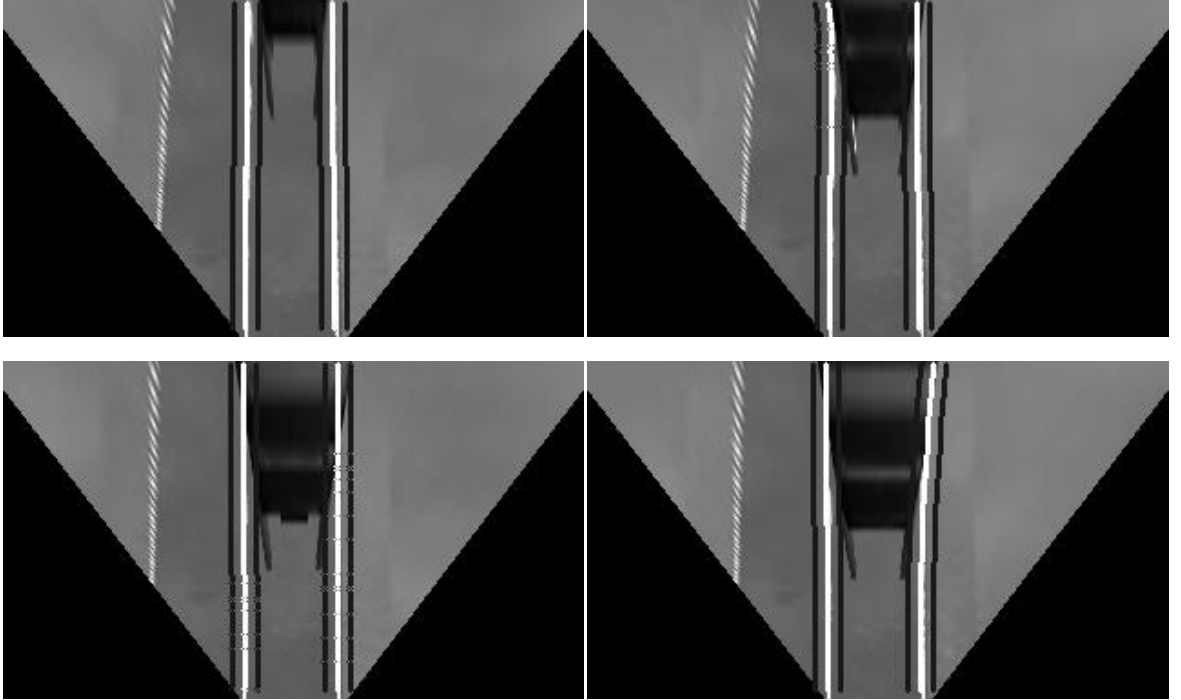


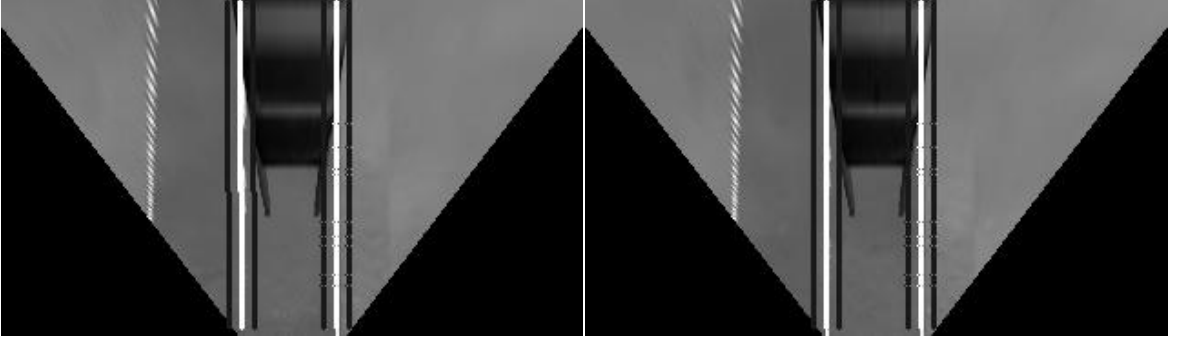
Şekil 3.30 Yirmişer ardışık altı giriş görüntüsü



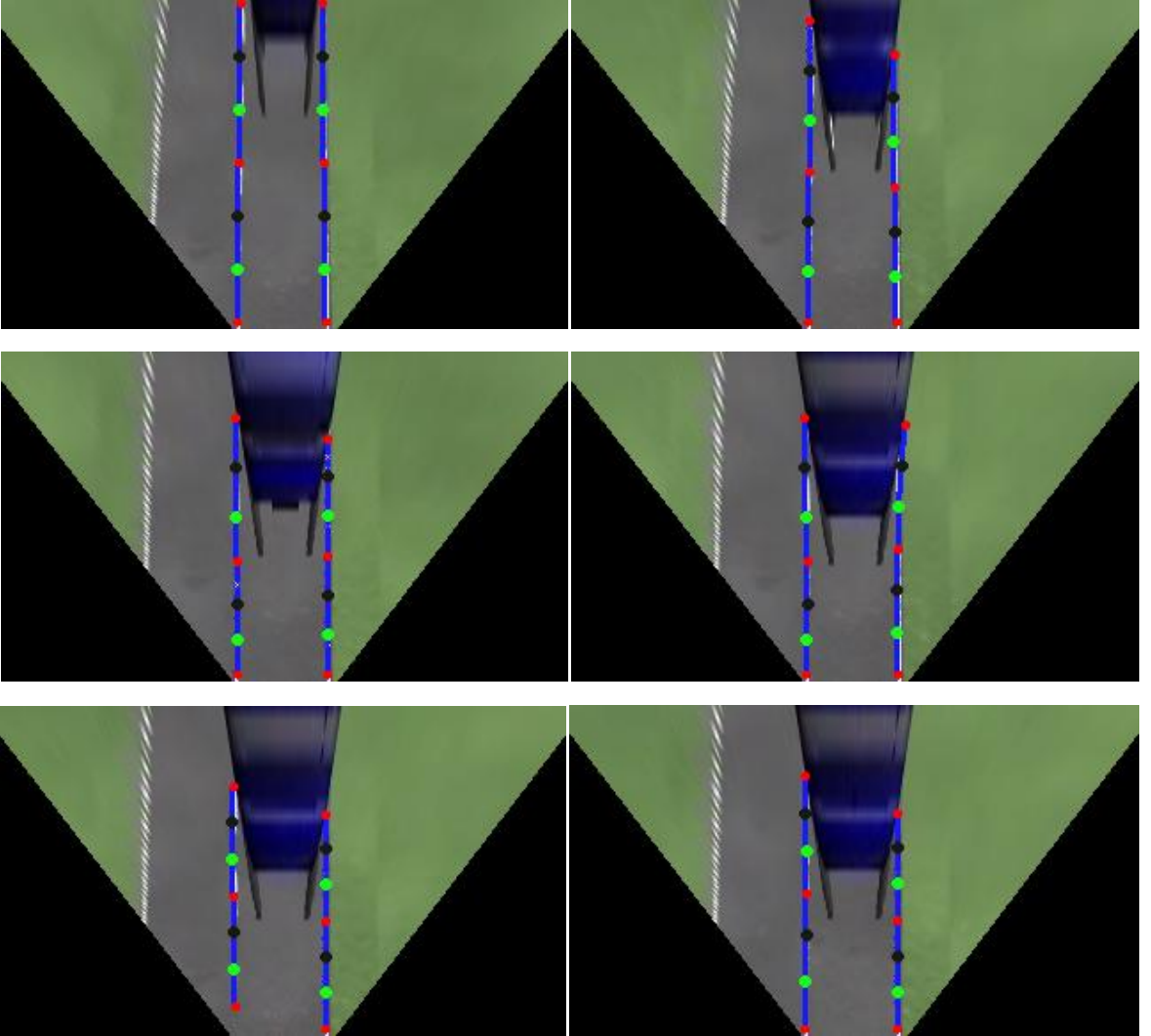


Şekil 3.31 Yirmiştir ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali

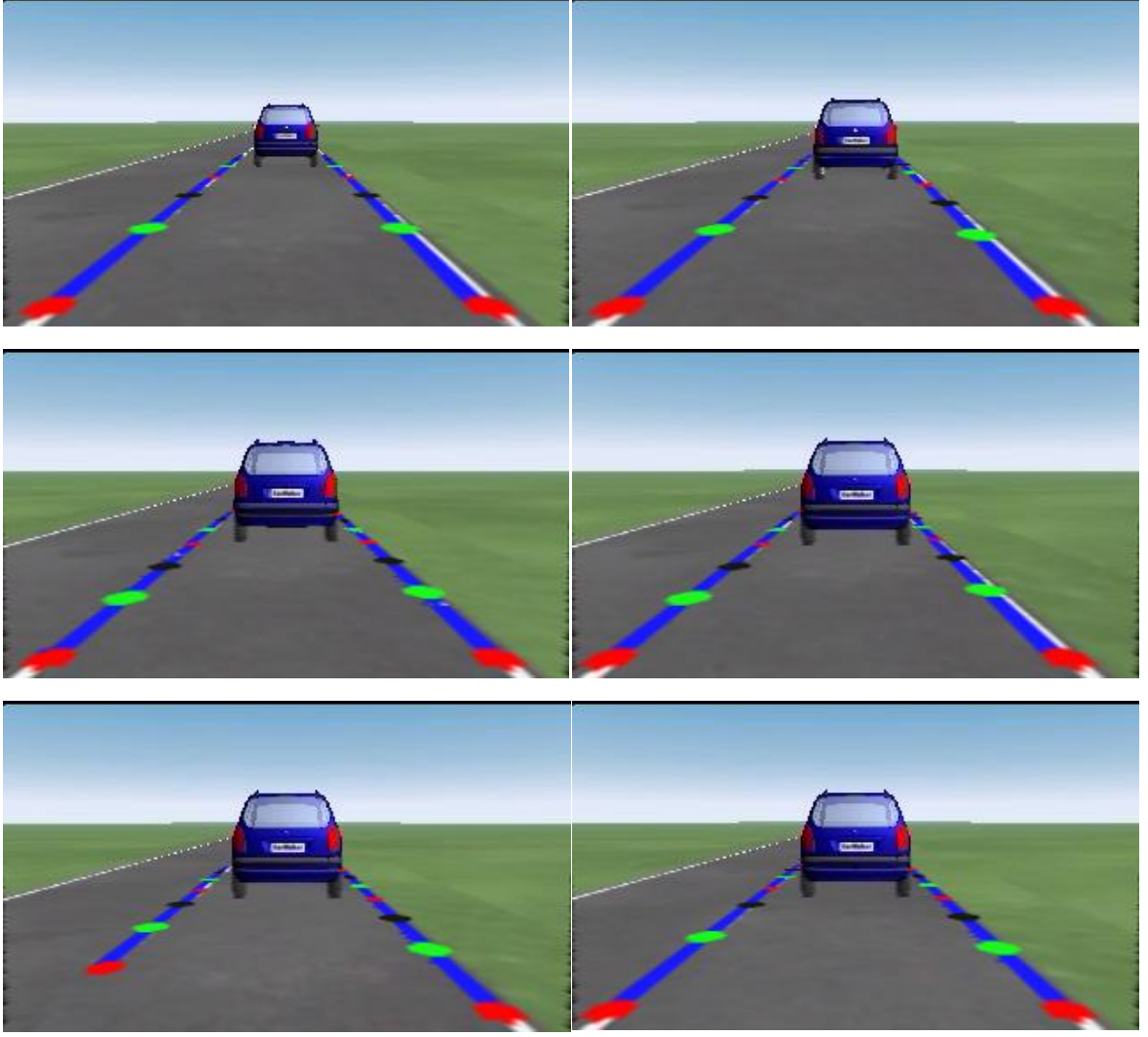




Şekil 3.32 Yirmişer ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri



Şekil 3.33 Yirmişer ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları

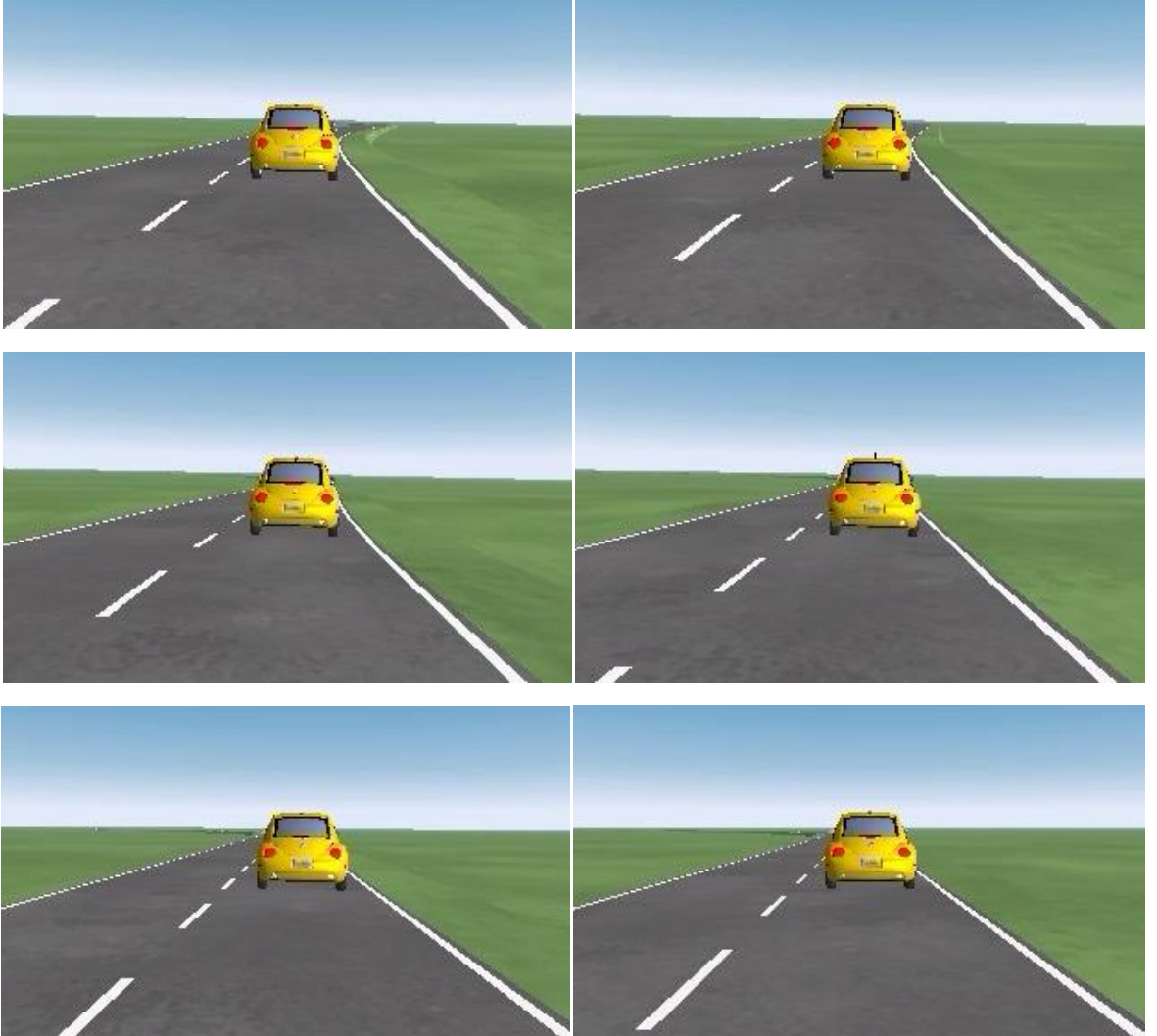


Şekil 3.34 Yirmişer ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali

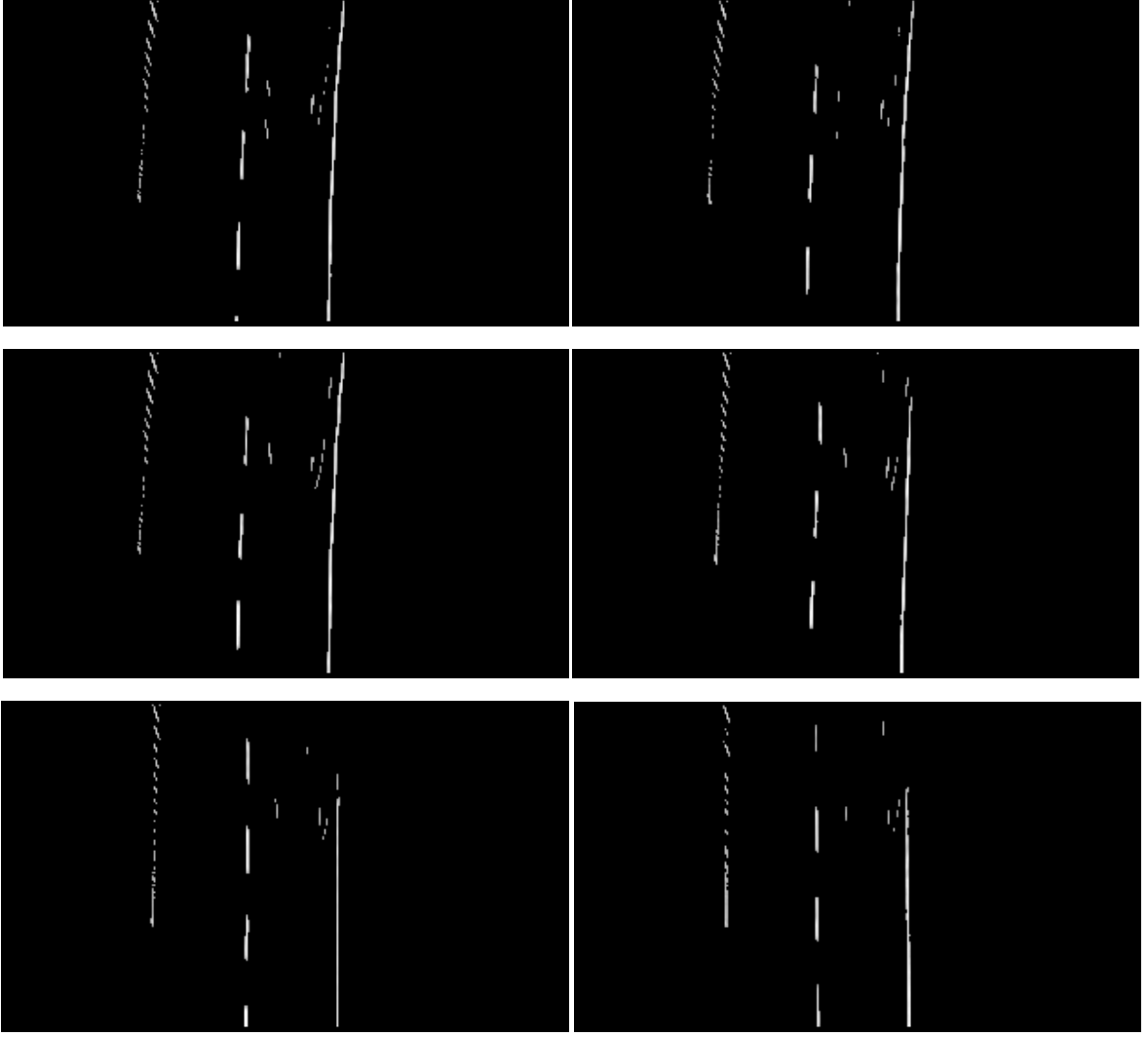
Özellikle Gabor ve eşikleme işlemi uygulanmış görüntülerden anlaşıldığı gibi aracın kapattığı yerlerdeki özellik noktaları silinmektedir. Ancak geriye kalan noktalar da şeritlerin tespit edilmesi için yeterli koşulu sağlamaktadır. Şekil 3.31(d) ve Şekil 3.33(d) resimlerine birlikte bakıldığında sağ şeridin üst noktasının birkaç piksel sağa kaymış olduğu görülmektedir. Bu nokta, aracın üzerindeki parlak bir pikselden oluşmaktadır ve şerit ölçme başarısı %15 eşiğinin altına düşmediği için başarılı sayılmaktadır. Zaten bir sonraki görüntüde bu sapma hemen düzeltilmektedir. Video görüntü işlemede bir saniyede 25-30 görüntü işlendiğinden bu tarz sapmalar sorun teşkil etmemektedir. Bu test videosu 26 saniye sürmekte olup 650 görüntü içermektedir. Bütün görüntülerdeki trafik şeritleri doğru şekilde tespit edilmiştir. Başarı ölçümü sonucunda %100'lük başarı hesaplanmıştır.

3.2.4 Engelli ve Virajlı Yol

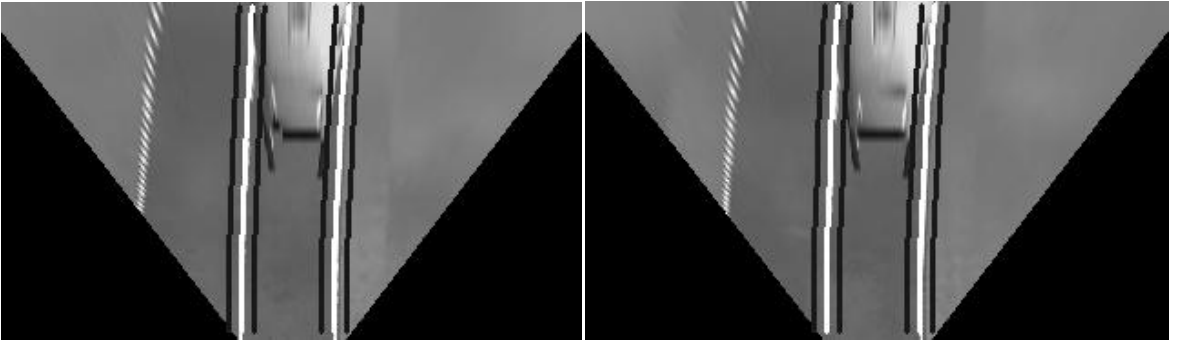
Virajlı yolda görüş menzili içerisinde bir araç bulunduğunda virajın yönüne göre dışta kalan şeridin üzerindeki özellik noktaları kaybolmakta ve aracın üzerindeki özellik noktaları ortaya çıkmaktadır. Bu test videosunda bulunan yoldaki viraj önce sağa sonra sola doğru yönelmektedir. Şekil 3.35 ile Şekil 3.44 arasındaki resimlerde şerit tespit ve takip sisteminin sonuçları gösterilmektedir. Şekil 3.35 ile Şekil 3.39 arasındaki görüntülerde virajdan düz yola geçiş süreci görülmektedir. Yol sağa dönmekte ve engel araç yolun soluna daha yakın bulunmaktadır. Bu yüzden sol şeridin uç kısmında özellik kayıpları olmaktadır. Düz yola geçildiğinde ise engel araç sağ şeride yaklaştığından sağ şeritte özellik kayıpları vardır.

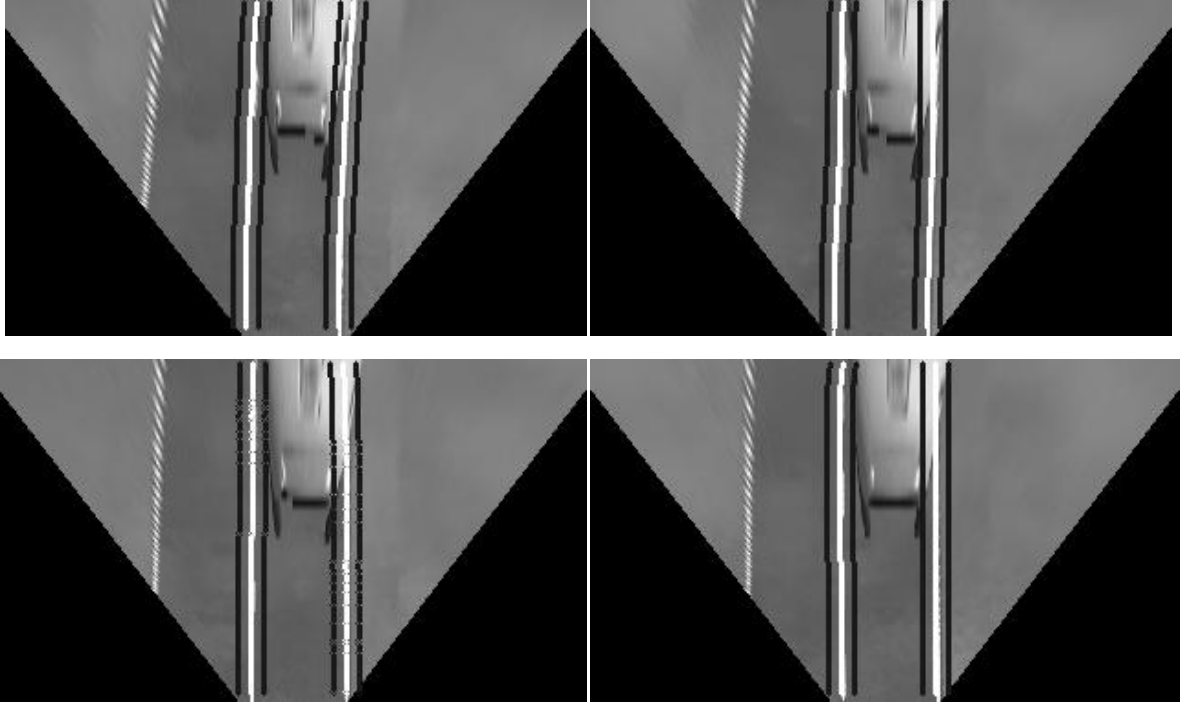


Şekil 3.35 Belirli aralıklarla ardışık altı giriş görüntüsü

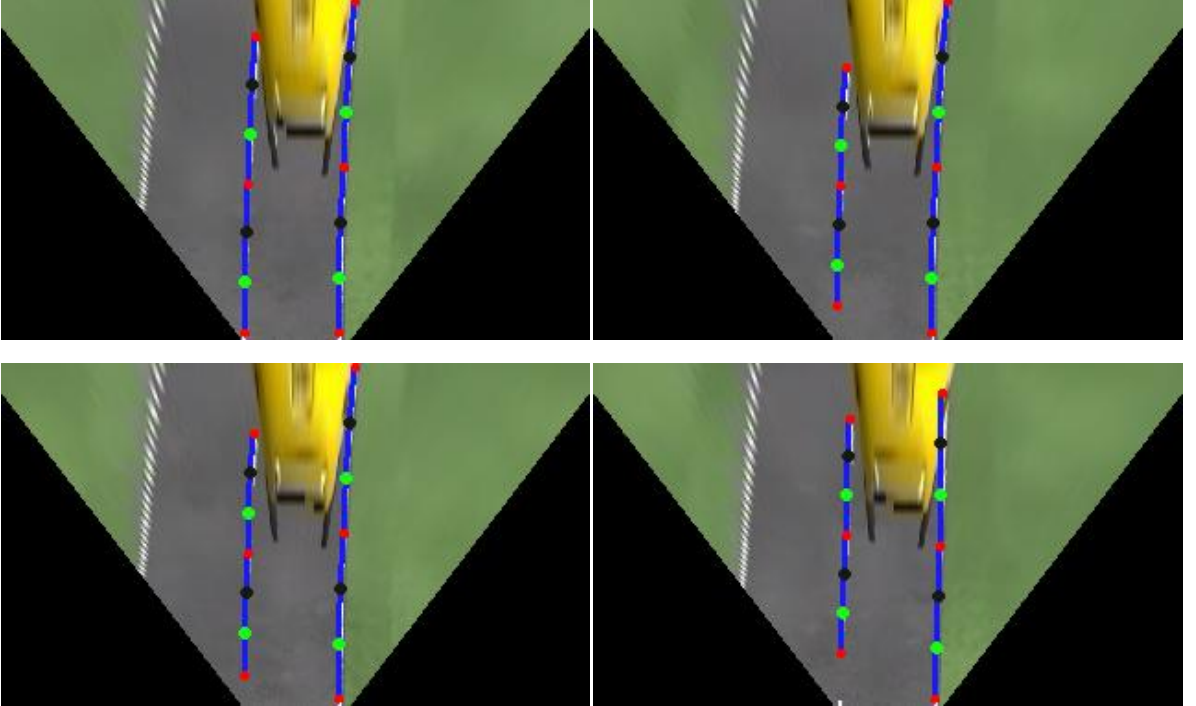


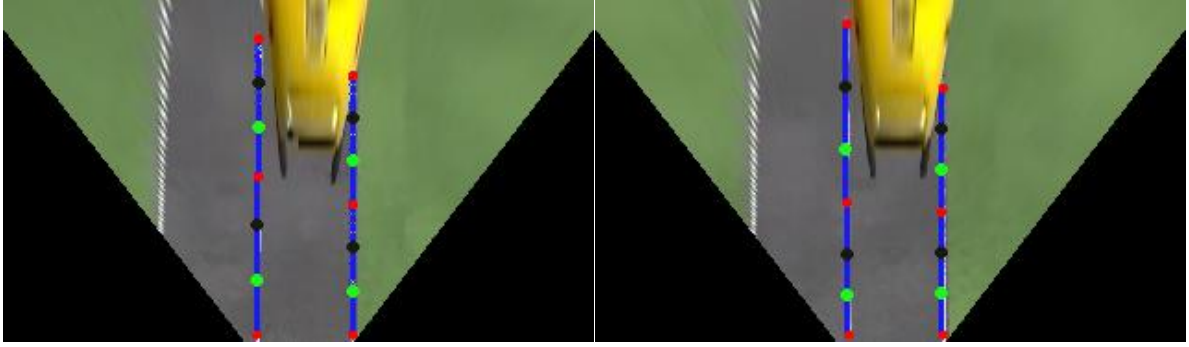
Şekil 3.36 Belirli aralıklarla ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali



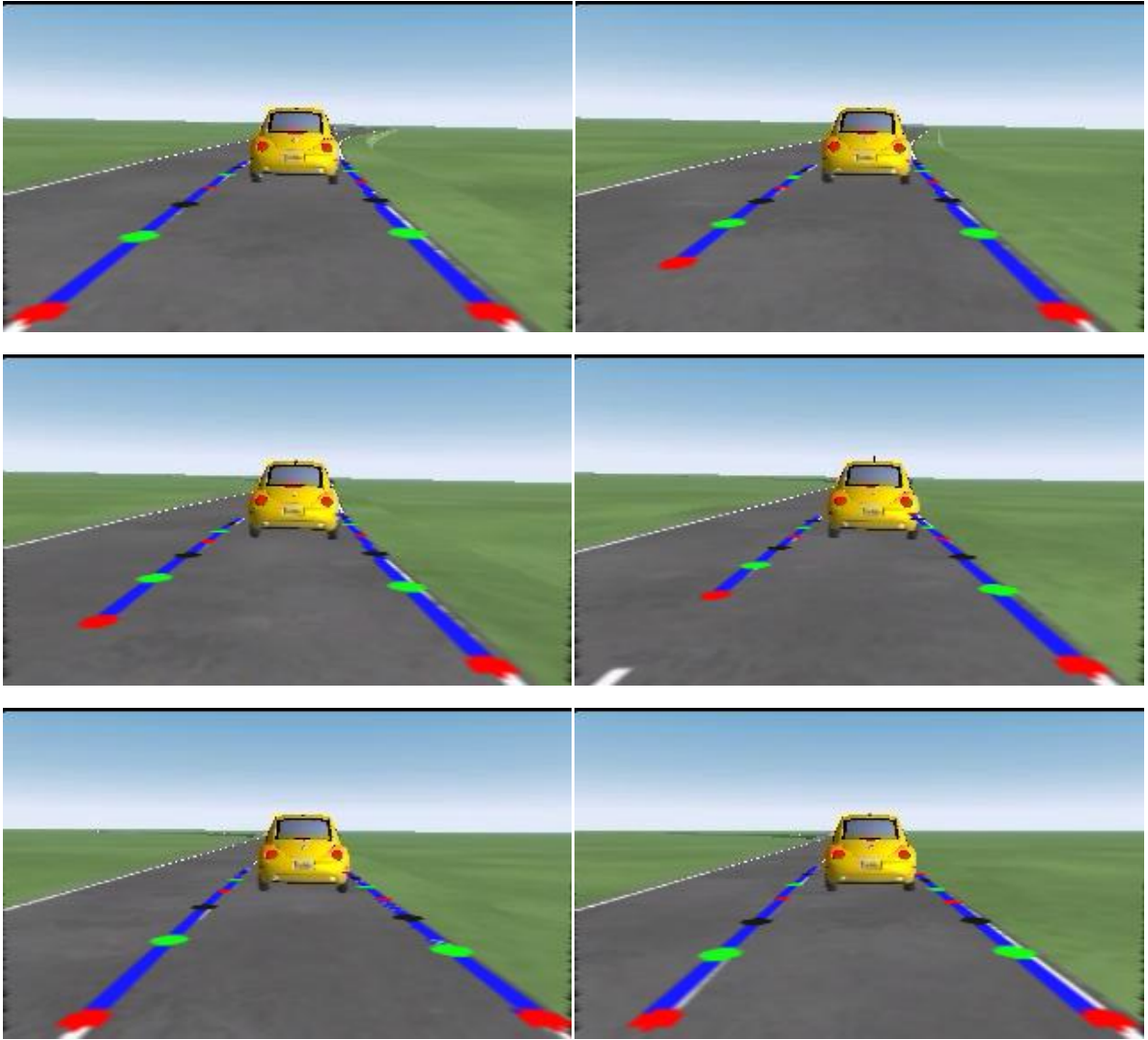


Şekil 3.37 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri





Şekil 3.38 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları

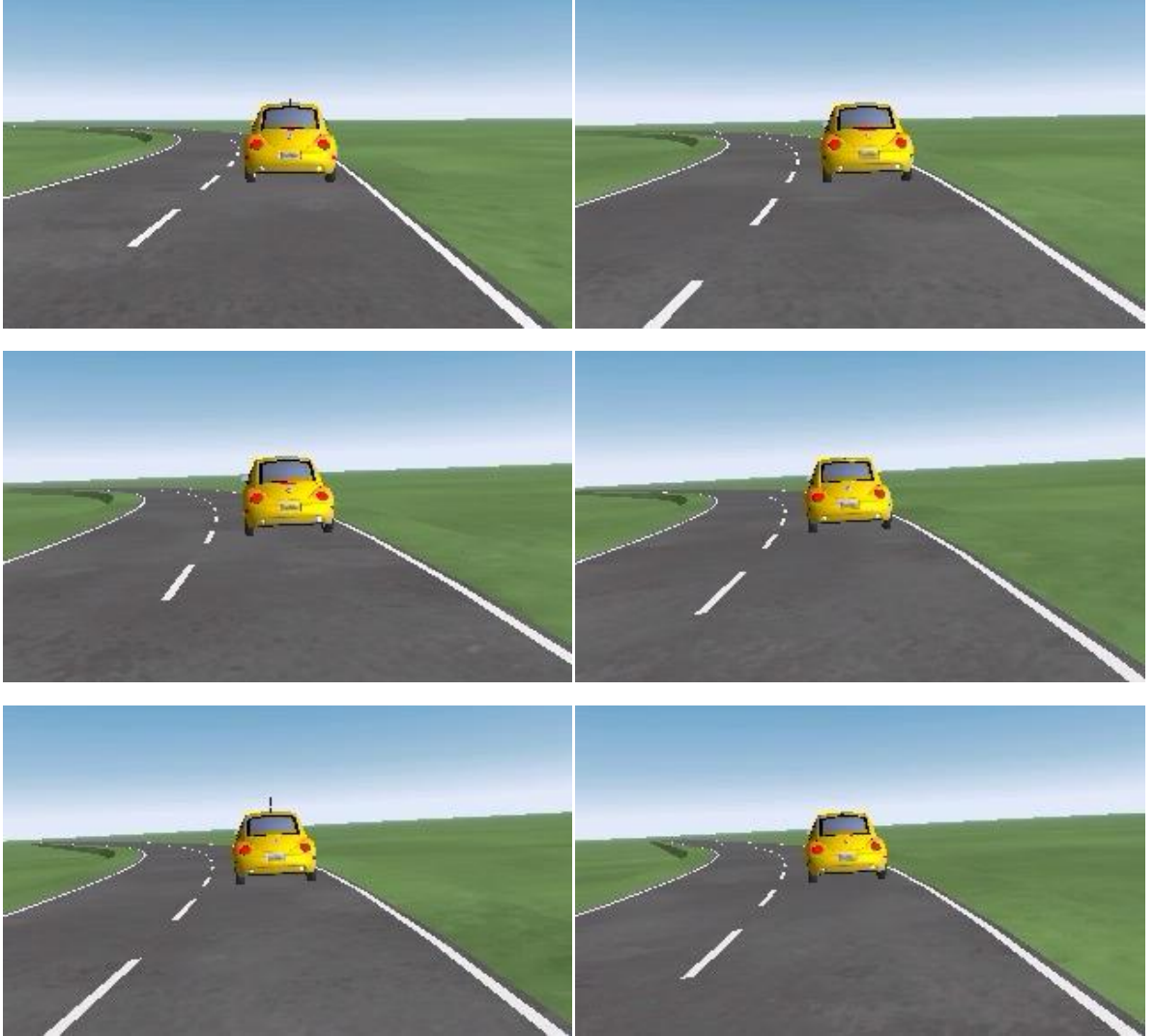


Şekil 3.39 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali

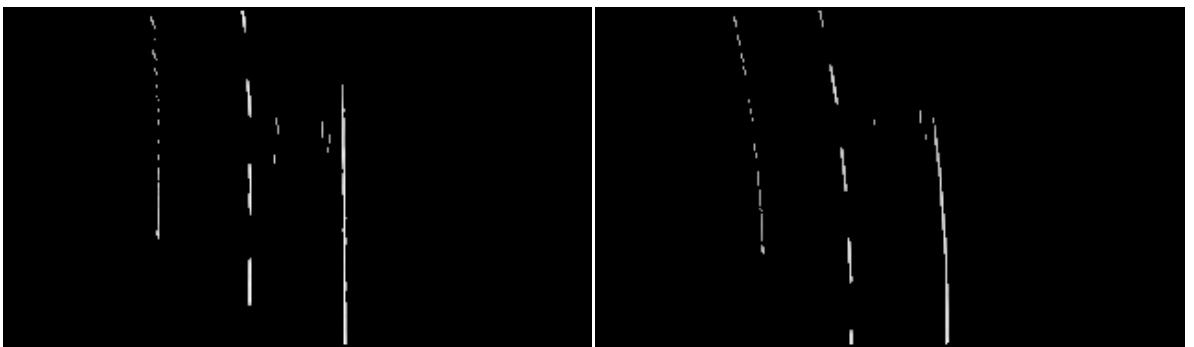
Şekil 3.36(d) ve Şekil 3.38(d) resimlerinde görüldüğü gibi sağ şeridin üst ucu engel aracın üzerindeki bir noktaya kaymıştır. Ancak bu kayma çok küçük olduğundan skor fonksiyonundan geçerek başarılı sayılmıştır. Şekillerden de görüleceği gibi şeritlerin genel

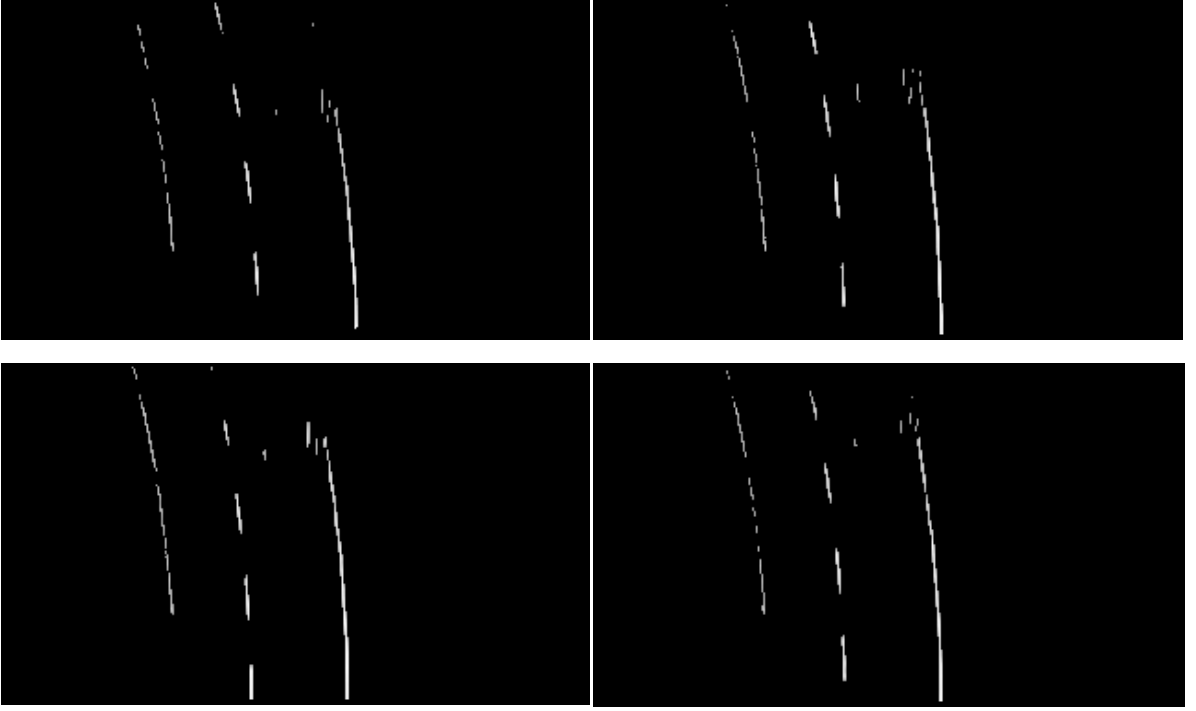
yapısını etkileyecek bir kayma bulunmamaktadır.

Şekil 3.40 ile Şekil 3.44 arasındaki görüntülerde sola doğru orta keskinlikte virajlı bir yol ve görüş menziline engel araç görünmektedir. Bu görüntülerde sağ şeritteki özellik kayıpları daha net bir şekilde görülmektedir.

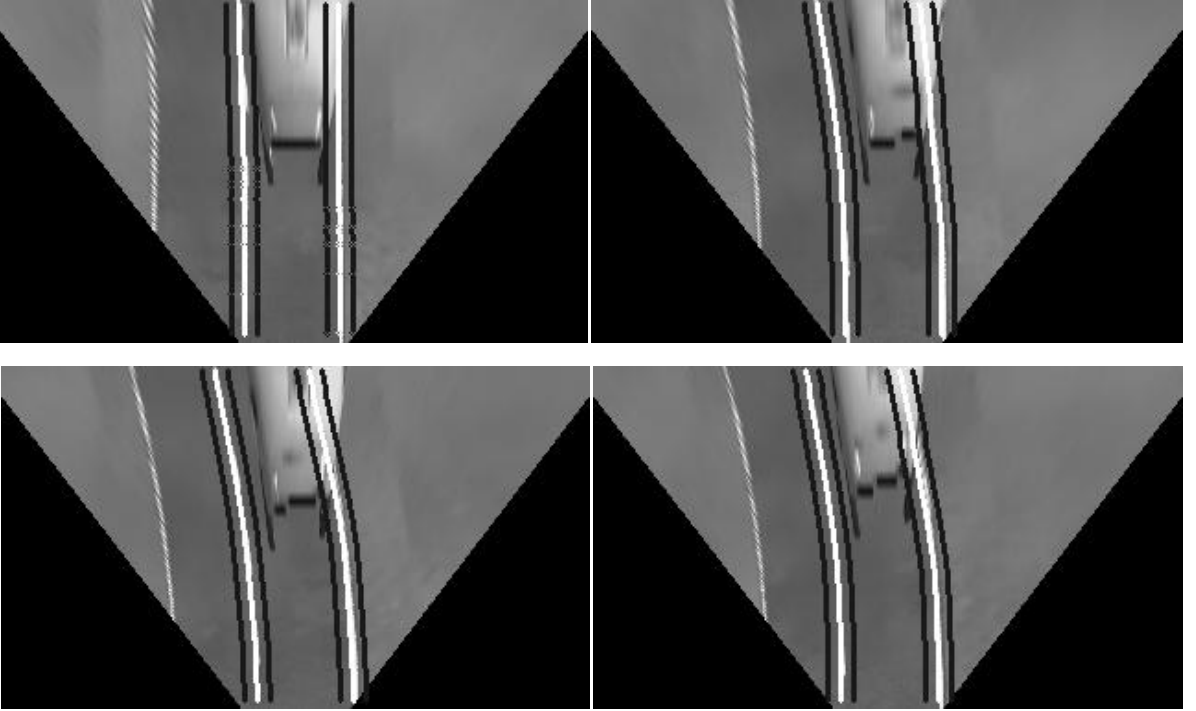


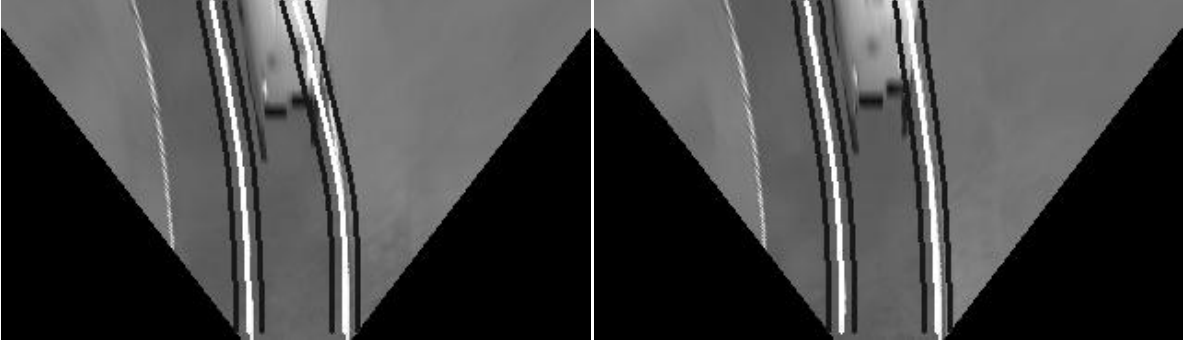
Şekil 3.40 Belirli aralıklarla ardışık altı giriş görüntüsü



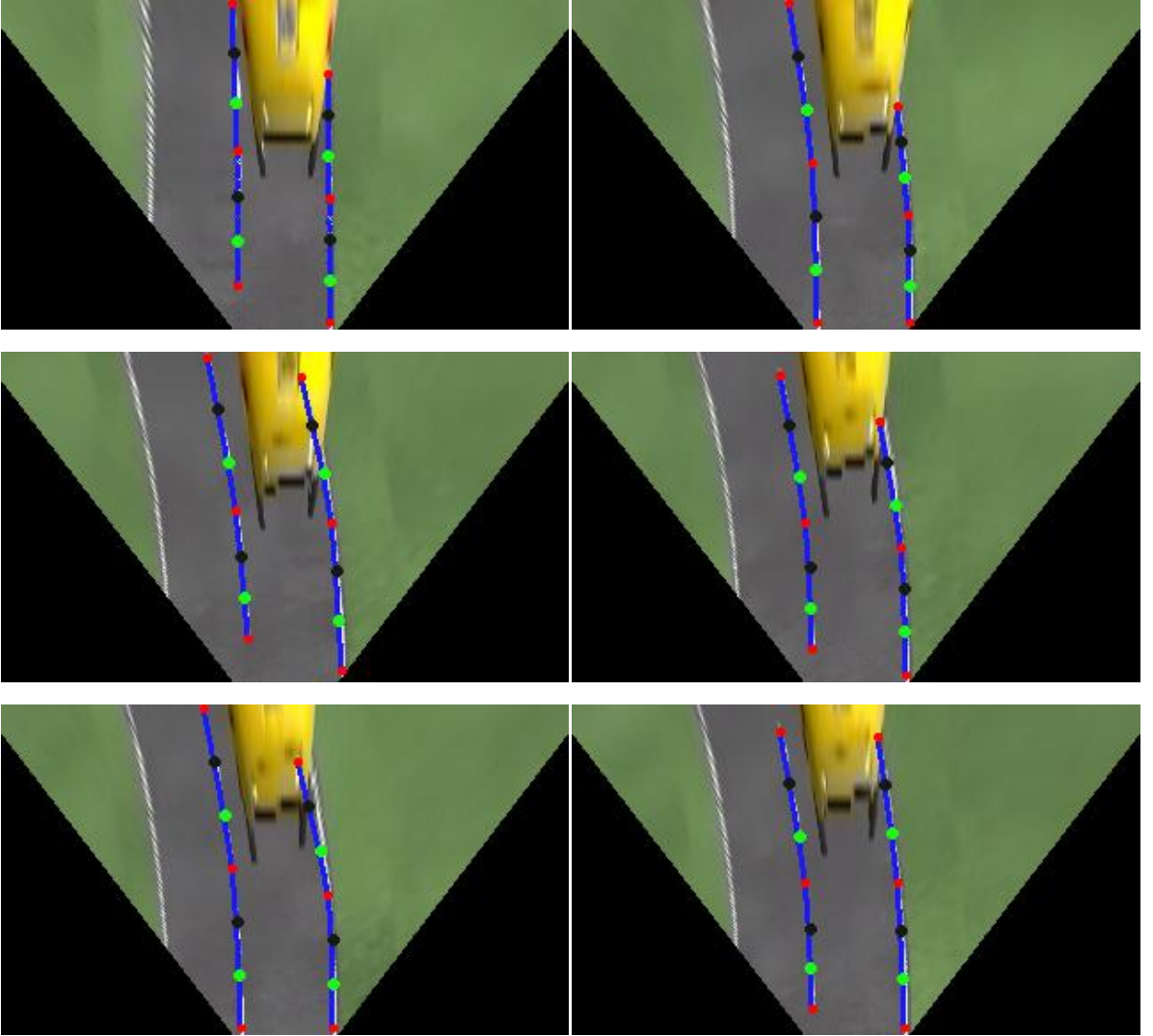


Şekil 3.41 Belirli aralıklarla ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali

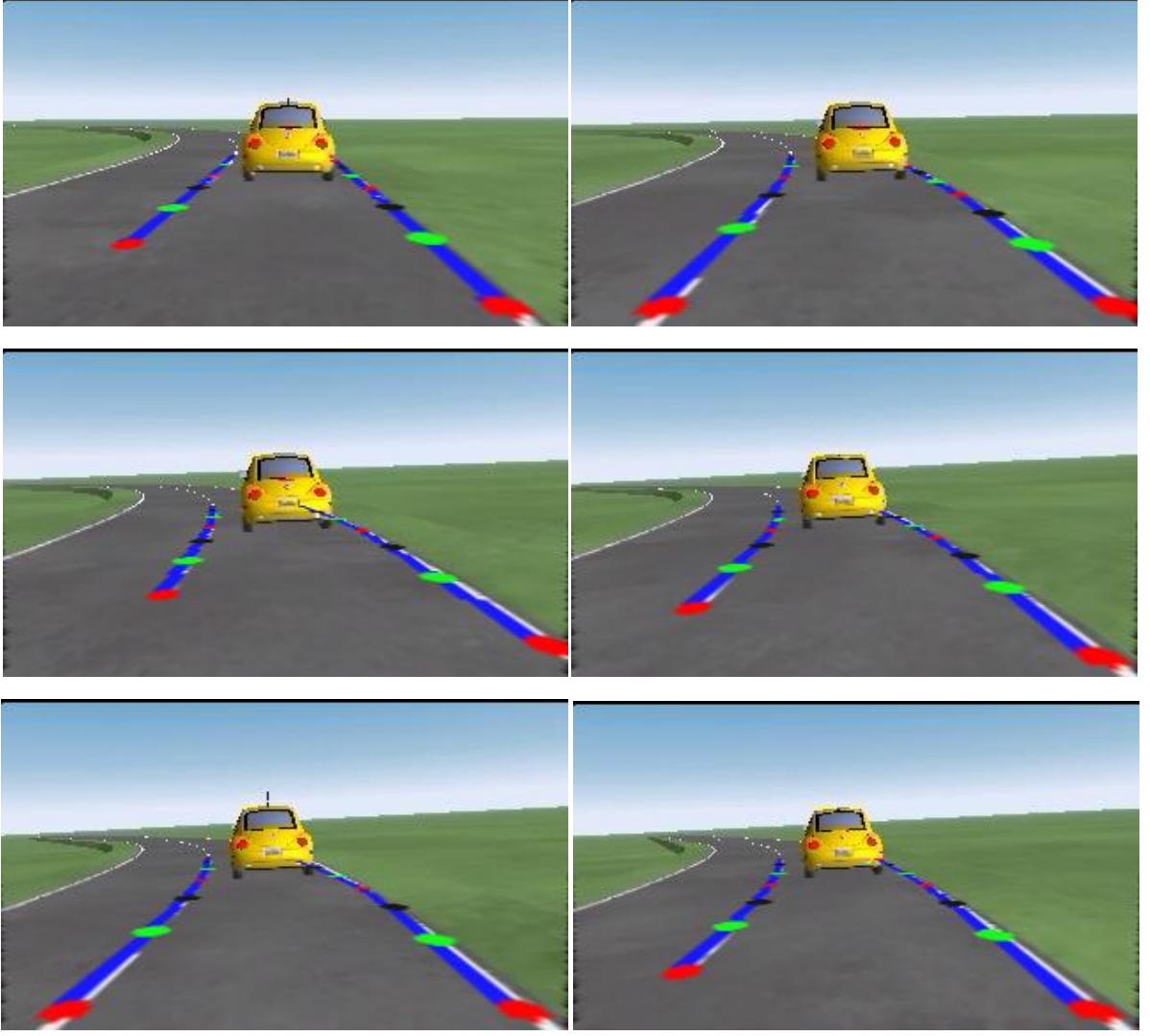




Şekil 3.42 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri



Şekil 3.43 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları



Şekil 3.44 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali

Şekil 3.41(e) ve Şekil 3.43(e) resimlerinde görüldüğü gibi aracın üzerindeki parlak noktalar ön plana çıkmış ve küçük sapmalar meydana gelmiştir. Ancak bu sapmalar şerit takibini engelleyecek cinsten olmadığından skor fonksiyonundaki eşiğin üzerinde kalmıştır. Bu küçük sapmanın olduğu görüntüden hemen bir görüntü sonra zaten şerit olması gerektiği yere geri dönmektedir. Daha önce de değinildiği gibi video görüntü işleyen sistemlerde bir saniyedeki işlenen görüntü oranına bağlı olarak 3-4 görüntülük sapmalar göz ardı edilebilir. Bu test videosunun süresi 20 saniyedir ve 500 görüntü içermektedir. Başarı ölçümü sonunda %100'lük başarı hesaplanmıştır.

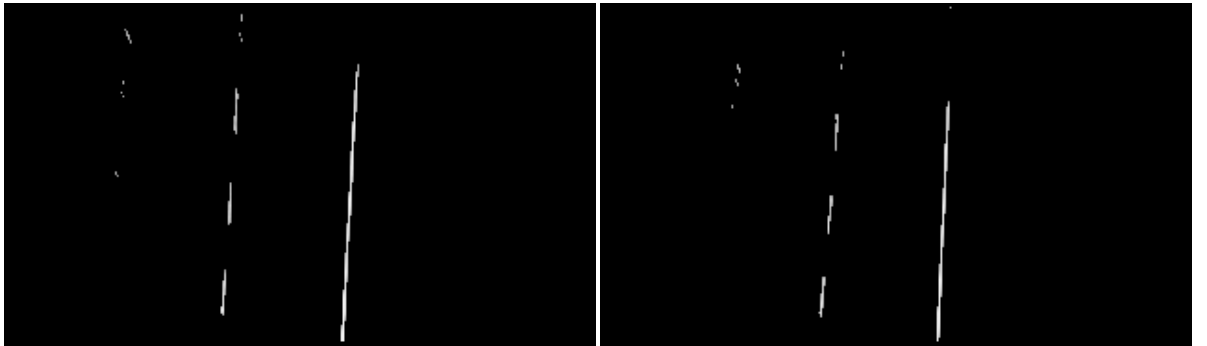
3.2.5 Karmaşık Engel ve Şeritli Yol

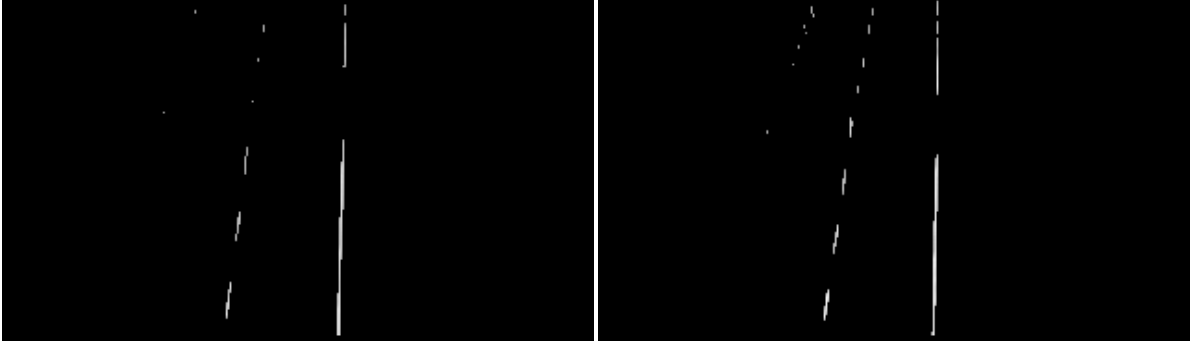
Önceki test videolarına ek olarak bu video içerisinde yoldaki karmaşıklığı artıran “S” viraj, ani fren ve gaz gibi ivmelenmeler, yoldaki eğim farklılıkları ve şerit içinde hareket eden araç durumları da test edilmektedir. Test videosu iki bölümden oluşmaktadır, ilk bölümde hızsal ivmelenme ve “S” viraj durumları test edilmektedir. İkinci bölümde ise yoldaki eğim değişimi ve şerit içinde hareket eden araç durumları test edilmektedir.

Şekil 3.45 ile Şekil 3.49 arasında ilk videodaki hıza bağlı ivmelenmeler gösterilmektedir.

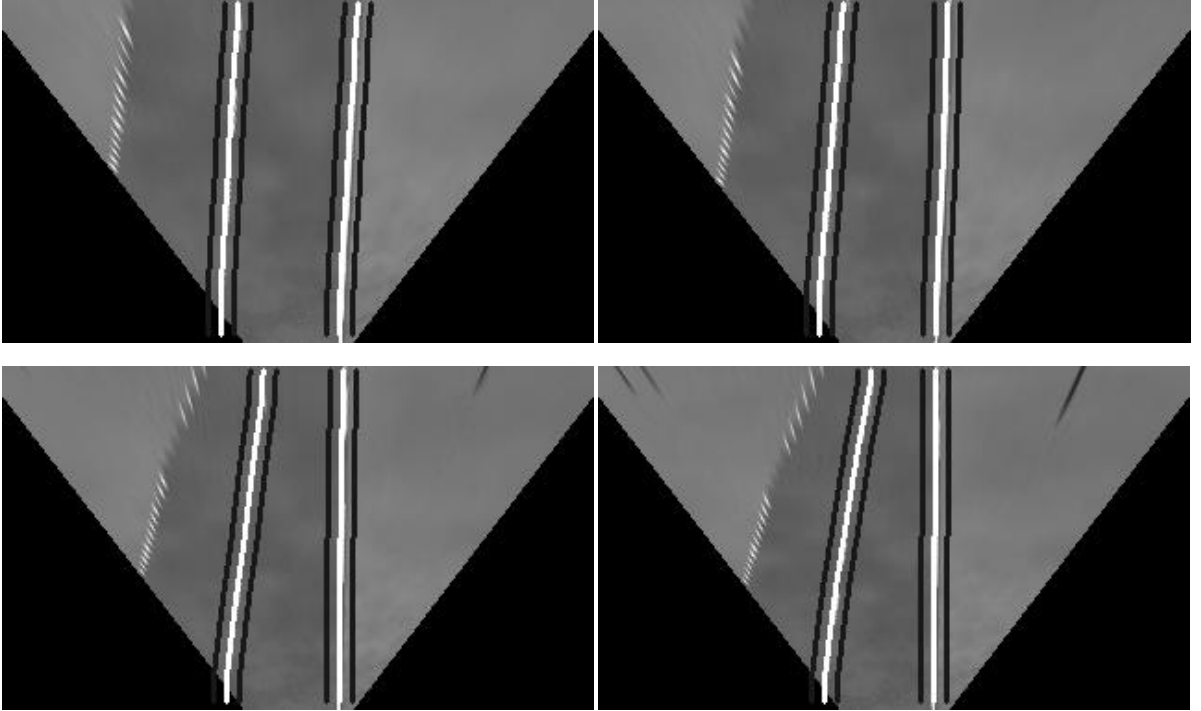


Şekil 3.45 Belirli aralıklarla ardışık dört giriş görüntüsü

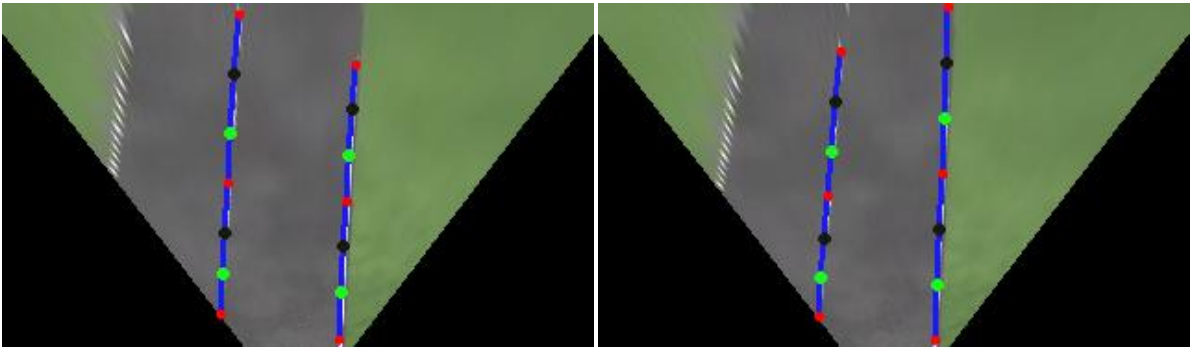


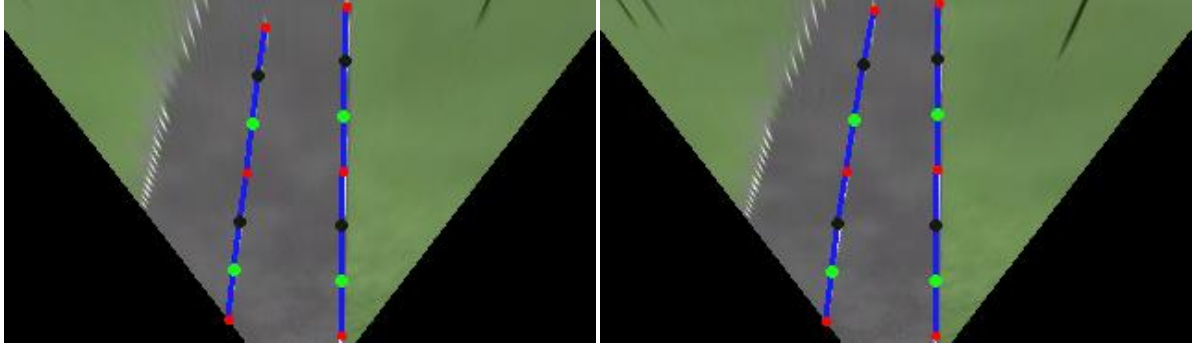


Şekil 3.46 Belirli aralıklarla ardışık dört kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali

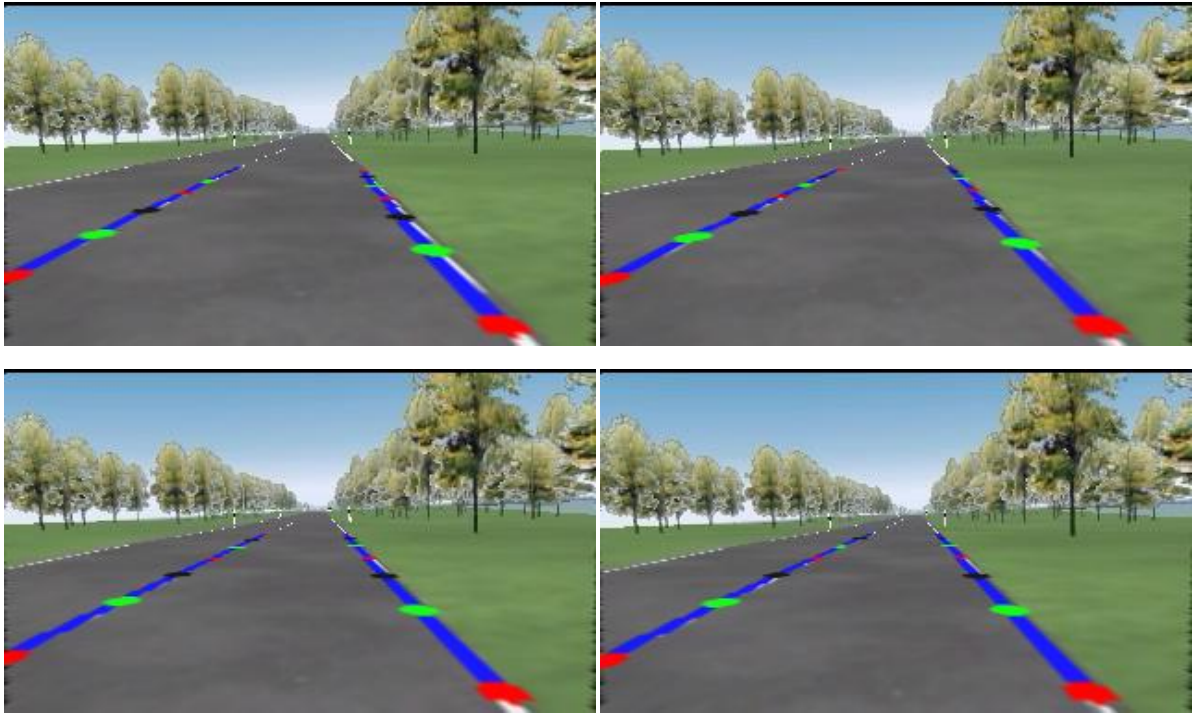


Şekil 3.47 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün Şablon şeritleri



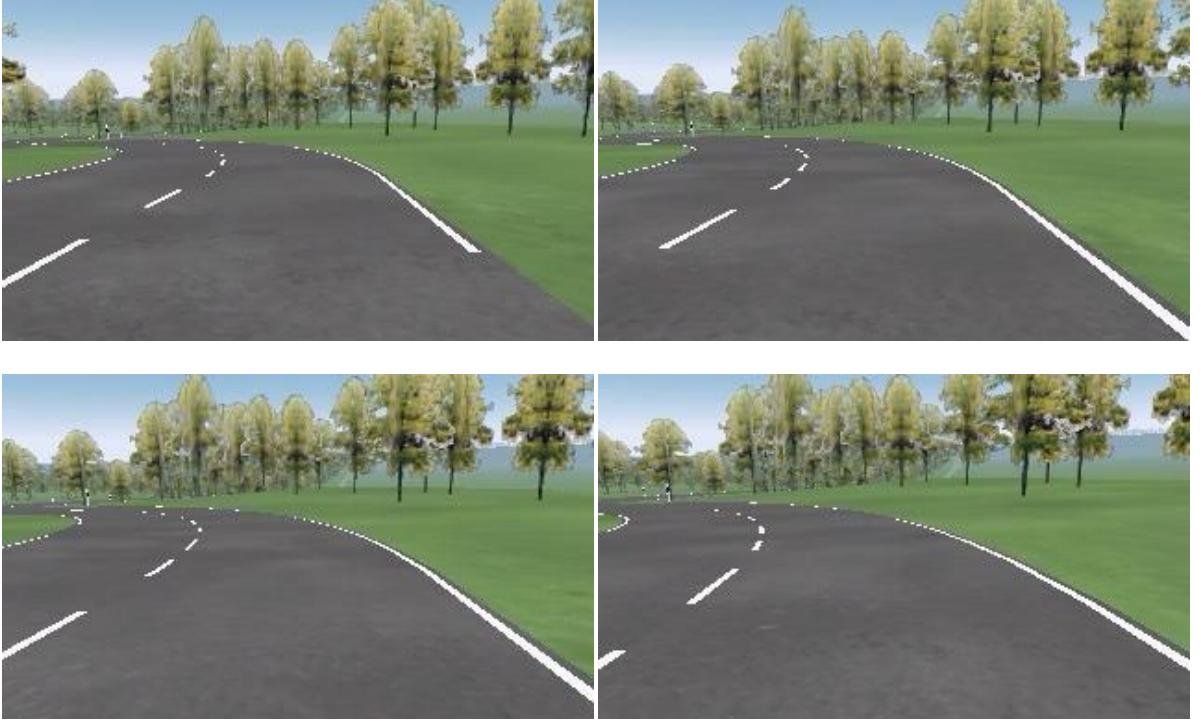


Şekil 3.48 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları

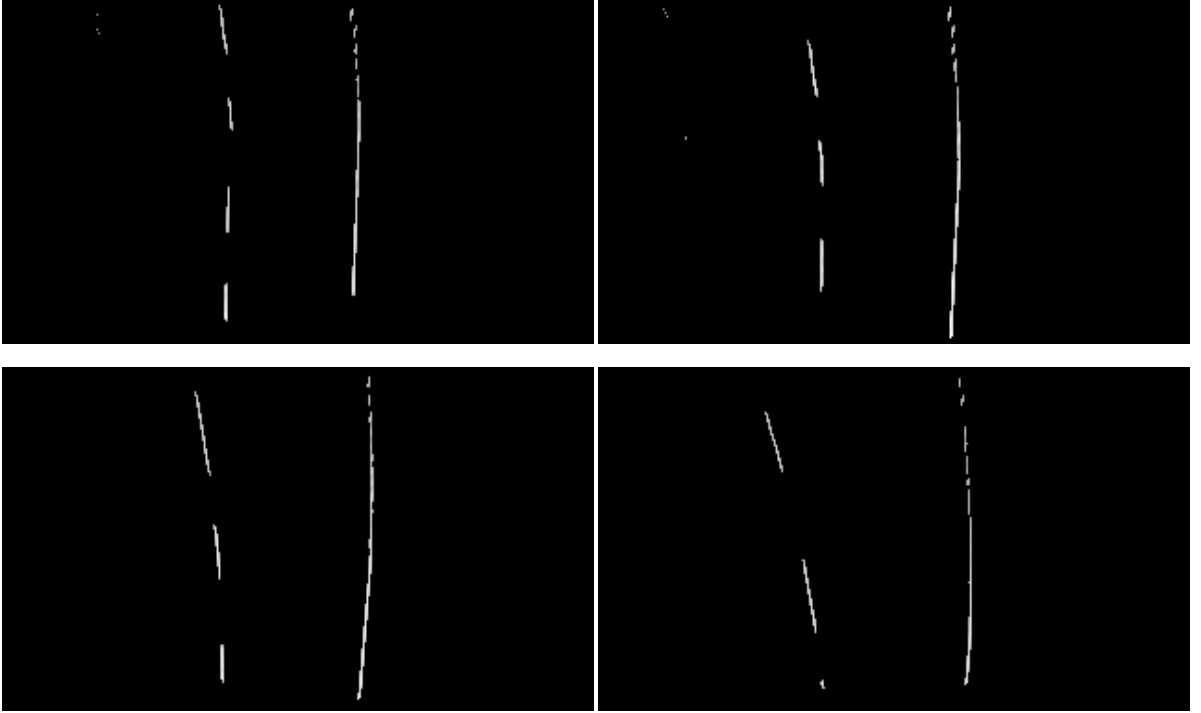


Şekil 3.49 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün düzeltilmiş hali

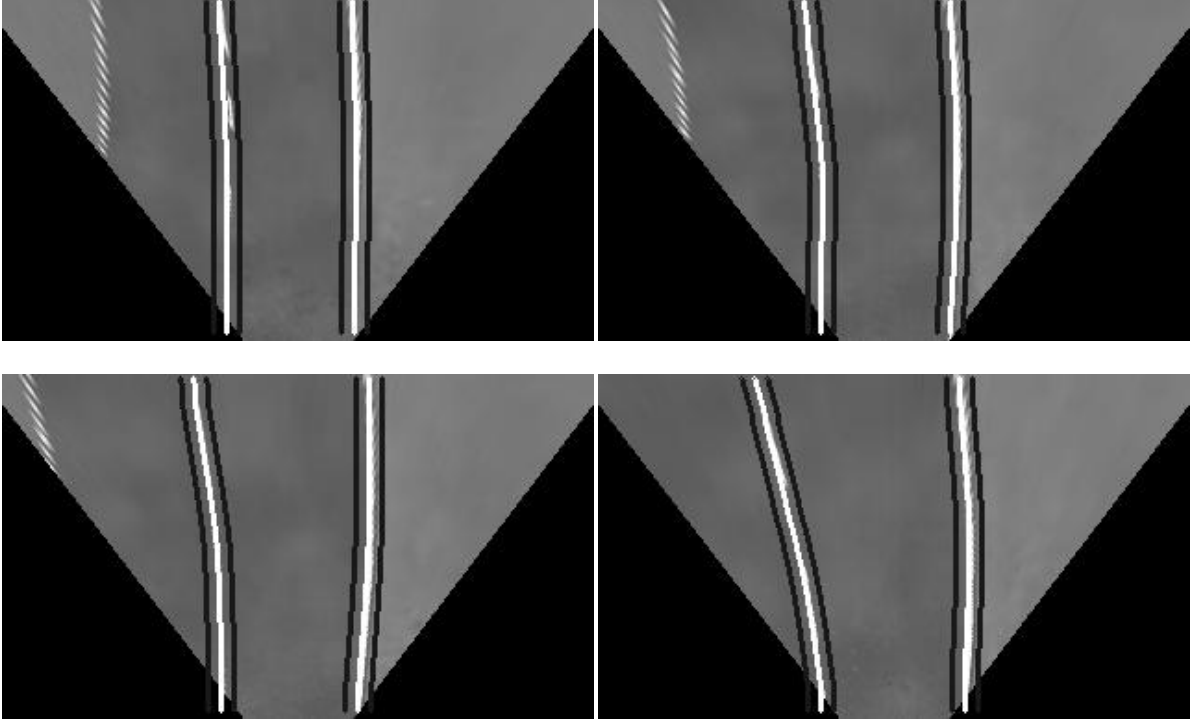
Araç aniden hızlandığında özellik noktaları resmin orta noktasına doğru yaklaşmaktadır. Araç fren yaptığıında ise şeritlerin üst kısmında bulunan özellik noktaları resmin orta noktasından uzaklaşmaktadır. Şekil 3.50 ile Şekil 3.54 arasındaki görüntülerde aracın viraja girmeden önce fren yaptığı durum görülmektedir.



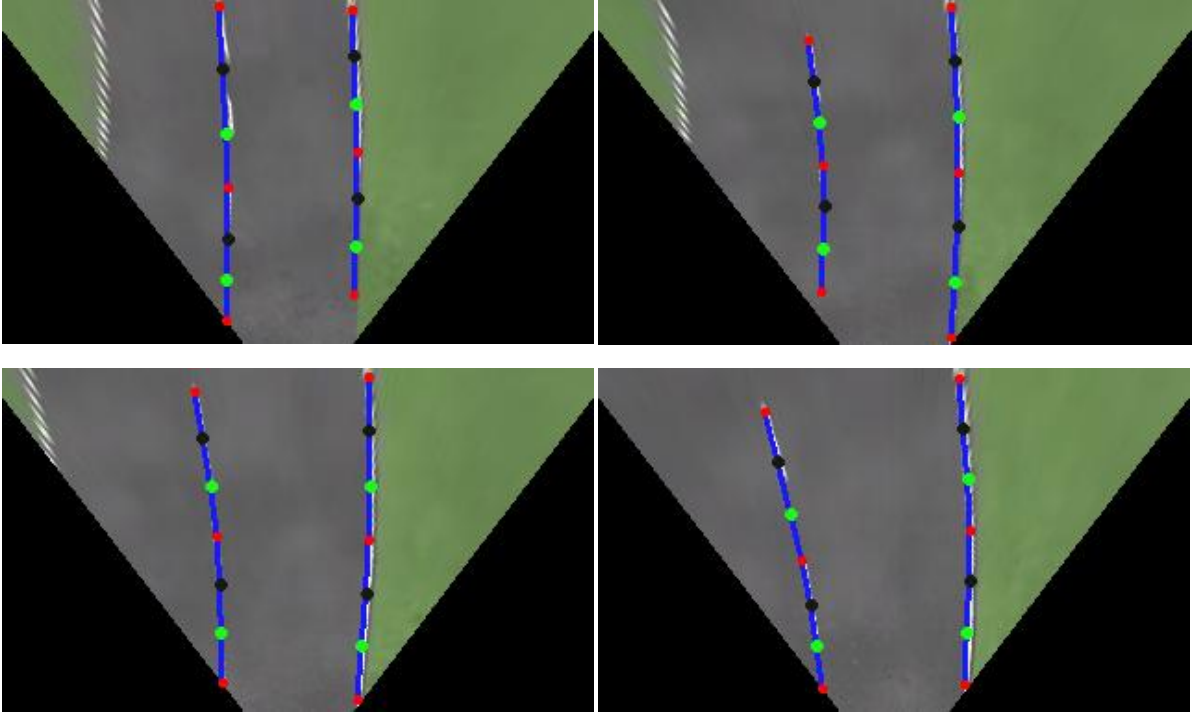
Şekil 3.50 Belirli aralıklarla ardışık dört giriş görüntüsü



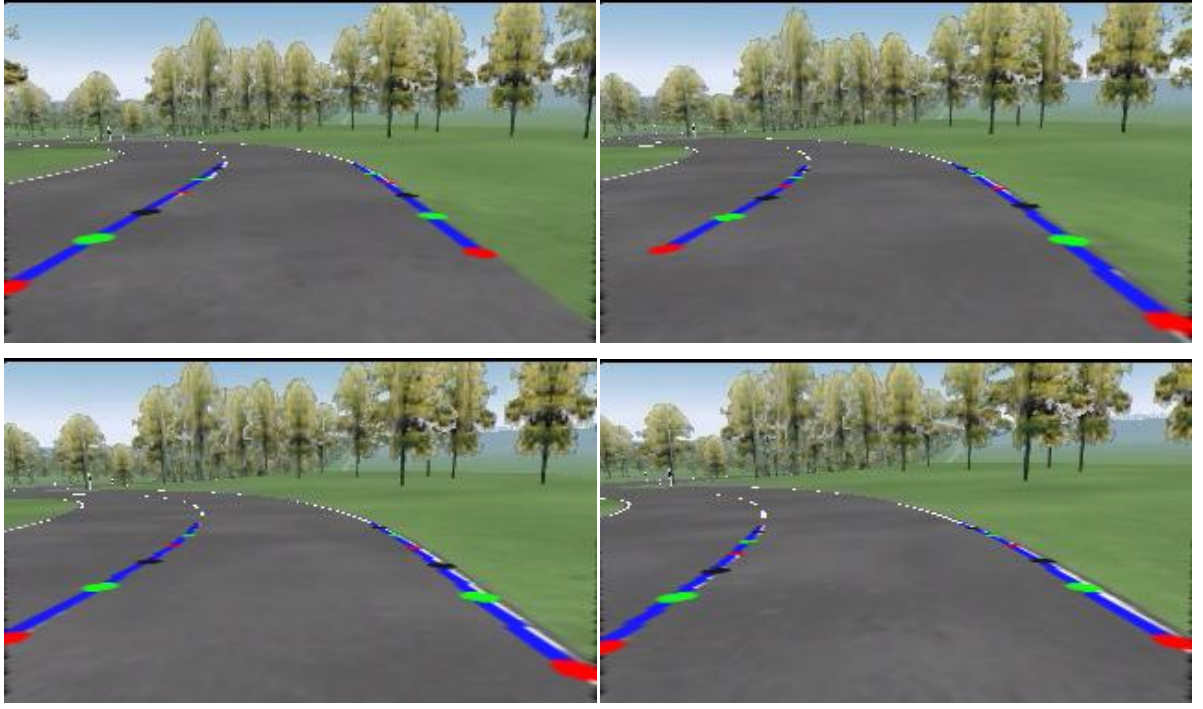
Şekil 3.51 Belirli aralıklarla ardışık dört kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali



Şekil 3.52 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün Şablon şeritleri



Şekil 3.53 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları

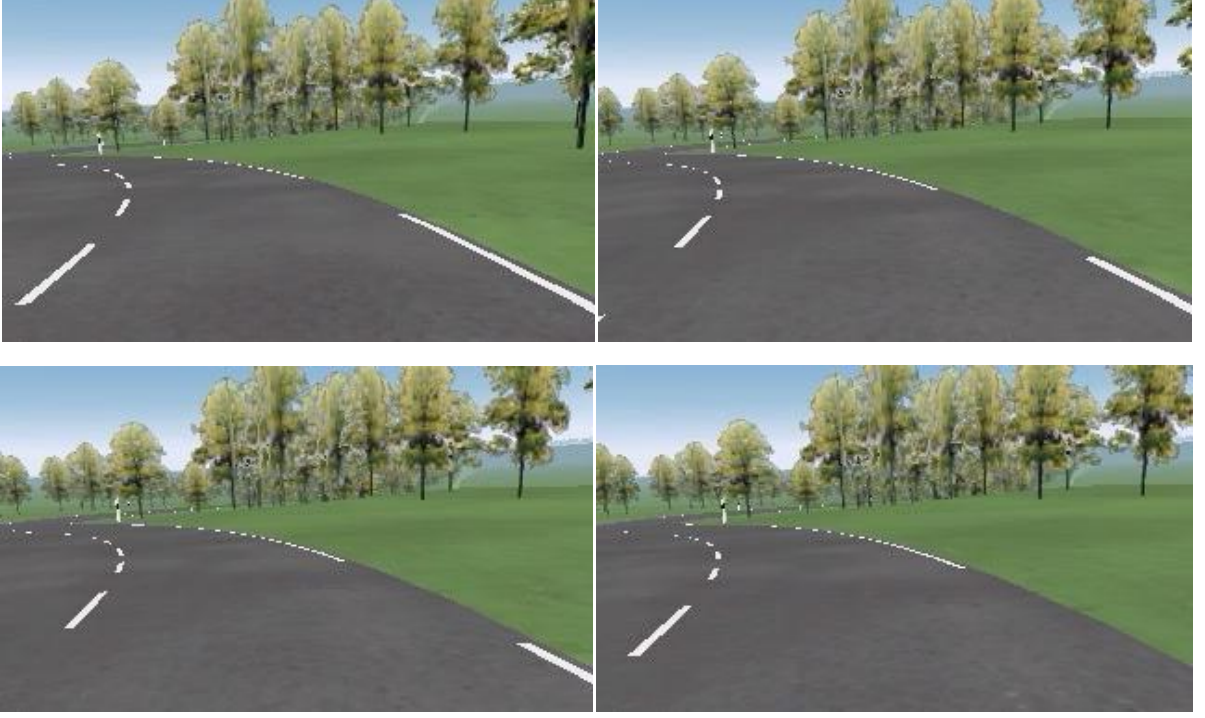


Şekil 3.54 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün düzeltilmiş hali

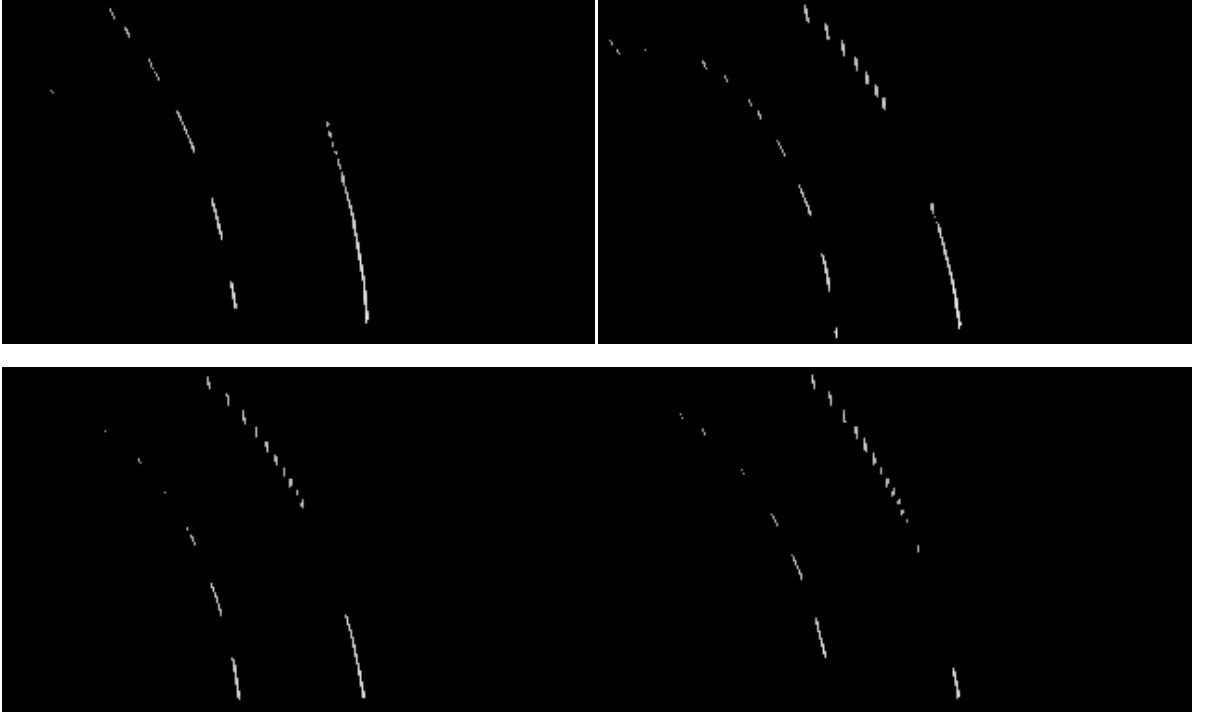
Şekil 3.50 ile Şekil 3.54 arasındaki görüntülerden hemen sonra “S” viraj denen karmaşık viraja girilmektedir. Bu durumda öncelikle sola dönen bir viraj tespit edilip ona göre eğri modeli çıkarılmıştır. Hemen sonrasında yol sağa dönmeye başlamıştır ve eğri modeli şerit takibi sayesinde güncellenmiştir. Ancak virajlar esnasında kullanılan şerit türünde uzun boşluklar olduğundan özellik noktaları bulunamamıştır. Buna dayalı olarak bazı görüntülerde eğri modeline uydurulacak şerit bulunamamıştır.

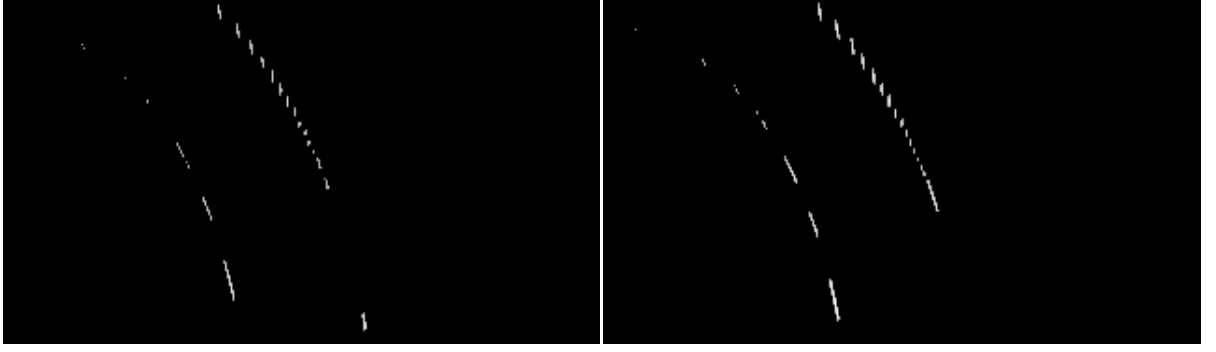
Şekil 3.55 ile Şekil 3.59 görüntüleri arasında “S” virajın başlangıcı olan sola viraj bölümündeki aksaklıklar görülmektedir.



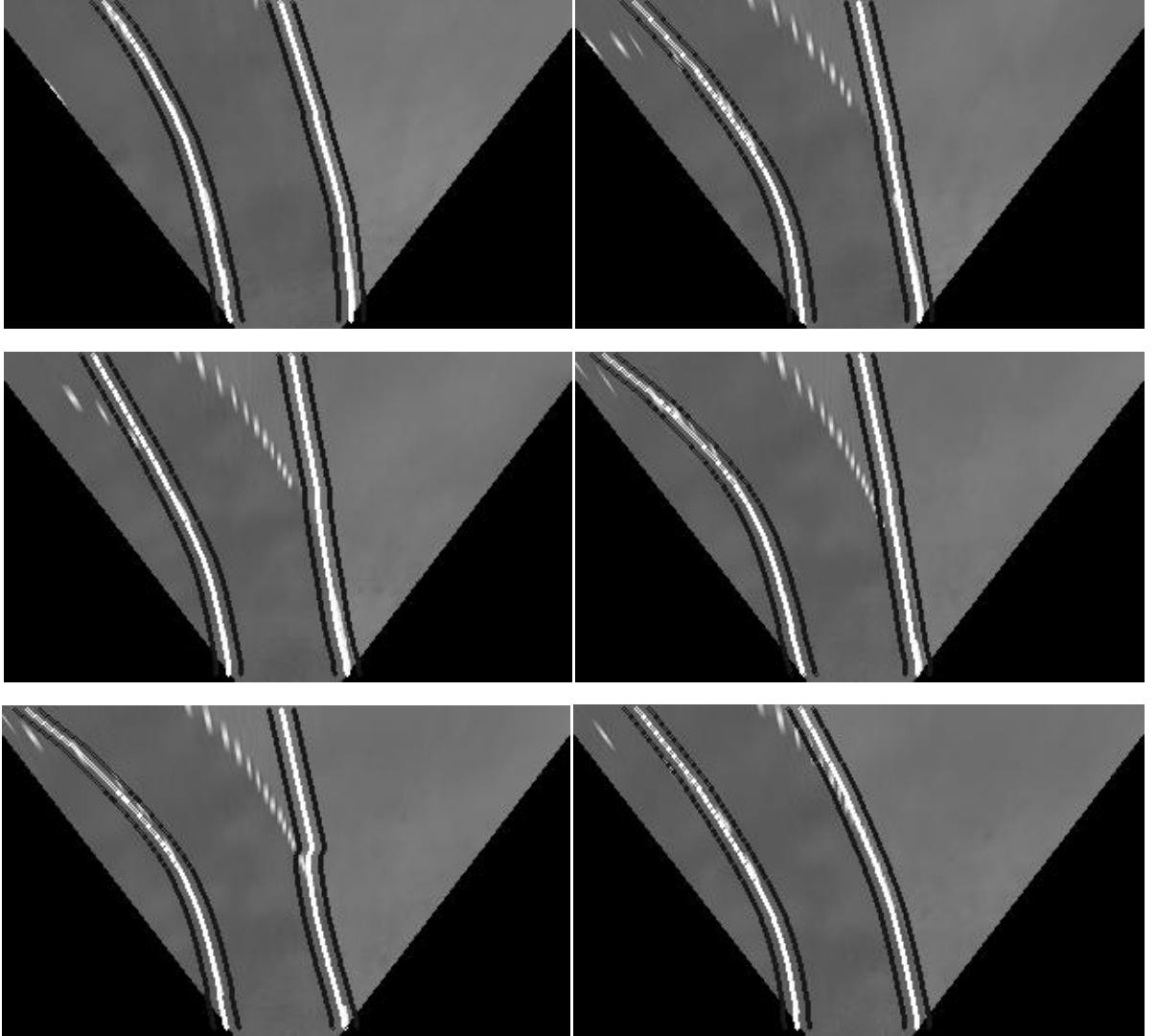


Şekil 3.55 Belirli aralıklarla ardışık altı giriş görüntüsü

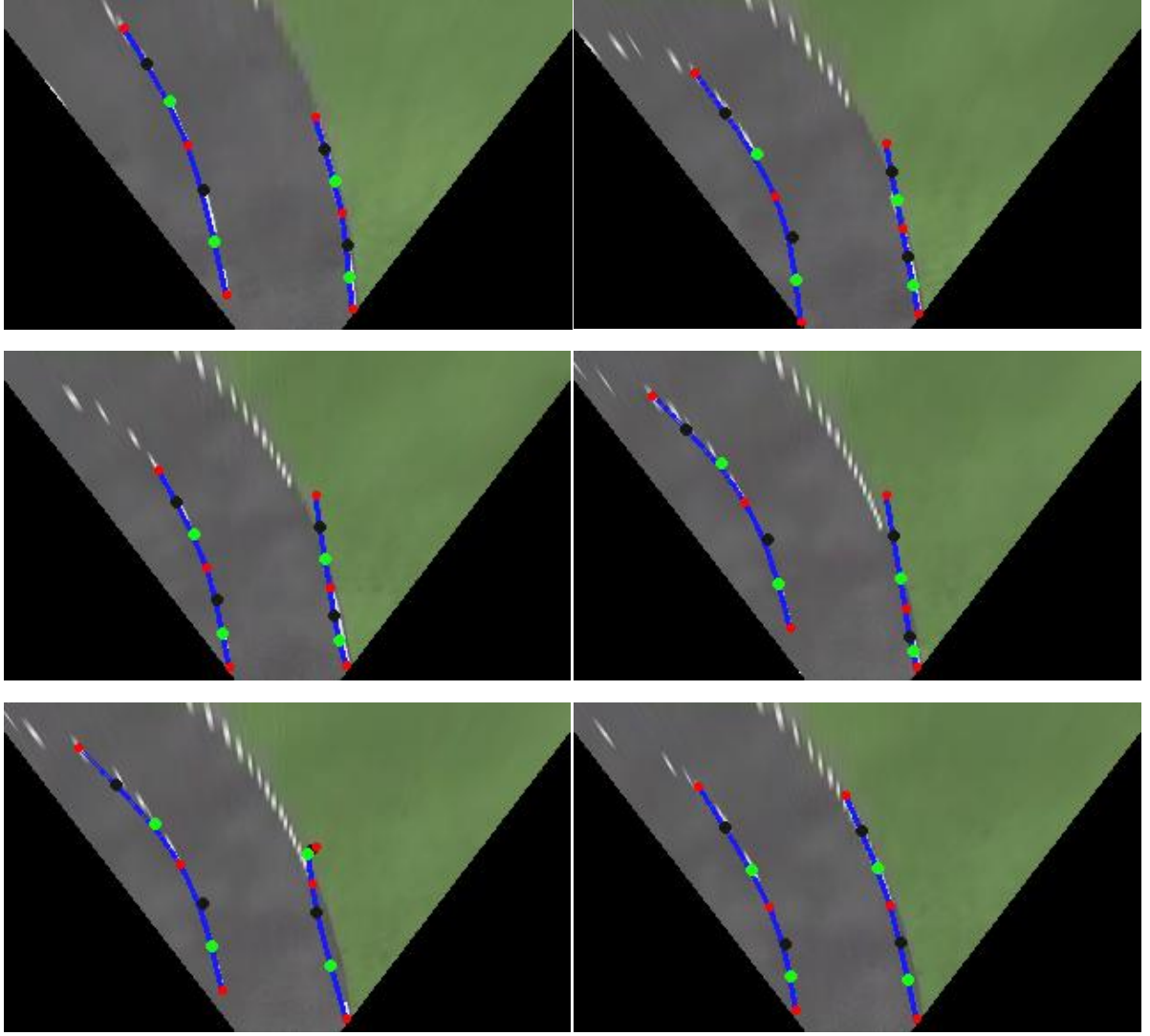




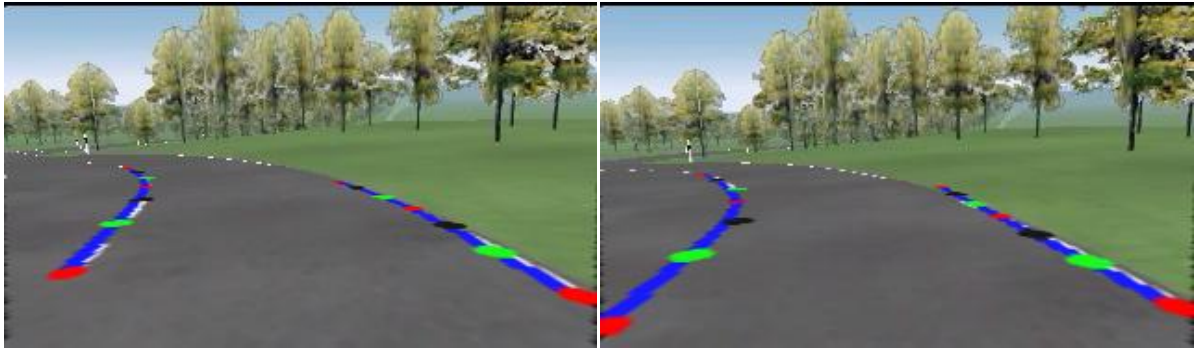
Şekil 3.56 Belirli aralıklarla ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali

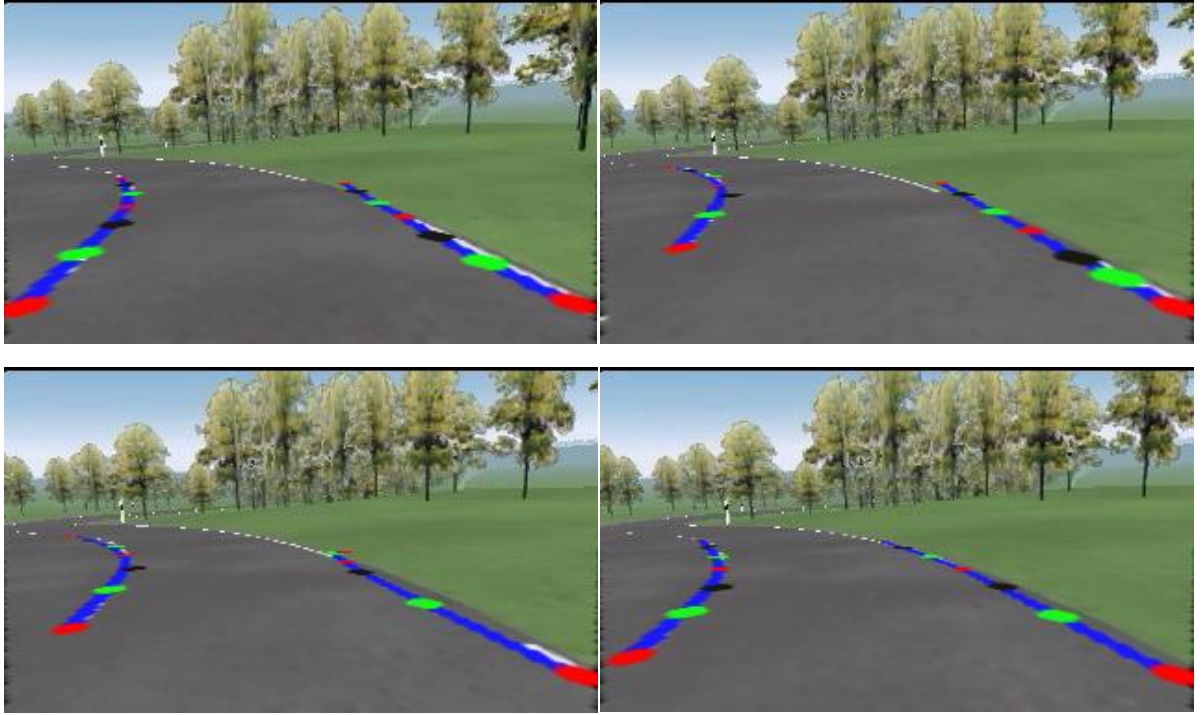


Şekil 3.57 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri



Şekil 3.58 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları



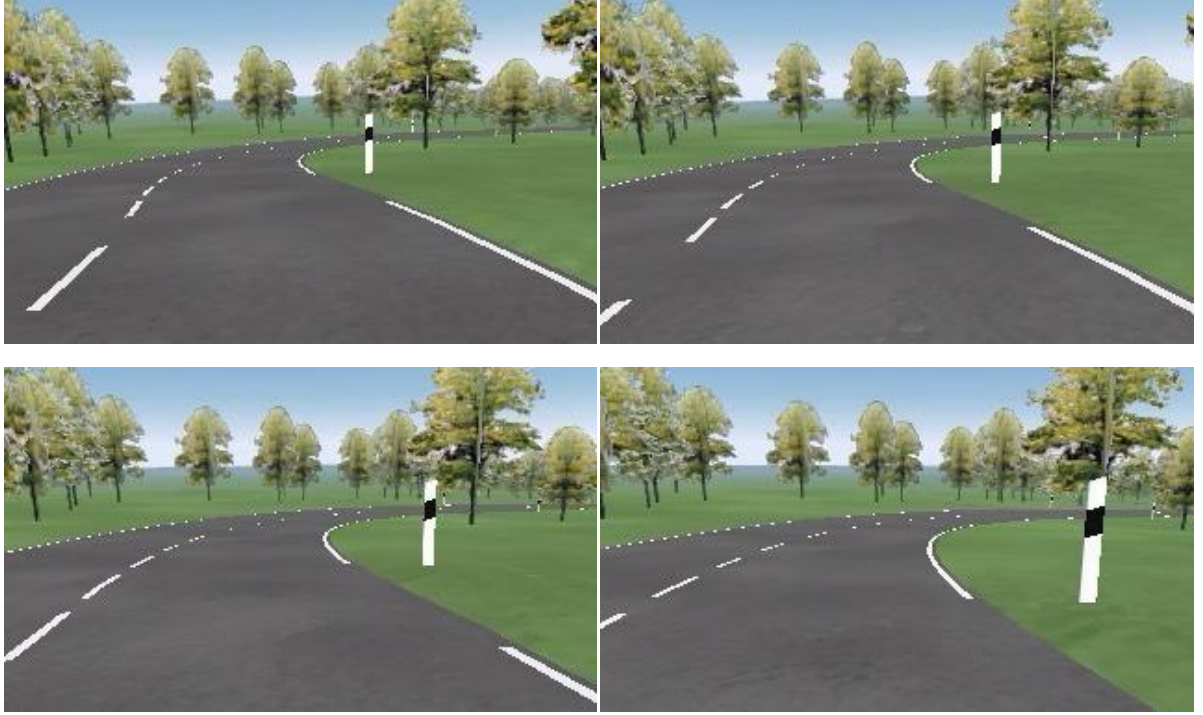


Şekil 3.59 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali

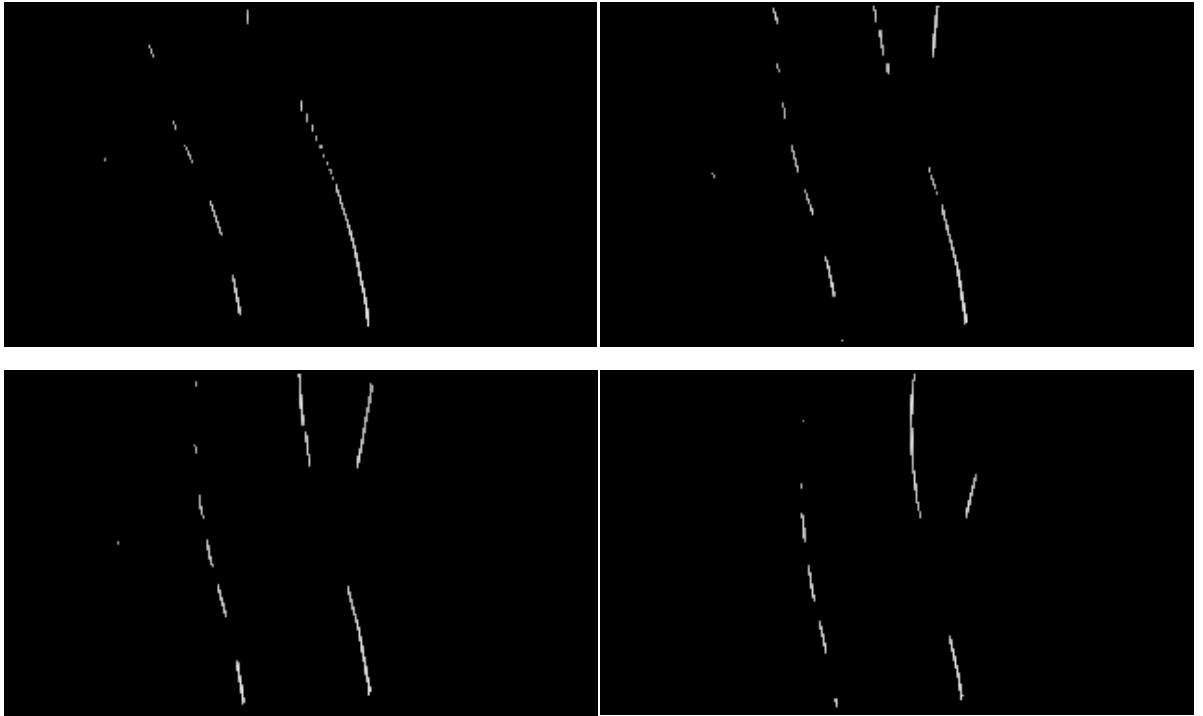
Şekil 3.56’de sağ şeritteki büyük kopukluk görülmektedir. Şekil 3.57 ve Şekil 3.58(b)–(e) görüntülerinde kopukluktan dolayı trafik şeridi için eğri modeli oluşturulamamıştır. Ancak araç sola döndükçe Şekil 3.58(e) ve Şekil 3.58(f) resimlerinde görüldüğü gibi eğri modeli yeniden şeridin üzerine oturmaktadır.

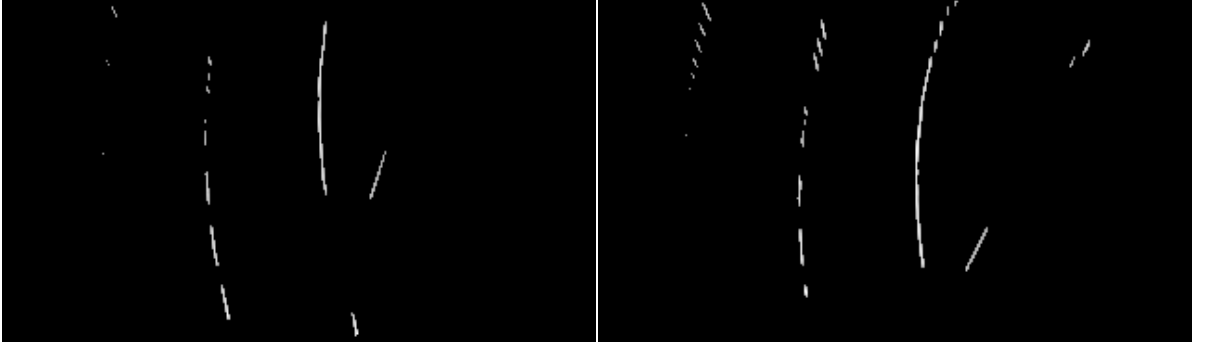
Şekil 3.60 ile Şekil 3.64 arasında “S” virajdaki sola ve sağa virajın birleşim noktası ve devamındaki sağa yönelen viraj görülmektedir.



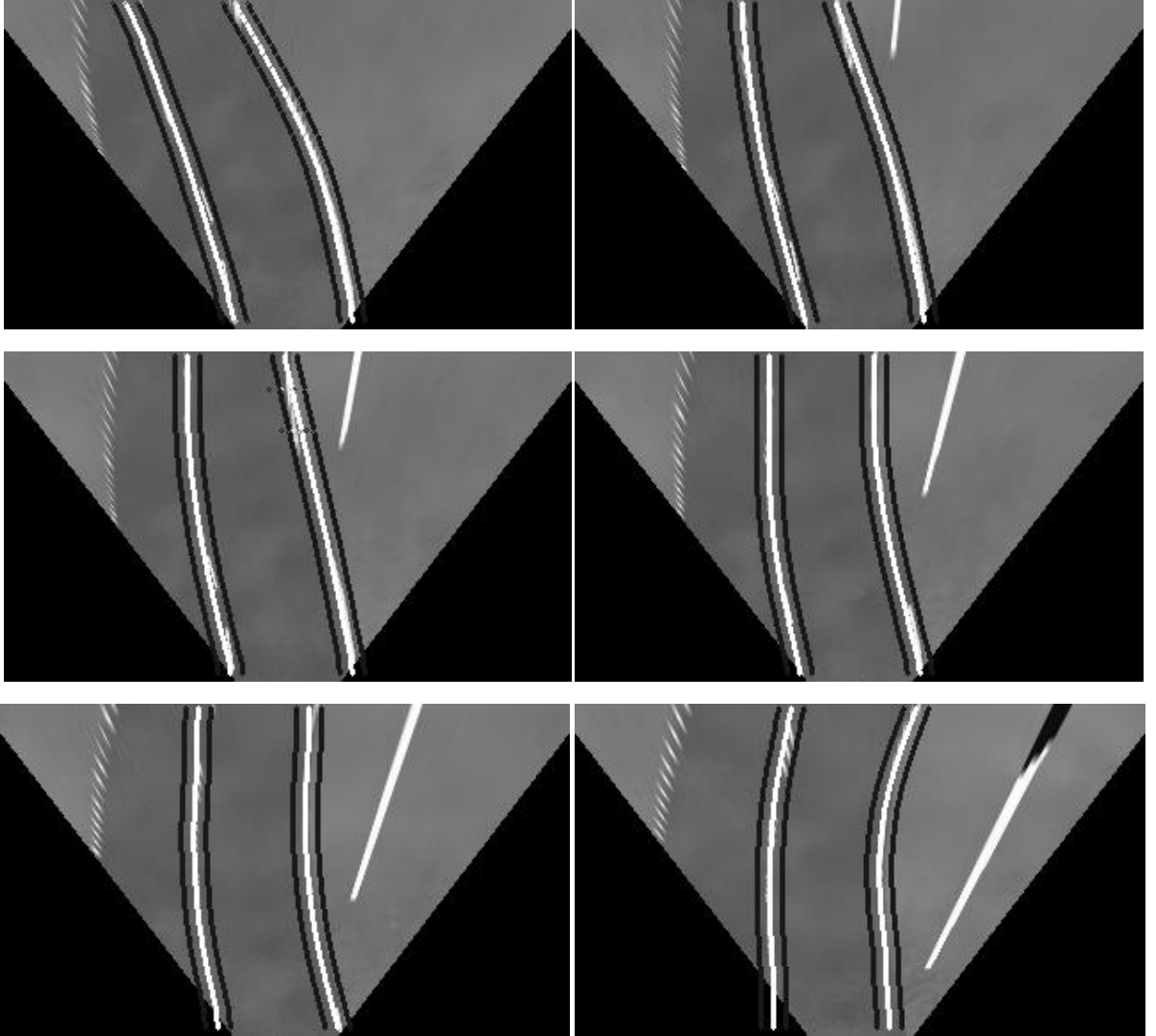


Şekil 3.60 Belirli aralıklarla ardışık altı giriş görüntüsü

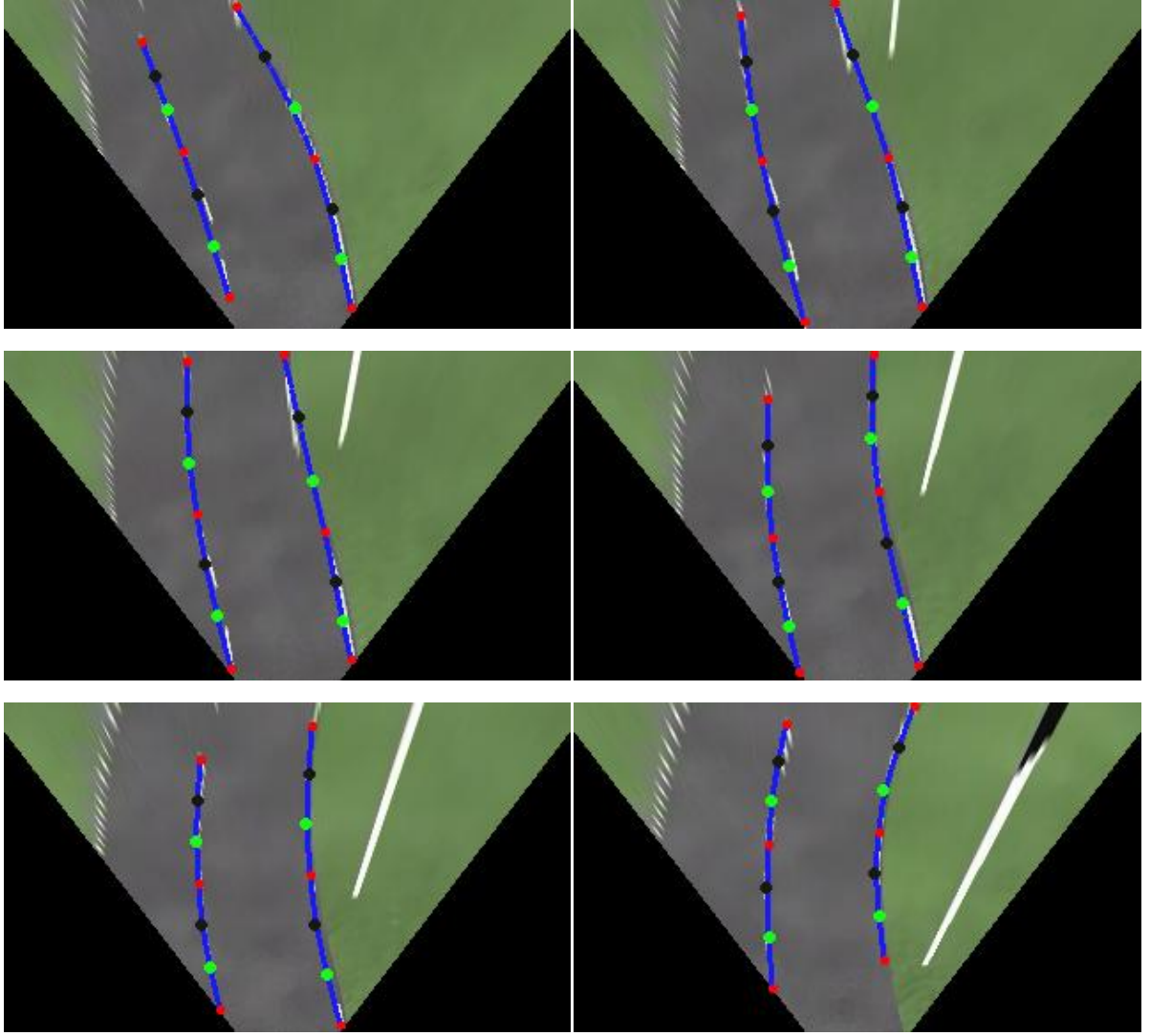




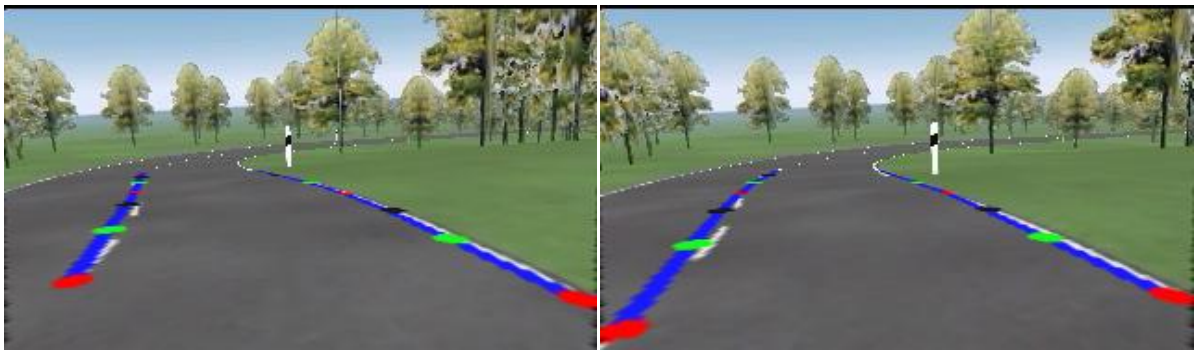
Şekil 3.61 Belirli aralıklarla ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali

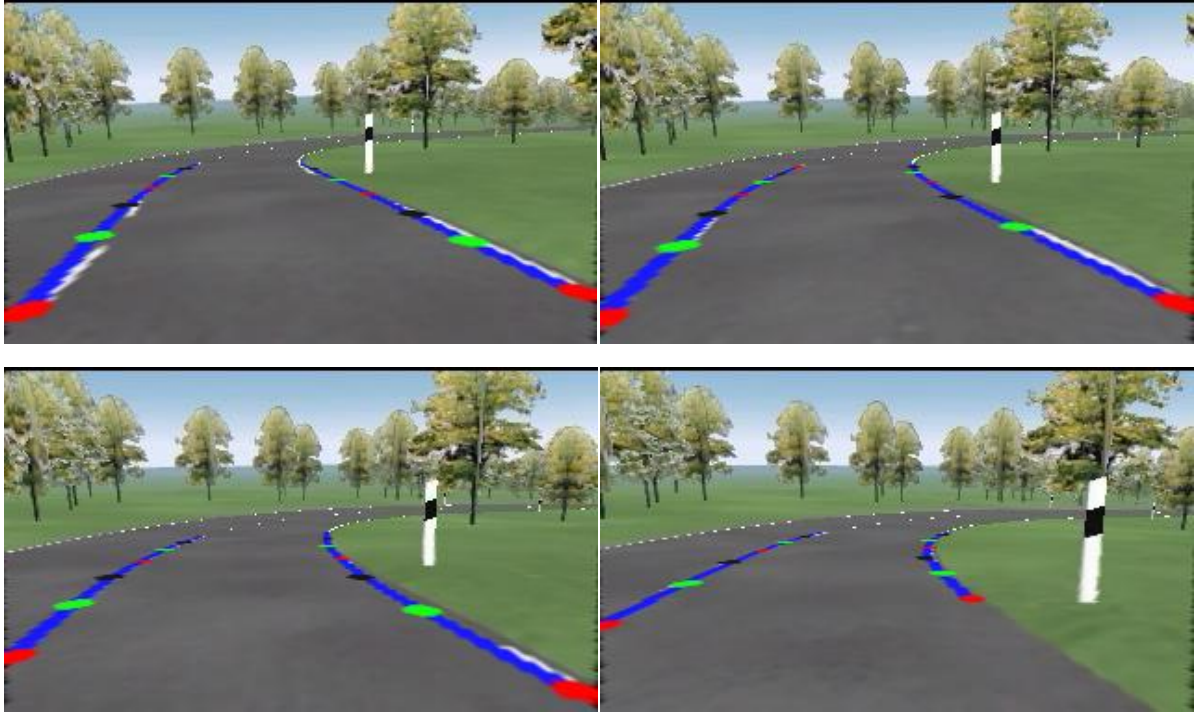


Şekil 3.62 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri



Şekil 3.63 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları

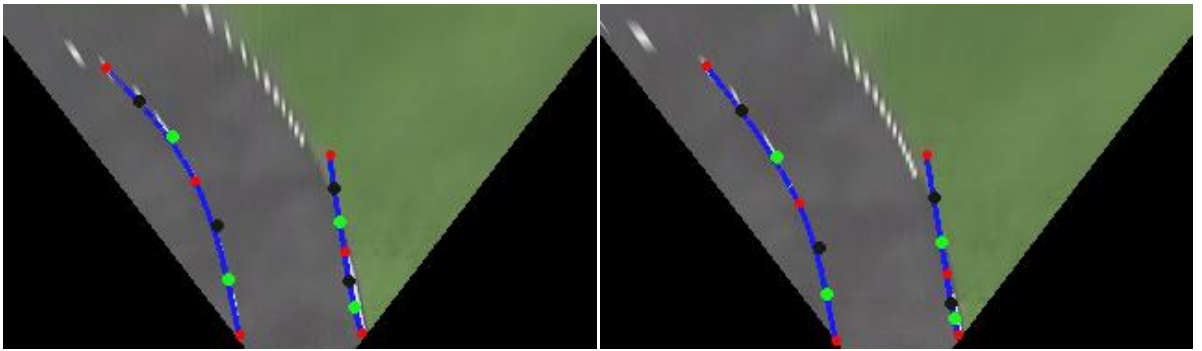




Şekil 3.64 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali

Şekil 3.45 ve Şekil 3.64 arandaki görüntülerde görüldüğü gibi ani kamera açısı farklılıkları ve karmaşık bir virajın olduğu bu test videosunda bazı şeritler doğru şekilde tespit edilememiştir. Hatalı şerit tespitlerini içeren görüntülerden bazıları

Şekil 3.65’de gösterilmektedir.





Şekil 3.65 Karmaşık test videosundaki başarısız şerit tespit sonuçlarından bazıları

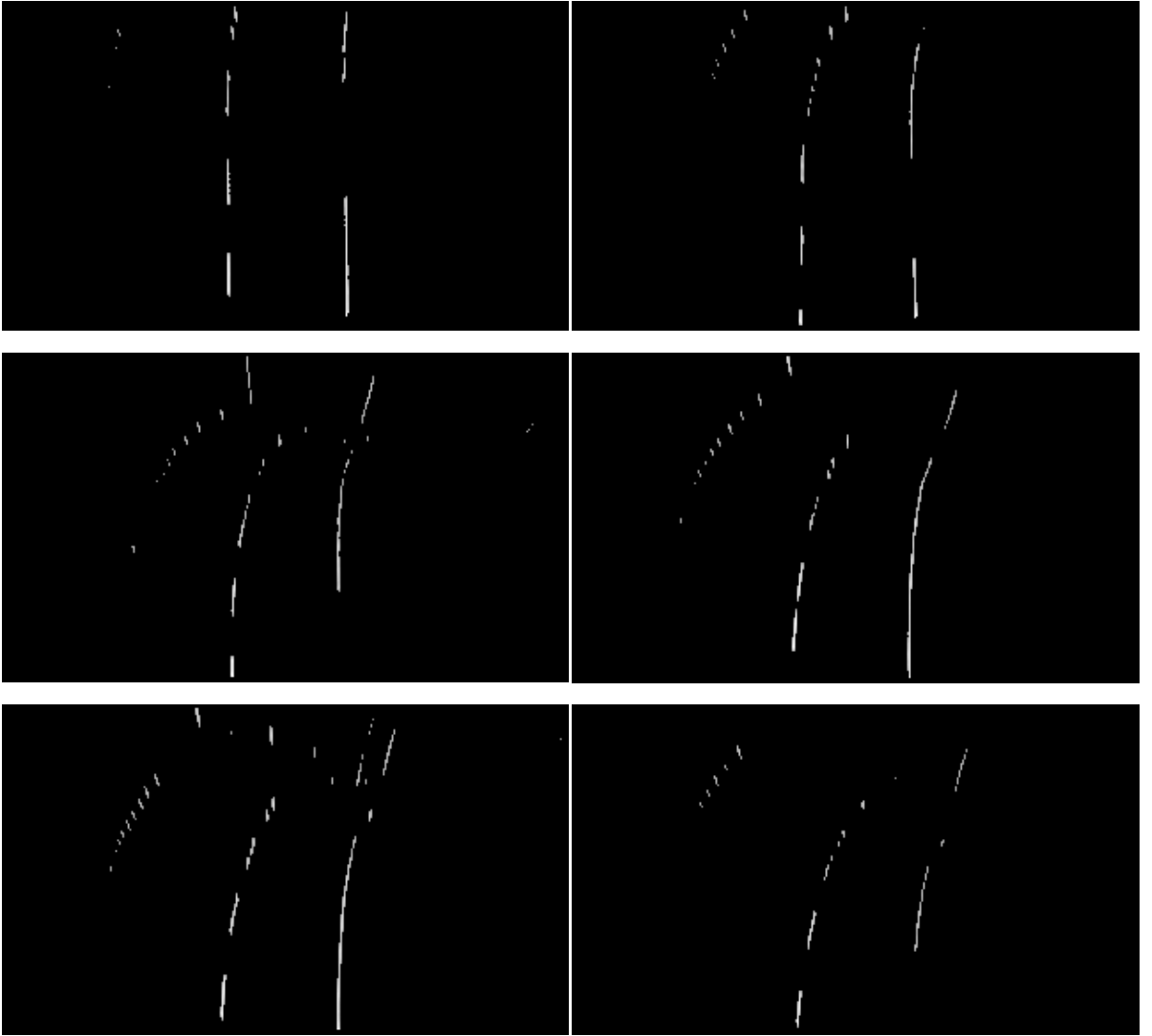
Sistemin genel akışı itibariyle süreklilik sağlandığı için şerit takip sistemi amacına ulaşmıştır. Bu test videosunda 850 görüntü bulunmaktadır ve bunlardan 24 tanesi yanlış tespit edilmiştir. Başarı ölçümü sonucunda %97.1'lik başarı hesaplanmıştır.

İkinci karmaşık test videosunda ise yolda eğim farklılıkları ve şerit içerisinde hareket eden araç bulunmaktadır. Şekil 3.66 ile Şekil 3.70 arasında görüntülerde eğim farklılığı (yokuş), sağa keskin viraj ve görüş menzili içerisindeki araç durumları bulunmaktadır. Bu yüzden karşılaşılabilecek en karmaşık senaryolardan biridir.

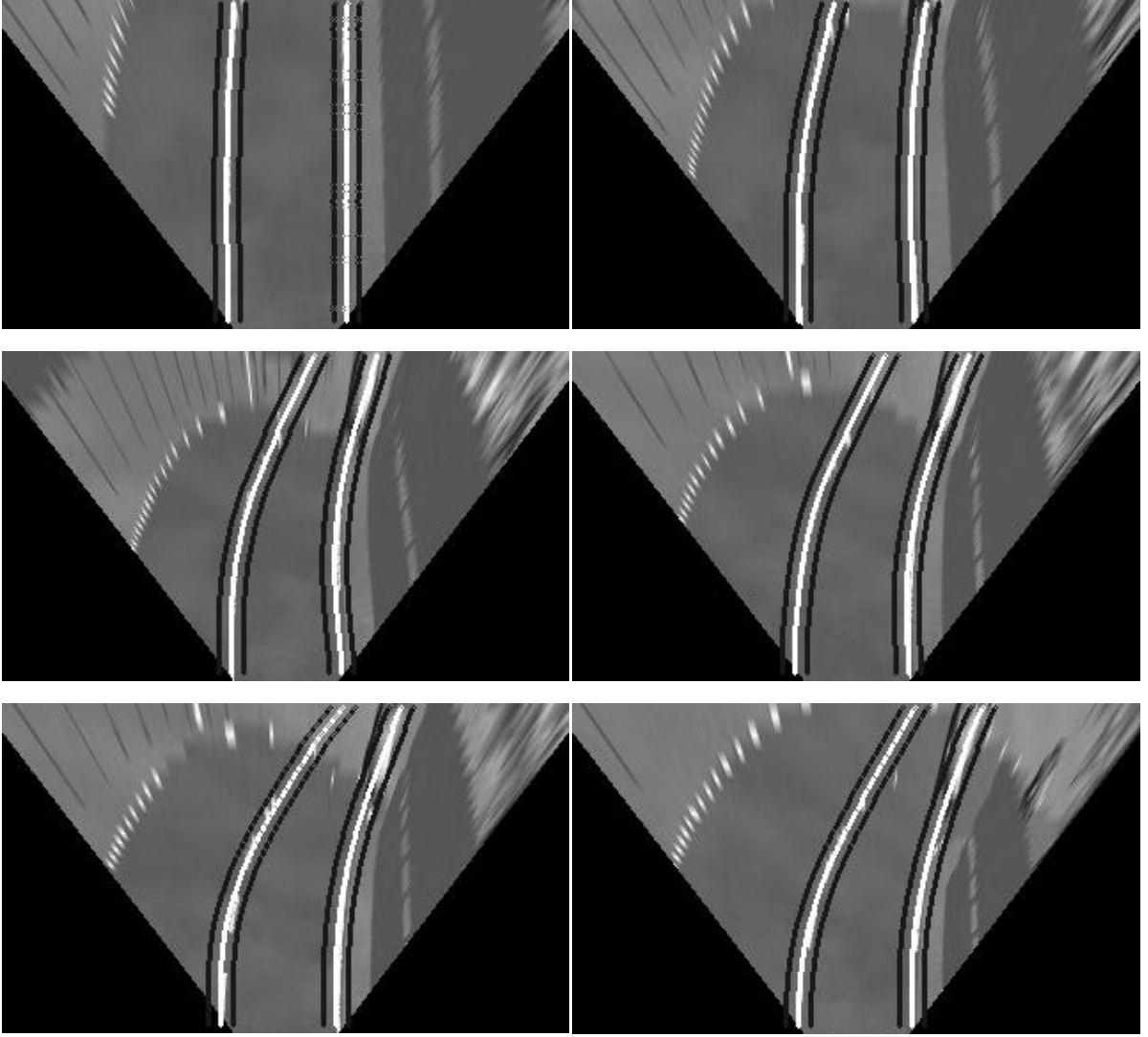




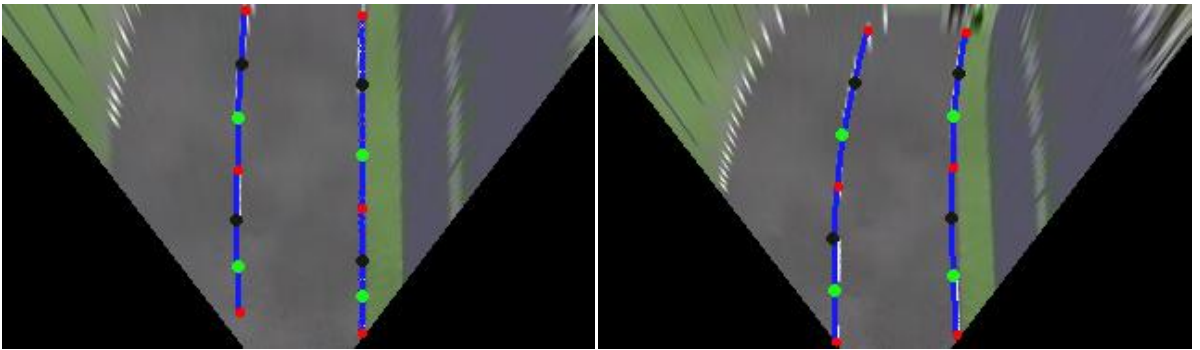
Şekil 3.66 Belirli aralıklarla ardışık altı giriş görüntüsü

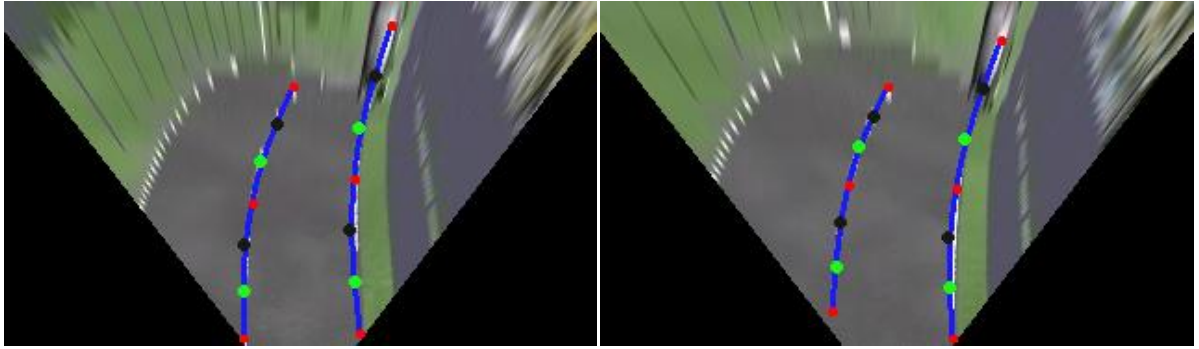


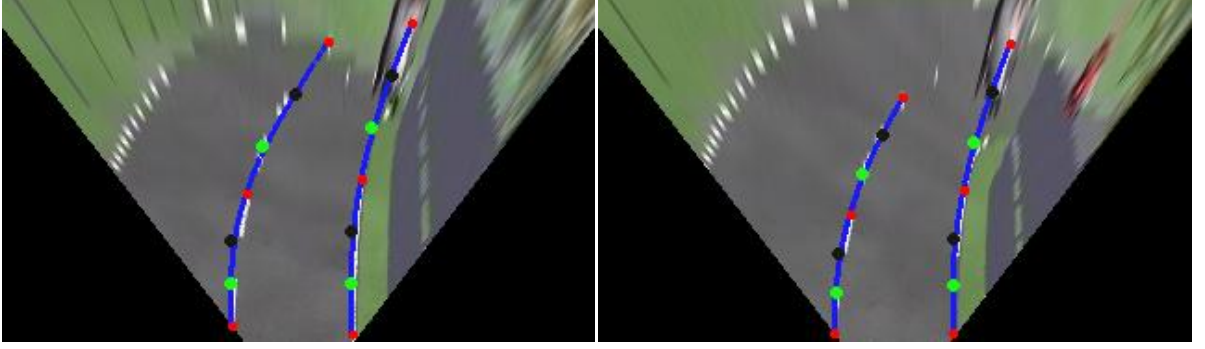
Şekil 3.67 Belirli aralıklarla ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali



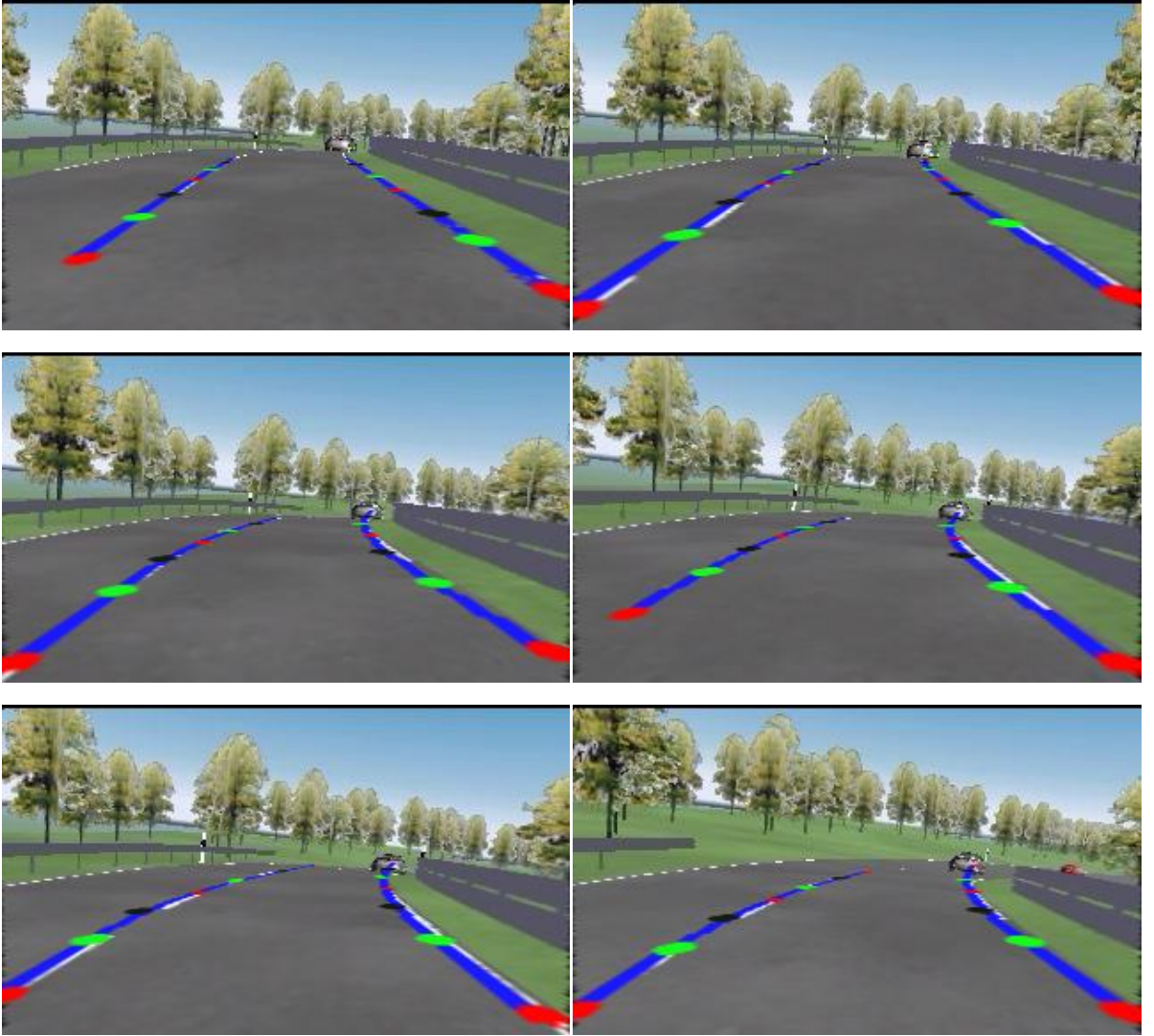
Şekil 3.68 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri







Şekil 3.69 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları

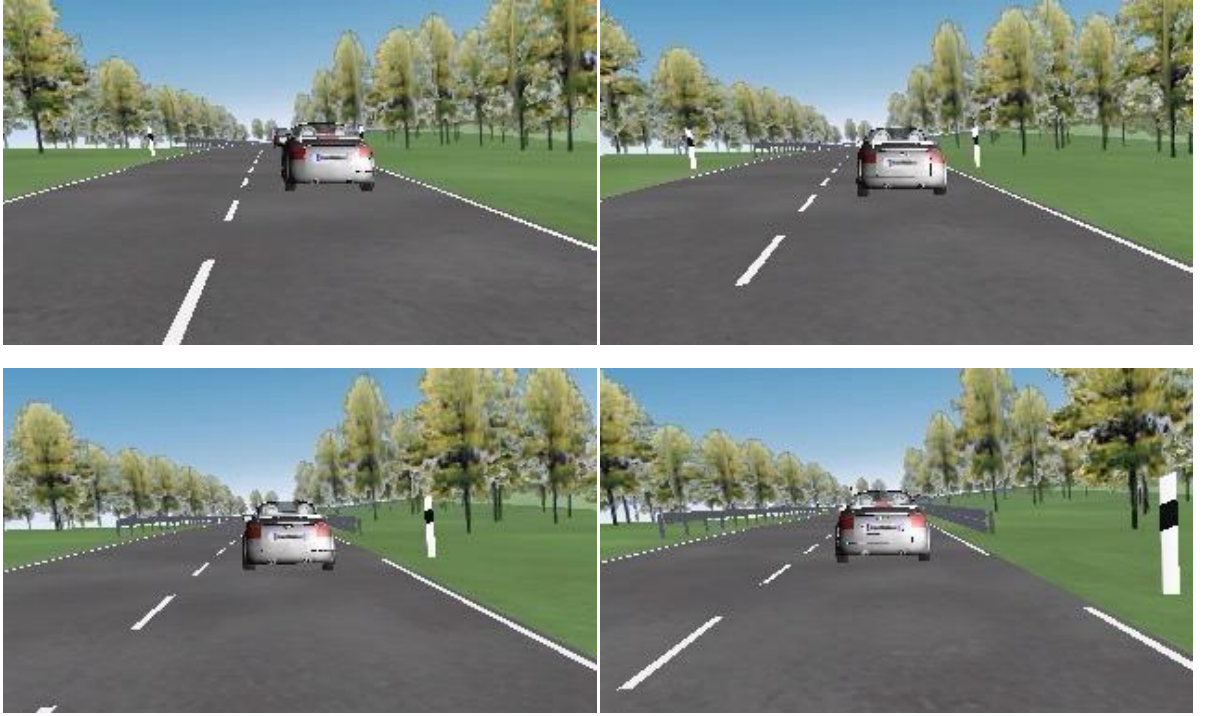


Şekil 3.70 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali

Şekil 3.69'deki görüntülerde (e) resmi haricindeki görüntülerde sol şerit tespiti, şerit takibi sayesinde doğru şekilde yapılmıştır.

Şekil 3.68(c) resmindeki şablon şeritten görülebileceği gibi 2.1.7 bölümü içerisinde anlatılan şablon şerit tamamlama metodu sayesinde şerit takibi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.69 (e) resminde sol şeridin üst ucu yolun karşısındaki şeride kaymıştır. Bunun sebebi, yolun ufuk noktasına doğru uzanan bölümünün yokuş farkından dolayı daralmasıdır. Sağ şeridin takibi ise görüş menzilineki araç ve eğim farkından dolayı engellenmektedir. Bu nedenle Şekil 3.67(c) resminde görüldüğü gibi engel aracın bir bölümü, sağ şeridin devamını oluşturmaktadır. Bu nedenle sağ şerit takibinde bu noktalar şeritmiş gibi algılanmıştır. Bu her ne kadar başarısızlıkmiş gibi görünse de yolun karakteristiğini bozmadığı ve şerit takip sisteminin devamlılığını engellemediği için soruna yol açmamaktadır.

Şekil 3.71 ile Şekil 3.75 görüntüleri arasında yolun devamında tamamen görüş menziline giren araç ile birlikte vites aralığından sonraki hafif ivmelenmenin olduğu durum örneklenmiştir.

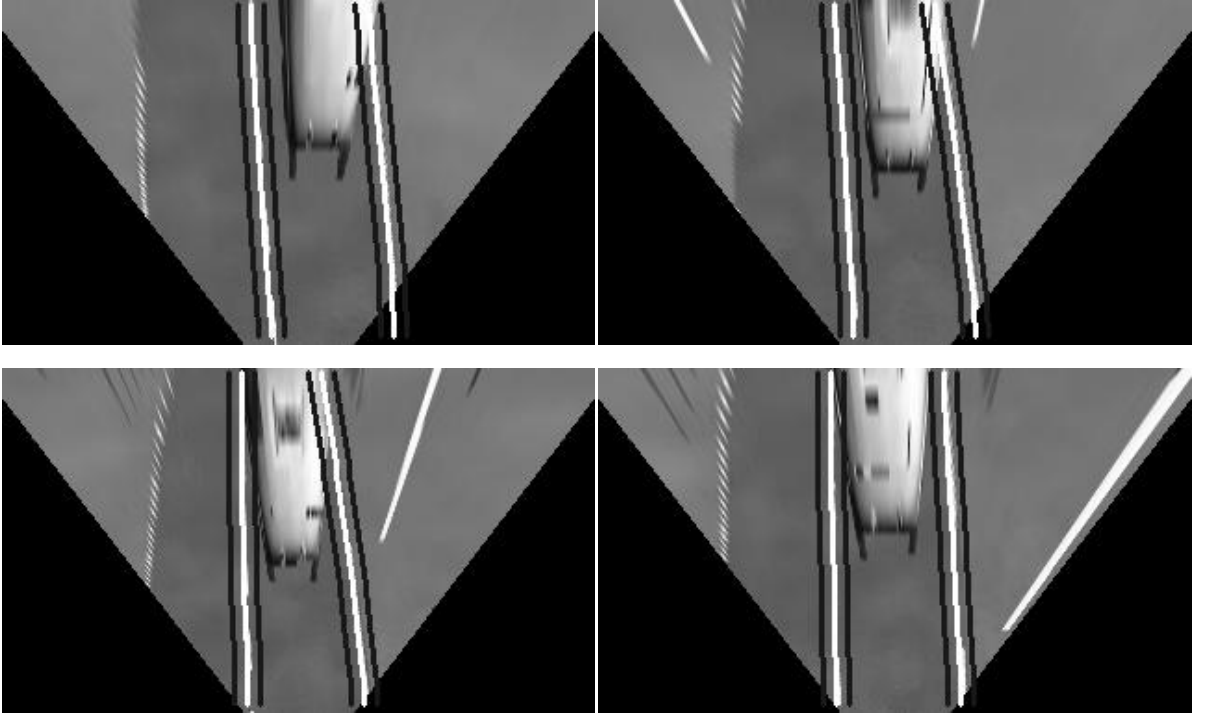


Şekil 3.71 Belirli aralıklarla ardışık dört giriş görüntüsü

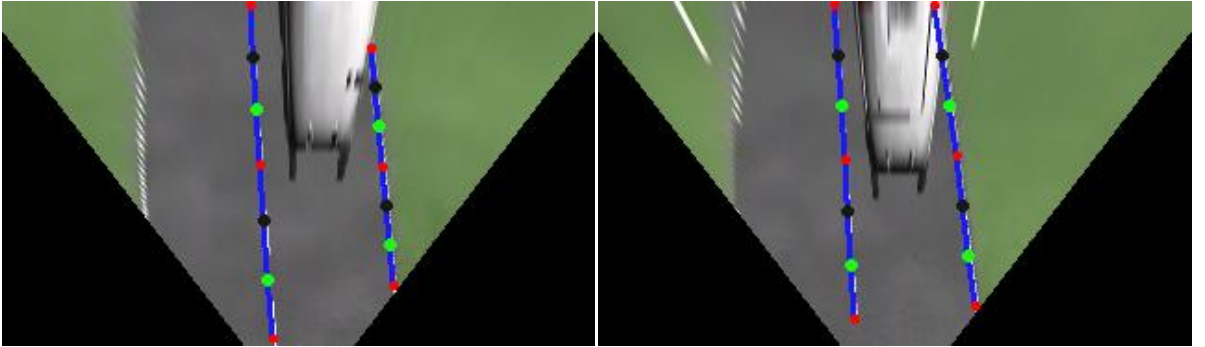


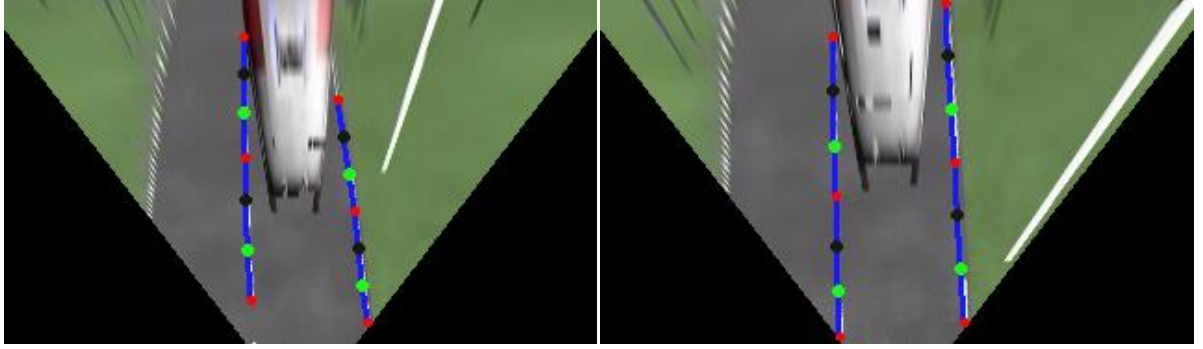


Şekil 3.72 Belirli aralıklarla ardışık dört kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali

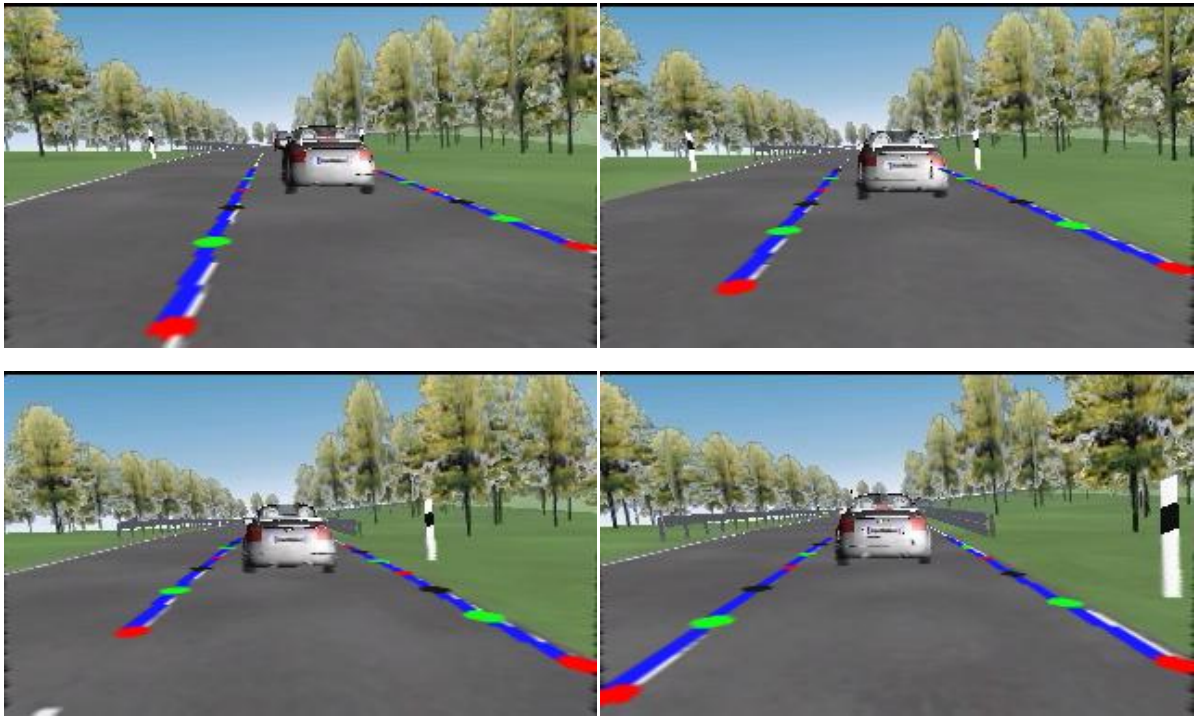


Şekil 3.73 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün Şablon şeritleri





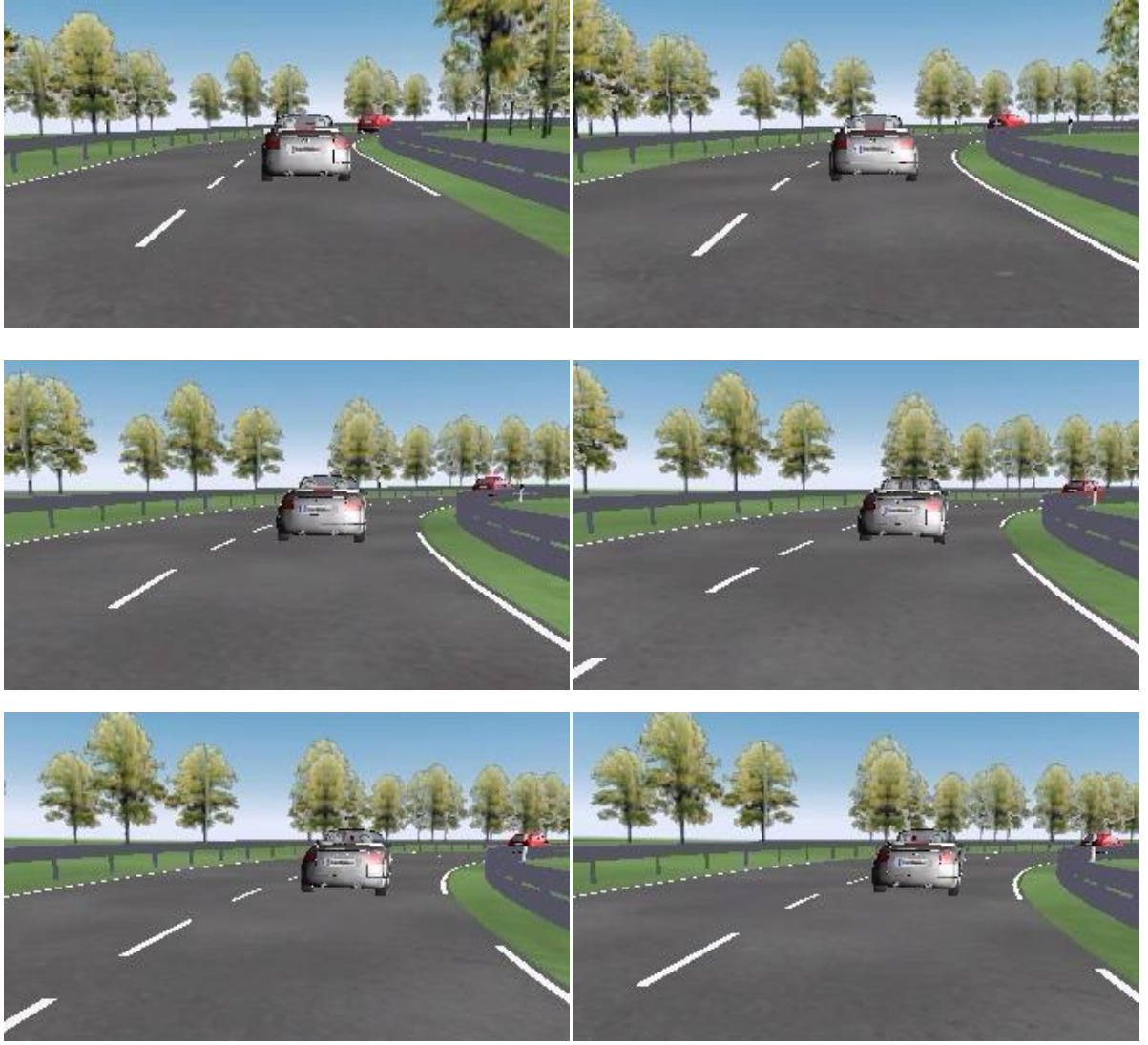
Şekil 3.74 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları



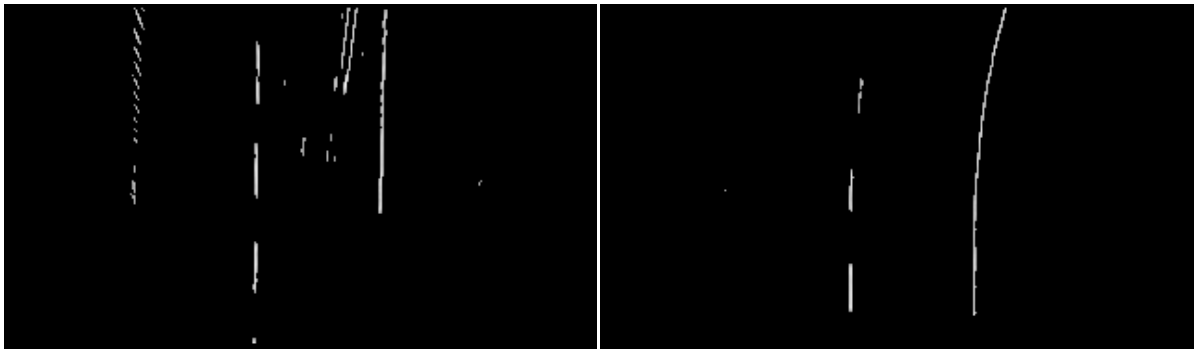
Şekil 3.75 Belirli aralıklarla ardışık dört görüntünün düzeltilmiş hali

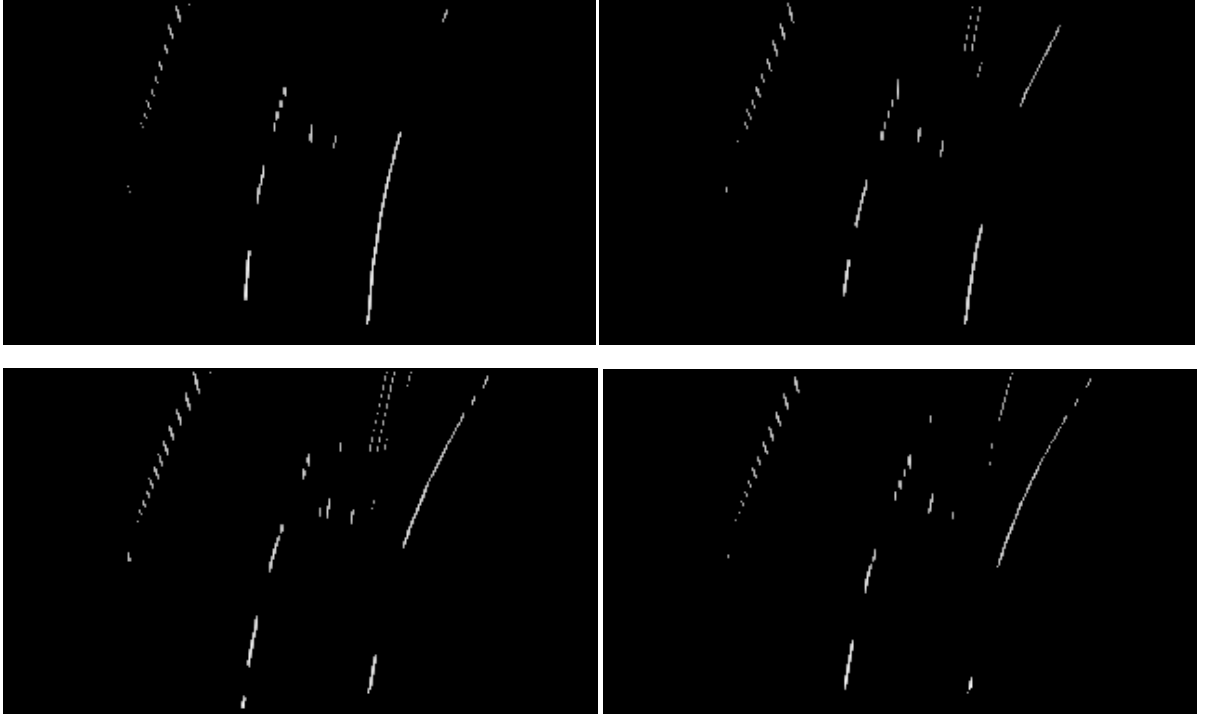
Şekil 3.74'deki görüntülerde şeritlerin sola yatık olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, aracımızın konumunun sol şerite yakın olması ve yolun ortasına doğru hareket haline olmasıdır.

Şekil 3.76 ile Şekil 3.80 arasındaki görüntülerde 3.2.4 bölümünde örneklenen senaryoya benzer bir senaryo görülmektedir. Ancak engel aracın rengi daha açıktır ve viraj esnasında şeritteki kopukluktan dolayı bazı şeritler tespit edilememiştir.

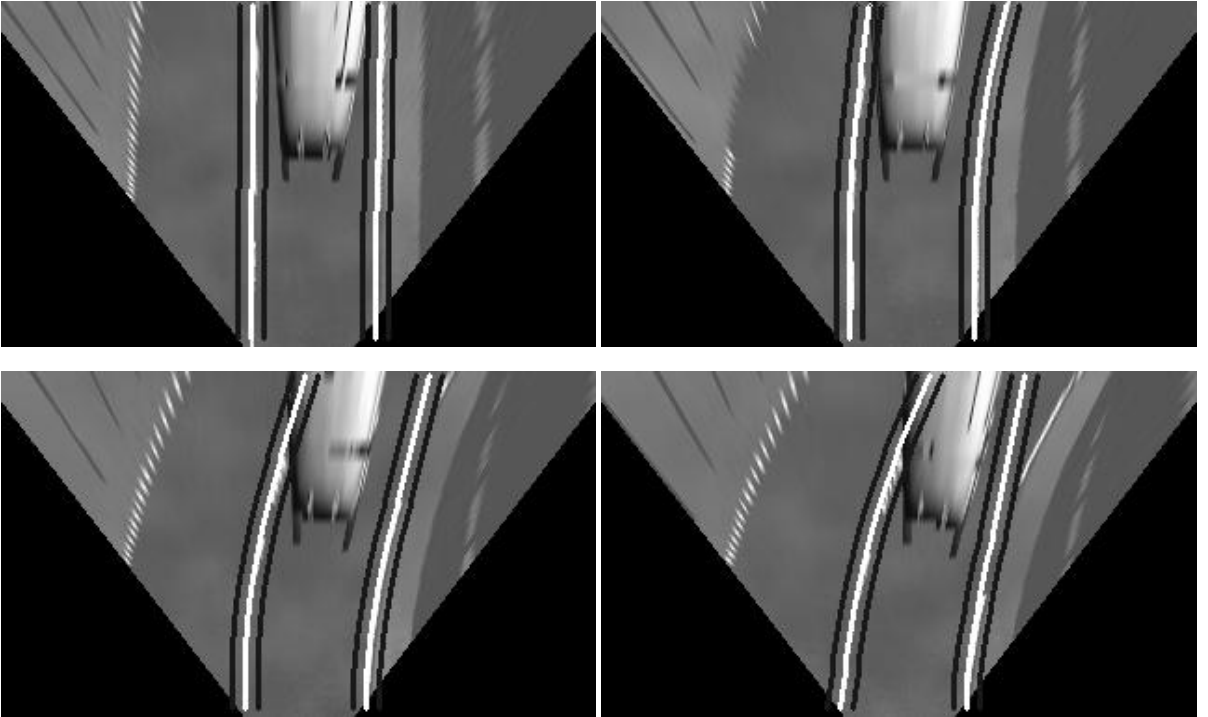


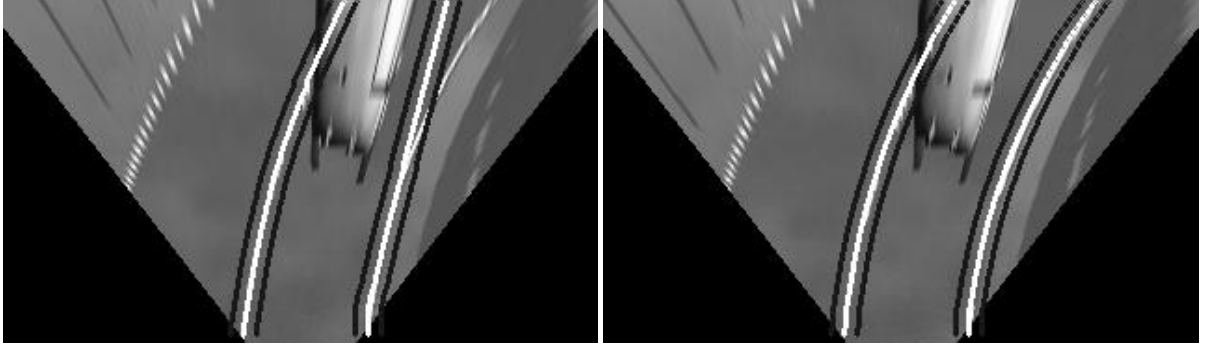
Şekil 3.76 Belirli aralıklarla ardışık altı giriş görüntüsü



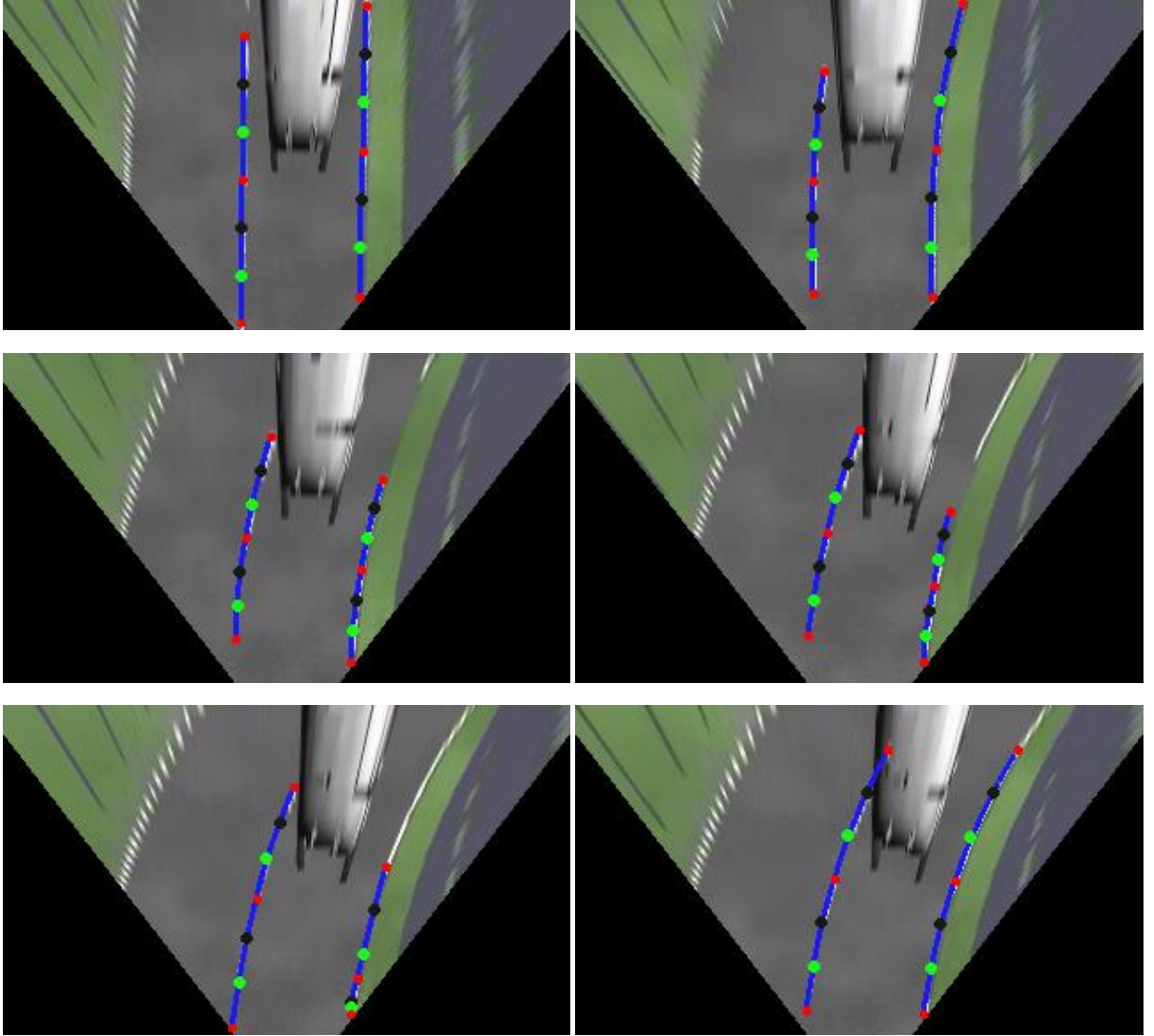


Şekil 3.77 Belirli aralıklarla ardışık altı kuş bakışı görüntünün Gabor ve eşiklenmiş hali

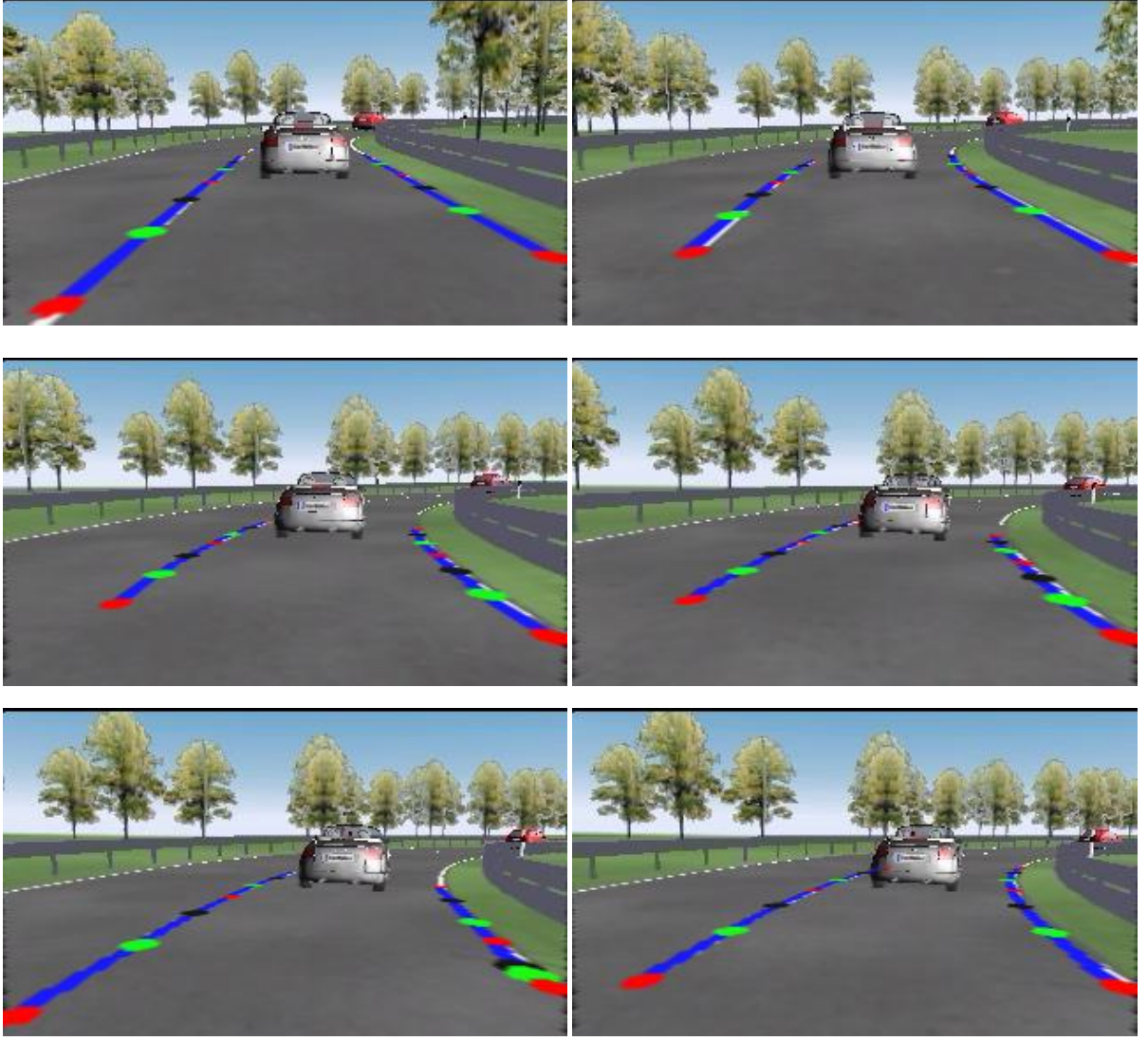




Şekil 3.78 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Şablon şeritleri



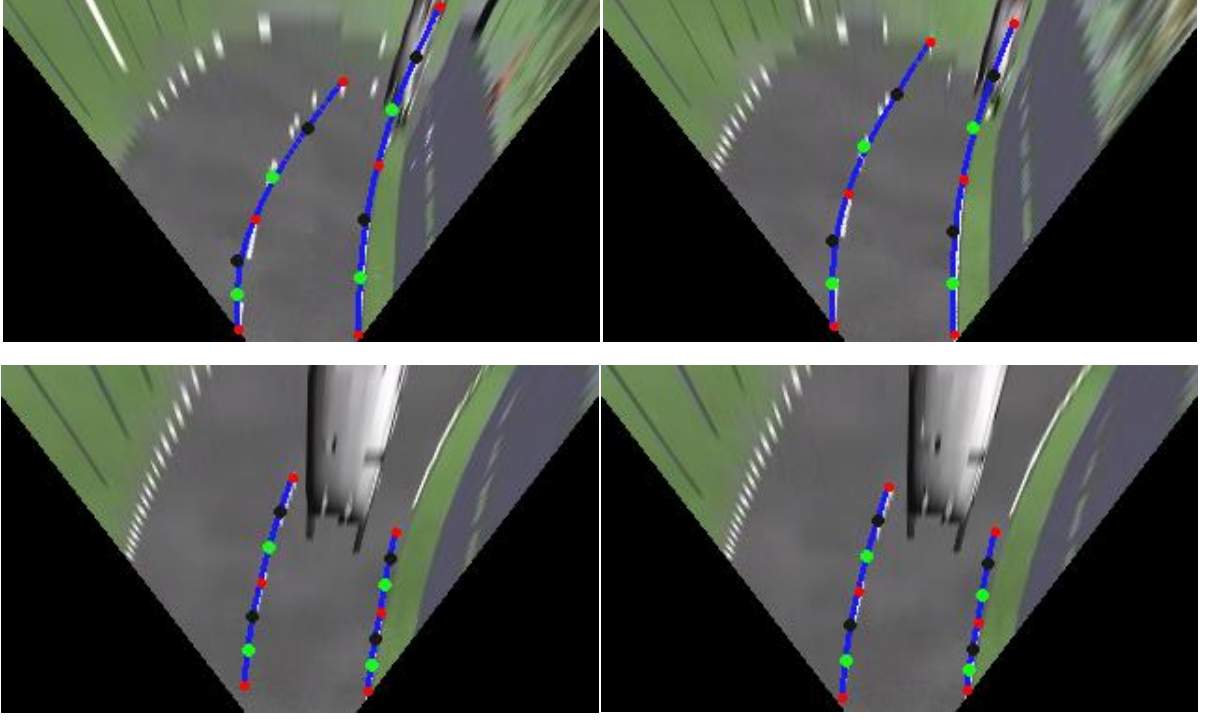
Şekil 3.79 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün Bezier eğri modeli sonuçları



Şekil 3.80 Belirli aralıklarla ardışık altı görüntünün düzeltilmiş hali

Şekil 3.78(c)(d)(e) resimlerinde görüldüğü gibi şablon şeritlerin hassasiyet parametresi şeritteki boşluğu atlatmaya yetmemektedir. Ancak birkaç görüntü sonra şeritteki boşluk doldurulduğunda şerit takibi yeniden başarılı bir şekilde yapılmıştır. Şekil 3.79'nın son dört görüntüsünde şeritteki büyük boşluktan kaynaklanan şerit bulamama ve hemen sonrasında boşluğun doldurulmasıyla yeniden şeritin bulunması durumları görülmektedir. Bazı görüntülerdeki şeritler doğru şekilde tespit edilemese de bu görüntüler, görüntü akışı içerisinde sürekliliği engellemektedir. Aracı şeritlerin içerisinde tutmaya yetecek bilgi elde edilmiştir. Bu çalışmada aracın şerit içinde tutulmasında iki şeridin de en altında bulunan özellik noktalarının koordinat bilgileri kullanılmaktadır. Bütün test videolarında görüldüğü gibi şeritlerin en altında bulunan özellik noktaları bütün görüntülerde doğru şekilde tespit edilmiştir. Bu test videosunda 650 görüntü bulunmaktadır ve bunlardan 22 tanesi yanlış tespit

edilmiştir. Başarı ölçümü sonucunda %96.4'lük başarı hesaplanmıştır. Hatalı görüntülerden bazıları Şekil 3.81'da gösterilmektedir.



Şekil 3.81 Karmaşık test videosundaki başarısız şerit tespit sonuçlarından bazıları

Sistemde 320 x 240 çözünürlüğündeki görüntüler işlenmektedir. Bir görüntü için işlem hızı 15 ms gibi kısa bir süredir. Bir görüntüyü 15 ms'de işleyerek saniyede 67 görüntülük işlem hızı sağlanmaktadır. Günümüzde video görüntülerde yaygın olarak kullanılan görüntü/saniye oranı 23.976 ve 25'tir. 67 görüntü/saniye hızı gerçek zamanlı bir sistem için fazlasıyla yeterli olmaktadır. Sistemin çalıştırıldığı ortam bir dizüstü bilgisayardır. Kullanılan bilgisayarın sistem özellikleri Çizelge 3.1'de görülmektedir.

Çizelge 3.1 Sistem Test Ortamı Özellikleri

Birim	Özellik
İŞLEMCİ	Intel Core 2 Duo 2.4 Ghz, 3MB Ön Bellek
RASTGELE ERİŞİLEBİLİR BELLEK	3 GB DDR 2 667MHz

Uygulama bölümündeki video görüntüler bu bilgisayar ortamında test edilmiştir.

Senaryolara göre başarı oranları Çizelge 3.2 'Çeşitli senaryolar ve başarı oranları' de

gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 Çeşitli senaryolar ve başarı oranları

Senaryo	Görüntü Sayısı	Başarılı Görüntü	Başarısız Görüntü	Başarı Oranı
Engelsiz & Düz	431	431	0	%100
Engelsiz & Virajlı	750	744	6	%99,2
Engelli & Düz	650	650	0	%100
Engelli & Virajlı	500	500	0	%100
Karmaşık 1	850	826	24	%97,1
Karmaşık 2	650	628	22	%96,4
Sonuç	3831	3784	47	%98,7

3.2.6 Sistemin Gerçek Zaman Test Sonuçları

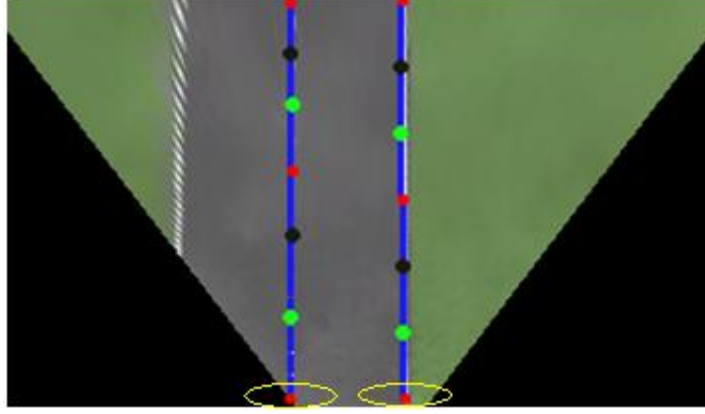
Önceki testlerde sistemin önceden kaydedilmiş videolar üzerindeki başarısı görülmektedir. Bu videolarda aracın hareketlerine müdahale edilememiştir. Aracın başarılı bir şekilde şerit içerisinde tutulup tutulmadığını test etmek amacıyla Carmaker simülasyon yazılımı ve bu çalışmada geliştirilen görüntü işleme bölümü eş zamanlı olarak çalıştırılmıştır. Araç hareketlerini modelleyen ve direksiyon kontrolünü sağlayan sistem MATLAB Simulink kullanılarak tasarlandığı için 2. bölümde anlatıldığı gibi görüntü işleme yazılımı MATLAB S-Function'a çevrilerek, donanım kontrolünü sağlayan bölümle haberleşme sağlanmıştır. Görüntülerde tespit edilen şeritlerin en alt özellik noktalarının koordinat bilgileri eşitlik (3.1), (3.2) ve (3.3)'deki gibi kullanılarak aracın hangi şeride ne kadar mesafede olduğu bilgisi hesaplanabilmektedir.

$$\text{ŞM} = \frac{\text{görüntü.en} - (\text{özellik_noktası}_{\text{alt}_{\text{sol}}} \cdot X + \text{özellik_noktası}_{\text{alt}_{\text{sag}}} \cdot X)}{2} \quad (3.1)$$

$$\text{ŞM}_{\text{sol}} = \frac{\text{görüntü.en}}{2} - (\text{özellik_noktası}_{\text{alt}_{\text{sol}}} \cdot X) \quad (3.2)$$

$$\text{ŞM}_{\text{sag}} = (\text{özellik_noktası}_{\text{alt}_{\text{sag}}} \cdot X) - \frac{\text{görüntü.en}}{2} \quad (3.3)$$

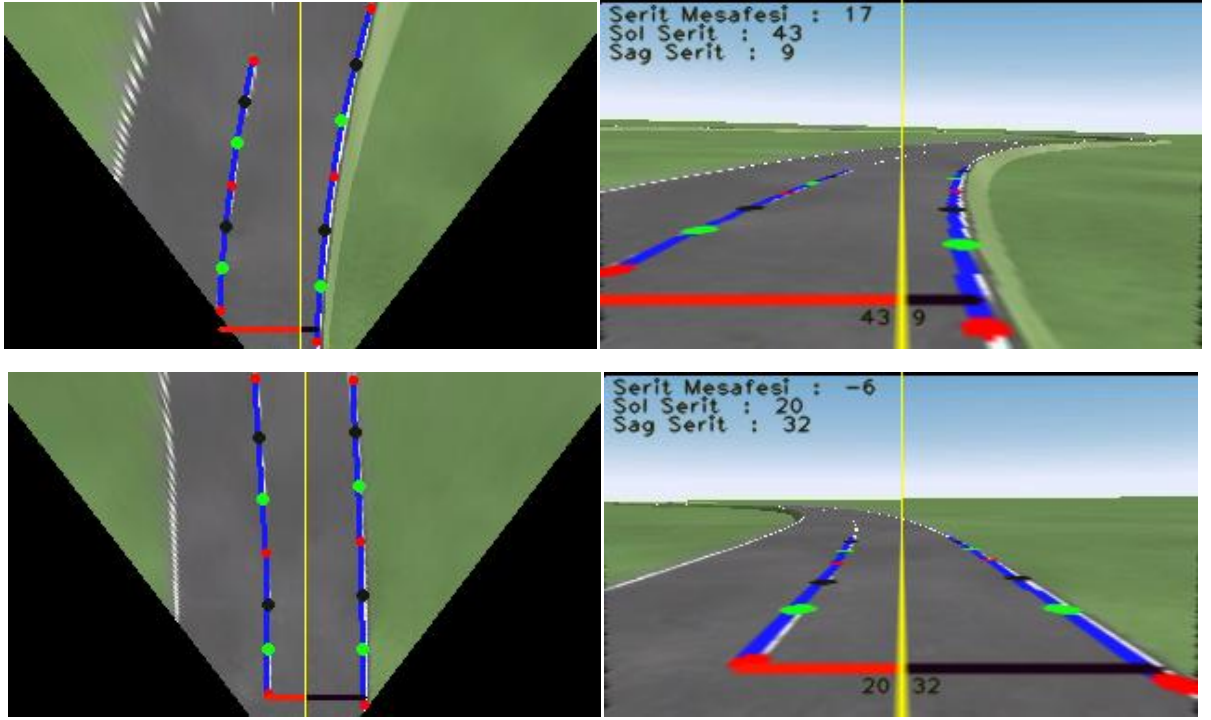
Eşitliklerdeki “görüntü.en” parametresi çalışmada kullanılan görüntülerin çözünürlüğünün x-koordinatındaki değeridir. “ŞM” parametresi şeritler için hesaplanan şerit mesafesidir. Diğer parametreler özellik_noktası_{altsol} ve özellik_noktası_{altsağ} Şekil 3.82’de görülmektedir.



Şekil 3.82 Alt sol ve alt sağ özellik noktaları

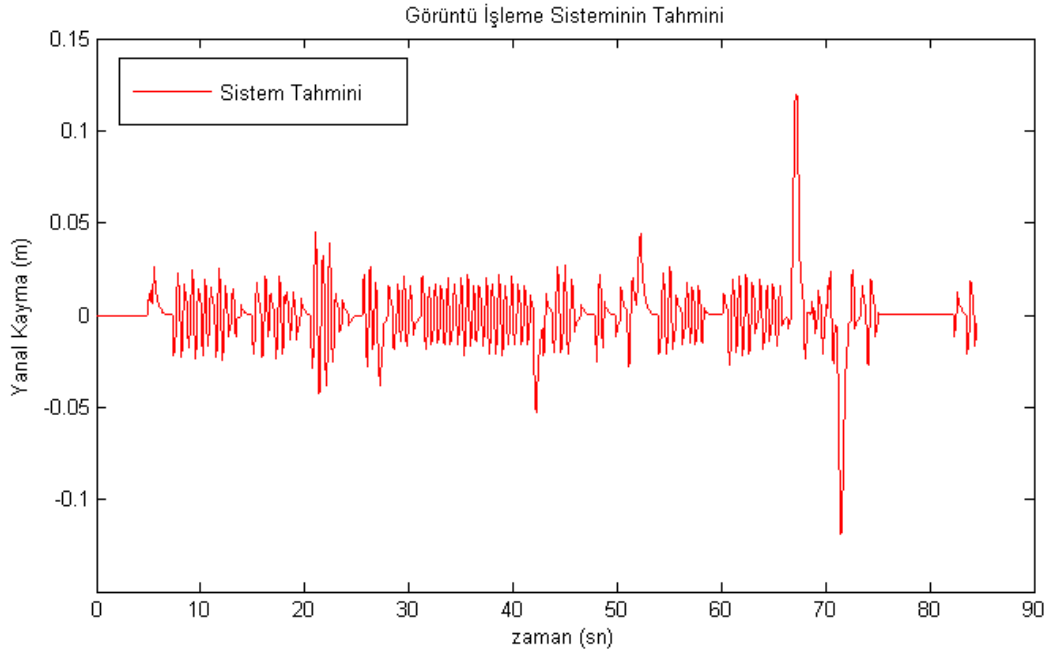
Simülasyon aracında kameranın yerleştirildiği yer aracın ön camının tam orta noktası olduğundan görüntülerde aracın bulunduğu nokta her zaman resmin ortası olmaktadır. Şeritlere olan uzaklık hesaplanırken bu noktadan özellik noktalarına olan uzaklık göz önünde bulundurulmaktadır. Araç kontrol birimine gönderilecek olan parametrelerin sayısını azaltmak için yalnızca (3.1) deki şerit mesafesi parametresi kullanılmaktadır. Bu parametre (3.2) ve (3.3)’ de hesaplanan iki parametreyi de kapsamaktadır. (3.1) deki şerit mesafesinin değeri negatif olduğunda araç sol şeride yakın, pozitif olduğunda sağ şeride yakın ve sıfır olduğunda ise yolun tam ortasında gitmektedir. Araç sol şeride yaklaştıkça görüntüdeki yol sağa, sağ şeride yaklaştıkça yol sola doğru kaymaktadır. Şekil 3.83’de şerit mesafelerinin ölçümü ve görüntünün araç hareketine bağlı değişimi görülmektedir.





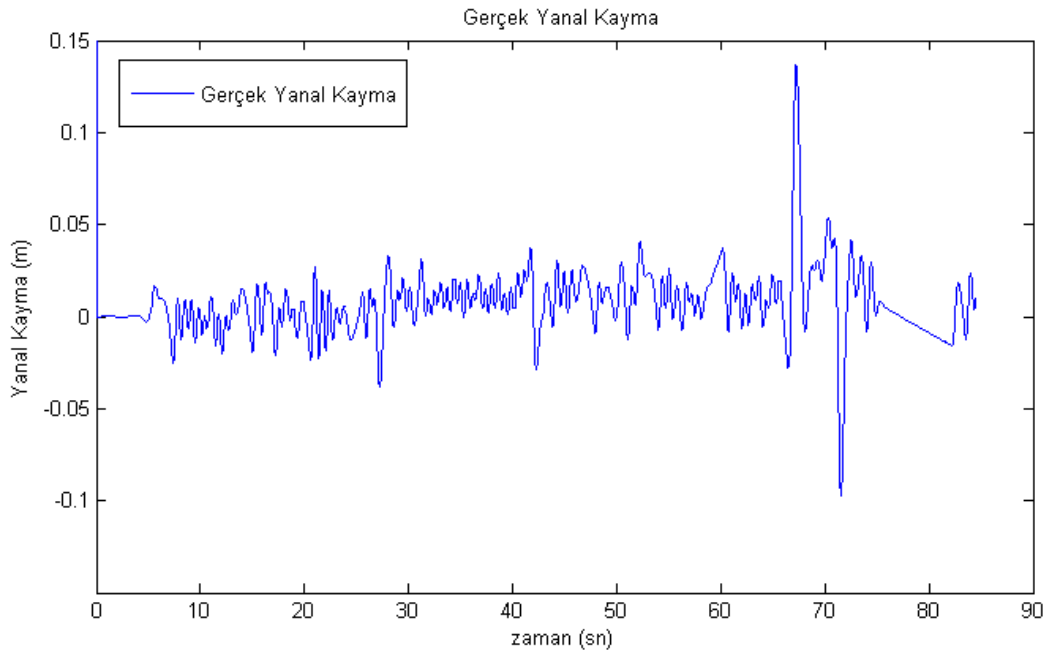
Şekil 3.83 Şerit mesafesi hesaplama sonuçlarının görüntüler üzerindeki gösterimi

Şeritlere olan uzaklık tahmininin başarısını görebilmek için yol boyunca aracın Şerit Mesafesi parametresinin grafiği çıkarılmıştır. Carmaker simülasyonunun aracın şerit içindeki hareketi için ürettiği grafik ile kıyaslandığında birbirlerine çok benzer oldukları görülmüştür. Şekil 3.84’de sistem tarafından şerit mesafesine göre çizilen yanal kayma grafiği gösterilmektedir.



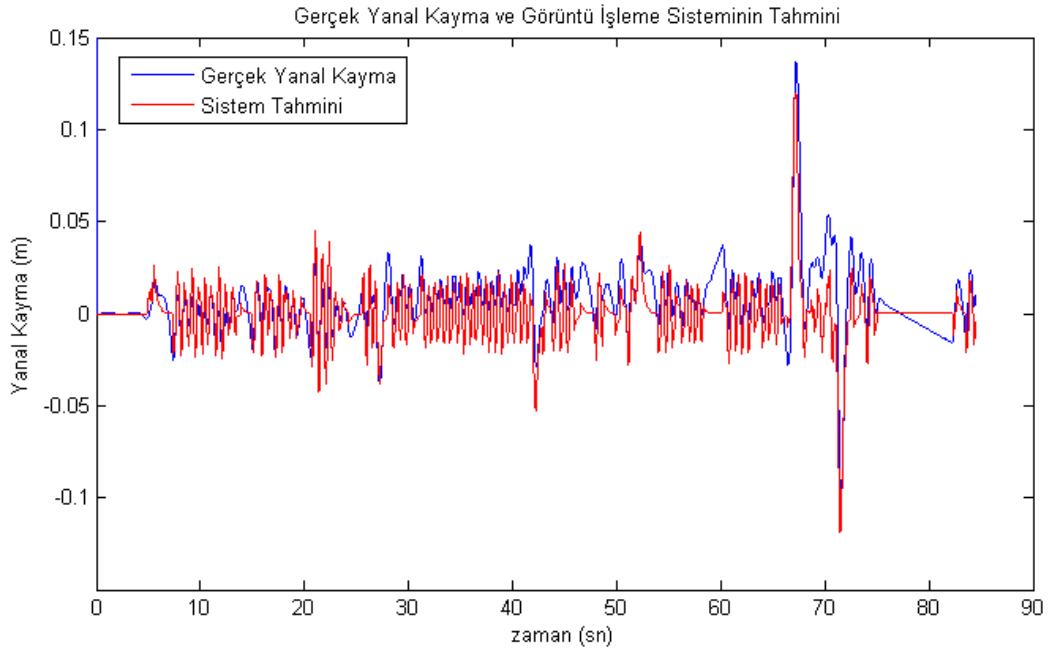
Şekil 3.84 Sistemin yanal kayma tahmin grafiği

Şekil 3.85’de Carmaker simülasyonunun ürettiği yanal kayma grafiği gösterilmektedir.



Şekil 3.85 Gerçek yanal kayma grafiği

Görüldüğü gibi tahmin grafiği ile gerçek grafik birbirine benzemektedir. Bu iki grafiğin üst üste koyulmuş hali Şekil 3.86’de görülmektedir.



Şekil 3.86 Gerçek ve tahmini yanal kayma grafikleri

Sistem gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Araç hareketlerinin kontrolü, sistem tarafından tespit edilen şerit mesafesine göre yapıldığında aracın şeritler içinde kaldığı gözlemlenmiştir. Ancak araç virajlarda salınım hareketi yapmaktadır. Bunun sebebi de aracın şeritlere olan mesafesinin tekil olarak değerlendirilmesidir. Yani sistemde aracın herhangi bir şeride daha yakın olarak gitmesine izin verilmemektedir. Bunu engellemek için de yaklaşılan şeridin tersi yönde direksiyon çevirme hareketi uygulanmaktadır. Bu sebepten salınım hareketi ortaya çıkmaktadır.

4. SONUÇLAR ve YORUMLAR

Uygulama bölümünde kullanılan farklı senaryolar içeren test videoları ve gerçek zamanlı video görüntüsündeki sonuçlar değerlendirildiğinde ortalama %98,7'lik bir başarı elde edildiği görülmüştür. Sistemin başarısız olduğu görüntüler ağırlıklı olarak şeritler arasında uzun kopuklukların olduğu yani eğri modelinin örnekleneceği parlak piksellerin azaldığı veya kaybolduğu görüntüler ve yoldaki ani eğim farklılıklarından kaynaklanan olumsuzlukları içeren görüntülerdir. Ani hız değişimlerinden kaynaklanan kamera açısı farklılıklarını, keskin virajları, görüş menzili içerisindeki araçları içeren görüntülerde şeritler nadiren tespit edilememiştir. Uygulanan test videolarında başlangıçtan bitişe kadar şerit takip sistemi tutarlı bir şekilde bir sonraki görüntüdeki şeritlerin olası eğri modellerini tahmin edebilmektedir.

Bölüm 1.1 ve 2.1.8'de bahsedildiği gibi trafik şeridi tespit ve takip sistemlerinde kesin bir doğru sonuç (ground truth) verisi olmadığından başarı ölçümü yapılırken deneysel sonuçlara göre üretilmiş eşik değerleri kullanılmaktadır. Bu yüzden çalışmalardaki başarı sonuçları göreceli hale gelmekte, birbirine göre değerlendirilememektedir. Başarı ölçümü yapmak için videoların içindeki her bir görüntü birer birer kaydedilip elle doğru sonuç verisi çizilebilir. Daha sonra ilgili video test edilirken şerit tahmin değerleri elle çizilen şerit değerleri ile kıyaslanabilir. Ancak bu hem çok zahmetli bir iştir hem de başarı ölçümünü yalnızca önceden kaydedilmiş videolar için yapmamıza olanak sağlamaktadır.

Sürücü yardım sistemleri tasarlanırken insan sürücülerin refleks ve davranışlarının modellenmesinde fayda vardır. Bu şekilde olumsuz şerit tespit sonuçlarının sayısı en aza indirilmiş olur. Mesela aşırı keskin virajlarda insan sürücü gözünü ve başını viraj yönüne doğru çevirmektedir. Böylelikle virajın devamını görerek ne yapması gerektiğine karar verebilmektedir. Bu yüzden görüntü işleme sistemlerini tek başına bir yazılım modülü olarak düşünmek doğru olmaz. Keskin viraja göre kamera açısının değiştiği bir sistemde özellik noktaları kaybolmayacağından viraj açısı ne olursa olsun trafik şeritleri doğru şekilde tespit edilebilir. Yollardaki rampa ve yokuş durumlarını düşünecek olursak; insan sürücü görüşünü kısıtlayacak kadar bir yokuş algıladığında aracın hızını azaltıp yokuşun sonunu ve virajı algılamaya çalışır. Bu durum görüntü işleme sistemi ile bağdaştırıldığında bu çalışmada şerit takip sisteminde kullanılan şablon şeridin üst arama sınır noktasının daha aşağıdan başlatılması gerekir. Çünkü yokuştan kaynaklanan yol sonu bilgisi kamera açısı sabit olduğundan değişecektir ve yolun sonu diye düşünülen nokta artık başka bir bölgeyi göstermeye başlayacaktır. Ancak yalnızca görüntü bilgisinden rampa veya yokuşun

algılanması çok kolay olmayacağından bu şekilde bir davranış mümkün olmamaktadır. Bu yüzden günümüzde tasarlanan sürücü yardım sistemleri yalnızca bir yazılım modülü olarak görülmemelidir. Bu tarz sistemler ancak birtakım sensör ve donanımlarla desteklendiklerinde insan yeteneklerine yakın bir seviyeye gelebilmektedirler.

Bu çalışmayı geliştirmek için aşırı virajlardan kaynaklanan özellik noktası kayıplarını engelleyebilecek olan görüntüyü döndürme işlemi uygulanabilir. Aşırı virajlarda virajın uç noktaları silinebilmekte hatta tamamen ortadan kalkabilmektedir. Bunun nedeni Gabor filtresinin sıfır derecelik açı ile uygulanmasıdır. Şeritlerin eğimleri belirli bir açıyı geçtiğinde görüntüyü eğimin tersi yönde döndürüldüğünde yine sıfır dereceye yaklaştırılmış olacağı için görüntü kayıpları azalacaktır.

KAYNAKLAR

Aly, M.,(2008), “Real time Detection of Lane Markers in Urban Streets”, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Haziran 2008 Eindhoven.

Carmaker-HIL: <http://www.ipg.de/629.html>

Daugman, J. (1980), “Two-dimensional analysis of cortical receptive field profiles”, Vision Research, 20:846-856.

Dspace-Microautobox : <http://www.dspace.com/ww/en/pub/home/products/hw/micautob.cfm>

Farin, G., (1993), Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design, San Diego Academic Press, San Diego.

Gabor, D., (1946), “Theory of Communication”, Journal of the Institute of Electrical Engineers, 93:429-457.

Grigorescu, S.E., Petkov, N. ve Kruizinga, P., (2002), “Comparison of texture features based on Gabor filters”, IEEE Transactions on Image Processing, 11: 1160-1167.

Grigorescu, C., Petkov, N. ve Westenberg, M. A., (2003), “Contour detection based on nonclassical receptive field inhibition”, IEEE Transactions on Image Processing, 12:729-739.

Grimmer, D., Lakshmanan, S., (1996), “A deformable template approach to detecting straight edges in radar images”, ”IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence”, 18:438-443.

Hartley, R. Ve Zisserman, A., (2000), Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge Univ. Press, U.K.

Heckbert, S. P., (1989), “Fundamentals of Texture Mapping and Image Warping”, Dept. Of Electrical Engineering and Computer Science, University of California Berkeley, 17 Haziran 1989 California.

Jiang, R., Klette, R., Vaudrey, T. ve Wang, S., (2009), “New Lane Model and Distance Transform for Lane Detection and Tracking”, “13th International Conference, CAIP 2009”, 2-4 Eylül 2009 Münster.

Jiang, R., Terauchi, M., Klette, R., Vaudrey, T. ve Wang, S., (2009), “Low-level Image Processing for Lane Detection and Tracking”, “First International Conference, ArtsIT 2009”, 24-25 Eylül 2009 Yi-Lan.

Kaliyaperumal, K., Lakshmanan, S. ve Kluge, K., (2001), “An algorithm for detecting roads and obstacles in radar images”, “IEEE Transactions on Vehicular Technology”, 50:170-182.

Kim, W., (2008), “Robust Lane Detection and Tracking In Challenging Scenarios”, “IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems”, 9:16-26.

Kluge, K. ve Lakshmanan, S., (1995), “A Deformable Template Approach to Lane Detection”, “IEEE Intelligent Vehicle Symposium”, 25-26 Eylül 1995 Detroit.

Lakshmanan, S. ve Kluge, K., (1995), "Lane Detection for Automotive Sensor", "ICASSP", 2955-2958.

Lim, K. H., Ang, L., Seng, K. P. ve Chin, S. W., (2009), "Lane-Vehicle Detection and Tracking", "International MultiConference of Engineers and Computer Scientists", 18-20 Mart 2009 Hong Kong.

Lorentz, G. G., (1953), Bernstein Polynomials, University of Toronto Press, Toronto.

Macek, K., Williams, B., Kolski, S., Siegwart, R., (2004), "A lane detection vision module for driver assistance", IEEE Mechatronics and Robotics, 13-15 Eylül 2004 Aachen.

Möbius, F. A., (1967) "Die Barycentrische Calcul", Gesammelte Werke, Wiesbaden Germany 1967.

Muad, A.M., Hussain, A., Samad, S.A., Mustaffa, M.M. ve Majlis, B.Y., (2004), "Implementation of inverse perspective mapping algorithm for the development of an automatic lane tracking system", "TENCON 2004 Conference", 1:207-210.

Nedevschi, S., Schmidt, R., Graf, T., Danescu, R., Frentiu, D., Marita, T., Oniga, F. ve Pocol, C., (2004), "3D Lane Detection System Based on Stereovision", "IEEE Intelligent Transportation Systems Conference", 3-6 Ekim Washington.

Perspektif Tren Rayı : <http://www.draw23.com/images/perspective-parallel-lines.jpg>

Petkov, N. ve Westenberg, M. A., (2003), "Suppression of contour perception by band-limited noise and its relation to non-classical receptive field inhibition", Biological Cybernetics, 88: 236-246.

Piegl, L. A. ve Tiller, W., (2000), "Curve Interpolation with Arbitrary End Derivatives", Engineering with Computers, 16:73-79.

Wang, Y., Teoh, K. E. ve Shen, D., (2004), "Lane Detection and Tracking Using B-Snake", "Image and Vision Computing", 22:269-280.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 29.07.1985

Doğum yeri İstanbul

Lise 2000-2003 Gaziosmanpaşa Anadolu Lisesi

Lisans 2003-2007 Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fak.
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2007-2010 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Müh. Anabilim Dalı, Bilgisayar
Mühendisliği Programı

Çalıştığı kurumlar

2006-2008 CSA Bilişim Çözümleri Ltd. Şti.

2008-Devam ediyor Nortel Netaş Telekomünikasyon AŞ.