

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE OTOMOBİL SİLECEK SİLME
KALİTESİNİN BELİRLENMESİ

Yeşim ONAY

KOCAELİ 2014

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE OTOMOBİL SİLECEK SİLME
KALİTESİNİN BELİRLENMESİ

Yeşim ONAY

Doç. Dr. M. Kemal GÜLLÜ
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof. Dr. Sarp ERTÜRK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç. Dr. Cabir VURAL
Jüri Üyesi, Marmara Üniv.


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 21.01.2014

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında silecek silme kalitesinin ölçülmesi ve bozuk sileceklerin değerlendirilmesi ile ilgili yaptığım çalışmaların bu konuda çalışmak isteyenlere faydalı olmasını temenni ederim.

Tez çalışmam kapsamında, 00789.STZ.2011-1 kodlu “Kamera ile Silecek Silme Kalitesinin Ölçümü ve Değerlendirilmesi” adlı SAN-TEZ projesine sağladıkları destekler için Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile Teklas Kauçuk A. Ş.'ye teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca beni destekleyen ve her zaman çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan tez danışman hocam Doç. Dr. M. Kemal Güllü'ye teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca bana yol gösteren ve değerli bilgilerini benden esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Sarp Ertürk'e teşekkürlerimi borç bilirim.

En sıkıntılı anlarımda hep yanımda olan ve her zaman bana destek olan sevgili arkadaşım Sefa Yıldırım'a çok teşekkür ederim.

Hayatımın her evresinde sonsuz sevgi, ilgi ve destekleriyle her zaman yanımda olan sevgili aileme de teşekkürlerimi borç bilirim.

Ocak- 2014

Yeşim ONAY

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER.....	3
1.1. Silecek Sistemi	3
1.1.1. Lastik profilinin silecek lastiğinin yapısal özelliklerine etkisi	4
1.1.2. Lastik malzemesinin silecek lastiğinin yapısal özelliklerine etkisi	5
1.1.3. Lastik yüzey işleme sürecinin silecek lastiğinin yapısal özelliklerine etkisi.....	6
2. KAVRAMSAL VE DONANIMSAL TASARIM	9
2.1. Test Sistemi	10
2.2. Sistem Özellikleri	11
3. GÖRÜNTÜ ÖN İŞLEME	16
3.1. Lens Bozuklukları ve Giderilmesi.....	16
3.1.1. Kamera kalibrasyonu	17
3.2. Homografi Kalibrasyonu	20
3.3. Işıklılık Dengelenmesi.....	25
4. KARTEZYEN-KUTUPSAL KOORDİNAT DÖNÜŞÜMÜ	27
5. SİLECEK HATALARI VE HATALARIN DOKU ANALİZİ TEMELLİ TESPİT ÇALIŞMALARİ.....	33
5.1. Silecek Hatalarının Sınıflandırılması ve Tespit Öncesi Son İşlemler	33
5.2. Literatür Taraması	37
5.3. Ayrık Kosinüs Dönüşümü Temelli Hata Tespit Yöntemi.....	39
5.4. Ridgelet Dönüşümü Temelli Hata Tespit Yöntemi.....	44
6. SİLECEK HATALARININ EĞRİ UYDURMA TEMELLİ TESPİTİ	49
6.1. Işıklılık Uzayında Eğri Uydurma Temelli Tespit.....	49
6.1.1. En küçük kareler yöntemi kullanılarak eğri uydurma	49
6.1.1.1. Ağırlıklı en küçük kareler yöntemi.....	52
6.1.1.2. Gürbüz en küçük kareler yöntemi.....	54
6.2. Hata Tespit Algoritması	56
6.3. Tespit Edilen Silecek Hataların Sınıflandırılması.....	61
7. TESPİT YÖNTEMLERİNİN BAŞARIMLARININ NESNEL KARŞILAŞTIRILMASI	86
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	102
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	106

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Silecek Sistemi	3
Şekil 1.2.	Silecek lastiğinin kesit yapısı.....	4
Şekil 1.3.	Görme bölgelerinin Oluşturulması	7
Şekil 1.4.	Cam analizi	7
Şekil 2.1.	Tasarlanan sistem.....	9
Şekil 2.2.	(a), (b) Test sisteminin farklı açılardan görünüşü.....	10
Şekil 2.3.	Prosillica GE4900B Kamera.....	11
Şekil 2.4.	Prosillica GE bağlantı şeması	12
Şekil 2.5.	(a) Kamera konumu yandan kesit, (b) Kamera konumu üstten kesit	13
Şekil 2.6.	Açılış ara yüzü	14
Şekil 2.7.	Ayarlama yapma ara yüzü	14
Şekil 2.8.	Silecek motoru için ayar ara yüzü	15
Şekil 3.1.	(a) Dış bükey bozulma, (b) İç bükey bozulma	17
Şekil 3.2.	Kalibrasyon örüntüsü.....	17
Şekil 3.3.	Kalibrasyon görüntüleri	18
Şekil 3.4.	Köşe noktalarının bulunması	18
Şekil 3.5.	Kalibrasyon öncesi test imgesi	19
Şekil 3.6.	Kalibrasyon sonrası düzeltilmiş test imgesi	20
Şekil 3.7.	Homografi için kullanılan kalibrasyon kâğıdı	21
Şekil 3.8.	Kalibrasyon kâğıdının araba camı üzerine serilmesi.....	22
Şekil 3.9.	Kalibrasyon kâğıdının beyaz düzlemdeki yansıması.....	23
Şekil 3.10.	Kalibrasyon kâğıdının arka düzlemde alınan görüntüsü	23
Şekil 3.11.	Kalibrasyon kâğıdı görüntüsü homografi sonucu.....	24
Şekil 3.12.	Homografi öncesi sürücü bölgesi test imgesi	24
Şekil 3.13.	Homografi sonrası sürücü bölgesi test imgesi	25
Şekil 3.14.	Işıklılık dengelemesi sonrası sürücü bölgesi test imgesi	26
Şekil 4.1.	(a) Kartezyen koordinatlar, (b) Kartezyen- kutupsal koordinat dönüşüm sonucu	27
Şekil 4.2.	Koordinat dönüşümü eşitlikleri	27
Şekil 4.3.	Silecek yayları arasında kalan bölge.....	28
Şekil 4.4.	Silecek alt-üst noktalarının zamanla değişimi	29
Şekil 4.5.	Silecek alt-üst noktalarının zamanla değişimi	29
Şekil 4.6.	Silecek alt-üst noktalarının zamanla değişimi	29
Şekil 4.7.	KMvH yöntemi sonucunda bulunan merkez noktaları ve yarıçap değerleri	30
Şekil 4.8.	İmge açma işlemi yapılacak bölge.....	30
Şekil 4.9.	Alt ve üst yaylar arasında kalan bölgenin açılmış hali	31
Şekil 4.10.	Çizgisel hata test imgesi	31
Şekil 4.11.	İmge açma sonucu test imgesi	32
Şekil 5.1.	(a) İnce çizgisel hata, (b) Kalın çizgisel hata, (c) Bölgesel hata, (d) Tırlatma hatası	33
Şekil 5.2.	Tespit öncesi ön işlemler	34
Şekil 5.3.	Sürücü bölgesi maske imgesi.....	34

Şekil 5.4.	Maskeleme işlemi sonucundaki test imgesi.....	35
Şekil 5.5.	Kartezyen-kutupsal dönüşüm sonucu test imgesi.....	35
Şekil 5.6.	İlk sıfır noktalarına göre kırılmış test imgesi.....	36
Şekil 5.7.	Test imgesi.....	40
Şekil 5.8.	8x8 blok boyutlu ayırık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	41
Şekil 5.9.	8x8 blok boyutlu ayırık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	41
Şekil 5.10.	16x16 blok boyutlu ayırık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	42
Şekil 5.11.	16x16 blok boyutlu ayırık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	42
Şekil 5.12.	32x32 blok boyutlu ayırık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	43
Şekil 5.13.	32x32 blok boyutlu ayırık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	43
Şekil 5.14.	(a) Dalgacık uzayında örnekleme, (b) Ridgelet uzayında örnekleme.....	44
Şekil 5.15.	Dönüşümler arasındaki ilişki.....	45
Şekil 5.16.	16x16 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	46
Şekil 5.17.	16x16 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	46
Şekil 5.18.	36x36 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	47
Şekil 5.19.	36x36 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	47
Şekil 5.20.	46x46 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	48
Şekil 5.21.	46x46 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	48
Şekil 6.1.	Artıklar.....	50
Şekil 6.2.	Verilere uydurulan eğri.....	53
Şekil 6.3.	Artıklar.....	53
Şekil 6.4.	Doğrusal eğri uydurma ile çift kare ağırlıklı sağlam eğri uydurma.....	55
Şekil 6.5.	Bozuklukların olduğu bir satır verisi ve eğri uydurma sonuçları.....	56
Şekil 6.6.	Bozuklukların olduğu satır orijinal verisi ile eğri uydurma sonucu arasındaki fark.....	57
Şekil 6.7.	Bozuklukların olmadığı bir satır verisi ve eğri uydurma sonuçları.....	57
Şekil 6.8.	Bozuklukların olmadığı satır orijinal verisi ile eğri uydurma sonucu arasındaki fark.....	58
Şekil 6.9.	Satır sonuç imgesi.....	59
Şekil 6.10.	Sütun toplam grafiği.....	59
Şekil 6.11.	Sütun sonuç imgesi.....	60
Şekil 6.12.	Satır toplam grafiği.....	60
Şekil 6.13.	Karar ağacı yapısı.....	61
Şekil 6.14.	(a) Bölgesel hata sütun toplamı, (b) Tırlatma hatası sütun toplamı.....	63
Şekil 6.15.	(a) Şekil 6.14-a'daki işaretin enerji spektral yoğunluğu ve filtrelenmiş enerjiler, (b) 6.14-b'deki işaretin enerji spektral yoğunluğu ve filtrelenmiş enerjiler.....	63
Şekil 6.16.	Tırlatma etkisinin enerji spektral yoğunluğu üzerinden tespiti.....	64
Şekil 6.17.	İnce ve kalın çizgisel hata içeren tespit imgesi.....	65
Şekil 6.18.	Homografi ve ışıklılık dengelemesi sonucu.....	65

Şekil 6.19. Kartezyen-kutupsal koordinat dönüşümü sonucu açılmış imge	65
Şekil 6.20. Satır fark imgesi.....	66
Şekil 6.21. Sütun fark imgesi.....	66
Şekil 6.22. Farklı satır eşik değerleri için oluşturulan ROC eğrisi	67
Şekil 6.23. Satır sonuç imgesi ve sütun toplam grafiği.....	68
Şekil 6.24. Farklı sütun eşik değerleri için oluşturulan ROC eğrisi	68
Şekil 6.25. Sütun sonuç imgesi ve satır toplam grafiği.....	69
Şekil 6.26. İnce çizgisel hata tespit sonucu.....	70
Şekil 6.27. Kalın çizgisel hata tespit sonucu.....	71
Şekil 6.28. (a) İnce çizgisel hataların satır toplam grafiği, (b) Kalın çizgisel hata satır toplam grafiği	71
Şekil 6.29. Tespit sonucu	72
Şekil 6.30. Tespit sonucunun homografi imgesi üzerinde gösterilmesi	72
Şekil 6.31. Bölgesel ve ince çizgisel hatalar içeren tespit imgesi.....	73
Şekil 6.32. Homografi ve ışıklılık dengelemesi sonucu	73
Şekil 6.33. Kartezyen-kutupsal koordinat dönüşümü sonucu açılmış imge	73
Şekil 6.34. Satır fark imgesi.....	74
Şekil 6.35. Sütun fark imgesi.....	74
Şekil 6.36. Satır sonuç imgesi ve sütun toplam grafiği.....	75
Şekil 6.37. Sütun sonuç imgesi ve satır toplam grafiği.....	75
Şekil 6.38. İnce çizgisel hata tespit sonucu.....	76
Şekil 6.39. Hata tespit sonucu.....	76
Şekil 6.40. (a) İnce çizgisel hataların satır toplam grafiği, (b) Hata satır toplam grafiği.....	77
Şekil 6.41. Hata sütun toplam grafiği	77
Şekil 6.42. Hata sütun toplam grafiğinin enerji spektral yoğunluğu ve filtrelenmiş enerjiler.....	78
Şekil 6.43. Tespit sonucu	78
Şekil 6.44. Tespit sonucunun homografi imgesi üzerinde gösterilmesi	79
Şekil 6.45. İnce ve tırlatma hatası içeren tespit imgesi.....	79
Şekil 6.46. Homografi ve ışıklılık dengelemesi sonucu	79
Şekil 6.47. Kartezyen-kutupsal koordinat dönüşümü sonucu açılmış imge	80
Şekil 6.48. Satır fark imgesi.....	80
Şekil 6.49. Sütun fark imgesi.....	81
Şekil 6.50. Satır sonuç imgesi ve sütun toplam grafiği.....	81
Şekil 6.51. Sütun sonuç imgesi ve satır toplam grafiği.....	82
Şekil 6.52. İnce çizgisel hata tespit sonucu.....	82
Şekil 6.53. Hata tespit sonucu.....	83
Şekil 6.54. (a) İnce çizgisel hataların satır toplam grafiği, (b) Hata satır toplam grafiği.....	83
Şekil 6.55. Hata sütun toplam grafiği	84
Şekil 6.56. Hata sütun toplam grafiğinin enerji spektral yoğunluğu ve filtrelenmiş enerjiler.....	84
Şekil 6.57. Tespit sonucu	85
Şekil 6.58. Tespit sonucunun homografi imgesi üzerinde gösterilmesi	85
Şekil 7.1. Farklı tespit algoritmalarının ROC eğrileri.....	86
Şekil 7.2. Test imgesi.....	87
Şekil 7.3. 8x8 blok boyutlu ayırık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	88

Şekil 7.4.	8x8 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	88
Şekil 7.5.	6x16 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	89
Şekil 7.6.	16x16 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	89
Şekil 7.7.	32x32 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	90
Şekil 7.8.	32x32 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	90
Şekil 7.9.	16x16 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	91
Şekil 7.10.	16x16 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	91
Şekil 7.11.	36x36 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	92
Şekil 7.12.	36x36 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	92
Şekil 7.13.	46x46 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	93
Şekil 7.14.	46x46 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	93
Şekil 7.15.	Eğri uydurma temelli tespit algoritması sonucu	94
Şekil 7.16.	Test imgesi.....	94
Şekil 7.17.	8x8 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	95
Şekil 7.18.	8x8 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	95
Şekil 7.19.	16x16 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	96
Şekil 7.20.	16x16 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	96
Şekil 7.21.	32x32 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	97
Şekil 7.22.	32x32 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	97
Şekil 7.23.	16x16 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	98
Şekil 7.24.	6x16 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	98
Şekil 7.25.	36x36 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar.....	99
Şekil 7.26.	6x36 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	99
Şekil 7.27.	46x46 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar....	100
Şekil 7.28.	46x46 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller.....	100
Şekil 7.29.	Eğri uydurma temelli tespit algoritması sonucu	101

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Silme kalitesi değerlendirme skalası.....	8
--	---

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

w_i	: Ağırlık değeri
\hat{y}_i	: Eğri uydurma sonucu
ε	: Hata vektörü
σ	: Standart sapma
r	: Yarıçap

Kısaltmalar

FPS	: Frame Per Second (Saniyelik Görüntü Sayısı)
HFOV	: Horizontal Field of View (Yatay Görüş Açısı)
KMvH	: Kukush-Markovsky-Van Huffel
LAR	: Least Absolute Residuals(En Kesit Artıklar)
MAD	: Median Absolute Deviation(Ortanca Mutlak Sapma)
MP	: Mega Piksel
PLC	: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)
ROC	: Receiver Operating Characteristics (Alıcı İşletim Karakteristiği)
SNR	: Signal to Noise Ratio (İşaret Gürültü Oranı)
SVD	: Singular Value Decomposition (Tekil Değer Ayrışımı)
VFOV	: Vertical Field of View(Düşey Görüş Açısı)

GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE OTOMOBİL SİLECEK SİLME KALİTESİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Silecek, araçların emniyet niteliği taşıyan parçalarından bir tanesidir. Sileceğin ana fonksiyonu, sürücü ve yolcuya cam üzerindeki görüş alanında, uluslararası normların belirttiği oranda ve seviyede görüş yeteneğini kazandırmaktır. Bazı durumlarda camdan, silecek lastiğinden, silecek motor mekanizmasından kaynaklanan anormallikler nedeniyle sileceğin performansı bozulmaktadır. Bu da sürücü ve yolcu görüş alanında görsel bozukluklara neden olmaktadır. Görüş açısındaki bozukluklar sürüş emniyetini azaltırlar. Bu sebeple silme kalitesinin belirtilen standartlar çerçevesinde olması önem kazanmaktadır.

Mevcut silme kalitesi değerlendirme sistemlerinde, kalite değerlendirmesi uzman bir kişi tarafından yapılmakta ve silecek sisteminin performansı değerlendiricinin değerlendirme ölçeğini yorumlamasıyla ilişkili olmaktadır. Böylece kişilere bağlı değişkenlik gösteren değerlendirme sonuçları ortaya çıkmaktadır. Bu farklılıklar silme performansının yanlış değerlendirmesine sebep olabilmektedir.

Bu tez kapsamında, silecek silme kalitesinin kontrolünün insandan bağımsız olarak objektif bir değerlendirme sistemiyle yapılması için çalışmalar yapılmıştır. Bu doğrultuda tez kapsamında kamera temelli bir silme kalitesi ölçüm ve değerlendirme sistemi geliştirilmiştir. Bozuk sileceklerin cam üzerinde bıraktıkları izler görüntü işleme ile tespit edilerek, tespit edilen silecek hatalarının sınıflandırılması işlemi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doku Tespiti, Görüntü İşleme, Kalite Kontrol, Silecek Silme Performansı.

ASSESSMENT OF WIPING QUALITY OF CAR WIPER USING IMAGE PROCESSING

ABSTRACT

Wiper is one of the parts which serve as safety devices. The main function of a wiper is to give ability to gain visibility on the field of view of driver and passenger adhering to the international norms. In some cases, wiping performance is impaired due to abnormalities originated from auto glass, rubber wiper, or wiper motor mechanism. This, causes of visual impairment in visibility of driver and passenger. Visual disturbances in the view area reduce driving safety. Therefore, it is important to hold the wiping quality on the framework of specified quality standards.

In the existing systems of quality assessment of wiper, quality assessment is carried out by a competent person and performance evaluation of the wiper depends on this person. Therefore, the assesment changes from person to person. These differences may lead to incorrect assessment of wiping performance.

In this thesis, studies have been made for perform an objective evaluation system to quality control of wiper of regardless of the humans. A camera-based wiper performance measurement and evaluation system has developed in this thesis within this context. The traces left on the glass of damaged wiper are determined with image processing, the classification of detected wiper errors operation was performed.

Key Words: Texture Detection, Image Processing, Quality Control, Wiping Performance.

GİRİŞ

Araçlarda güvenlik unsurlarından birisi de özellikle yağışlı havalarda görüş kalitesinin üst seviyede tutulmasıdır. Silecekler araçta bu emniyeti sağlamak için kullanılan parçalardır ve bu noktada sileceklerin silme performansı büyük önem kazanmaktadır. Silmenin belirli standartları sağlaması, sürüş güvenliği açısından önemlidir. Mevcut durumda silecek kalite testleri uzman kişilerce yapılmaktadır. Bu nedenle sonuçlar kişilere bağlı olarak farklılık gösterebilmekte, bazı kusurlar tespit edilememektedir. Değerlendirmedeki bu sorunların giderilebilmesi için silme performansının ölçümünün objektif şekilde standartlaştırılması gerekmektedir. Literatürde silecek kusurlarını otomatik tespit etmeye yönelik bir sistem ya da yöntem bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasında, silecek silme kalitesinin ölçümü ve değerlendirilmesi için görüntü işleme temelli bir sistem geliştirilmiştir. Silecek bozukluklarından kaynaklanan hatalı bölgeleri test etmek için öncelikle MATLAB kullanılarak görüntü işleme ve analiz algoritmaları geliştirilmiştir. Sonrasında kamerayla görüntünün alınması ve daha hızlı işlenmesi için algoritmalar C# programlama dilinde yazılmış ve bir kullanıcı ara yüzü oluşturulmuştur. Geliştirilen sistem üzerinde farklı kusurların tespitine yönelik testler yapılmış ve geliştirilen tespit ve sınıflandırma yaklaşımlarının başarımları değerlendirilmiştir.

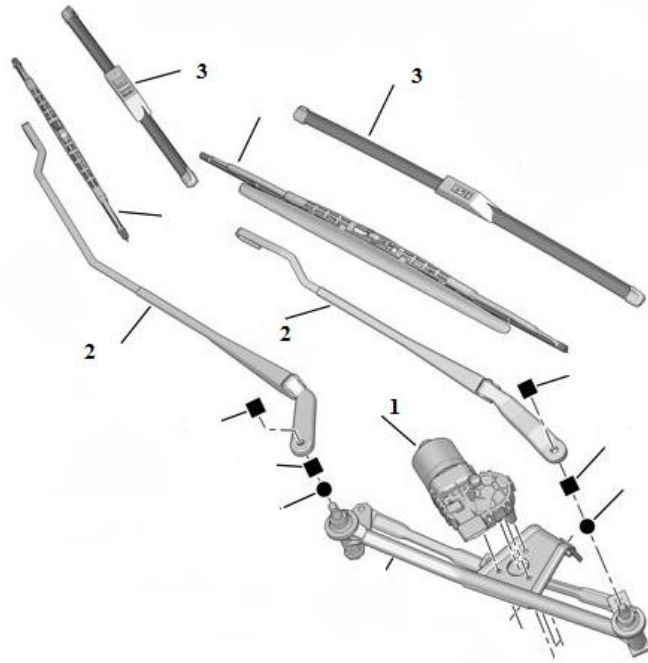
Bu tez çalışmasında 1. Bölümde silecek sistemi hakkında genel bilgiler verilmiştir. 2. Bölümde tez kapsamında geliştirilen sistemin kavramsal ve donanımsal tasarımı detaylı olarak anlatılmıştır. 3. Bölümde cam üzerinde oluşan su kalıntılarının tespitinden önce yapılması gereken ön hazırlıklar anlatılmıştır. 4. Bölümde kartezyen - kutupsal koordinat dönüşümü açıklanmıştır. 5. Bölümde imge üzerindeki farklı doku bölgelerinin tespiti için literatürde kullanılan başka yöntemler anlatılmış ve silecek hatalarının tespiti içinde tespit imgeleri üzerinde denenmiştir. 6. Bölümde silecek hataları nedeniyle oluşan hatalı bölgelerinin tespiti için geliştirilen eğri uydurma temelli tespit yöntemi anlatılmış ve sonuçları gösterilmiştir.

7. Bölüm 'de ise geliştirilen eğri uydurma yöntemi ve diğer yöntemlerin nesnel karşılaştırılması yapılarak, test imgeleri üzerindeki başarımları değerlendirilmiştir.

1.GENEL BİLGİLER

1.1.Silecek Sistemi

Silecek sistemi, araç camı üzerinde silme işlemini gerçekleştiren silecek süpürgesi, süpürgeyi cama belirli bir yük ve açı ile bastıran silecek kolu ile silecek kol ve süpürgesini cam üzerinde çeviren silecek motor-mekanizmasından oluşmaktadır. Genel bir silecek sistemi Şekil 1.1’de gösterilmektedir. Şekilde 1 numaralı parça silecek motorunu, 2 numaralı parça silecek kolunu ve 3 numaralı parça silecek süpürgesini göstermektedir.



Şekil 1.1. Silecek Sistemi [1]

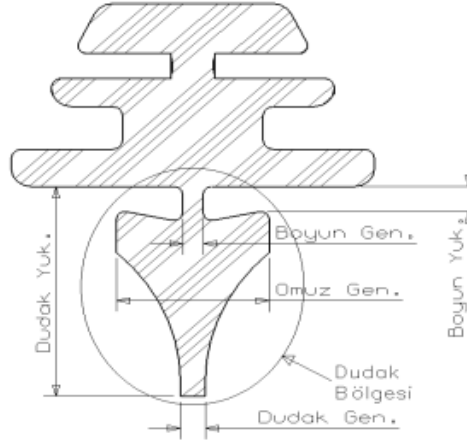
Silecek sisteminin temel fonksiyonu, araç camı üzerindeki su ve yabancı maddeleri camdan uzaklaştırmak ve araç kullanıcılarına güvenli görüş sağlamaktır. Silecek lastiği, silecek sisteminin araç camı ile temas eden kısmıdır ve ürünün performansını doğrudan etkilemektedir.

Silecek lastiğinin yapısal özelliklerini etkileyen üç temel faktör şu şekilde belirtilebilir:

- Lastik profili (Profil geometrisi),
- Lastik malzemesi (Kauçuk karışımı) ,
- Lastik yüzey işleme süreci (Lastiğin cam üzerindeki sürtünme katsayısı).

1.1.1. Lastik profilinin silecek lastiğinin yapısal özelliklerine etkisi

Silecek lastiği profili, silecek sisteminin temel fonksiyonu olan silme işlemini doğrudan etkilemektedir. Silecek lastiği profil yapısındaki belli özellikler, lastiğin uygun silme kalitesi sağlamasını, çalışma sesi seviyesini ve ömrünü belirlemektedir. Bu özellikler sileceğin kalitesine doğrudan etki eden özelliklerdir. Şekil 1.2’de bir silecek lastiğinin kesit yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Silecek lastiğinin kesit yapısı

Lastik profilinin, silecek sisteminin çalışması sırasında süpürme hareketi yapan ve profilin geri kalan kısmına ince bir boyun ile bağlanmış kısmı dudak bölgesi olarak adlandırılır ve profilin sağlayacağı çalışma performansını belirlemede birincil öneme sahiptir. Elastik yapıdaki dudak bölgesi, kol baskı yükünün, süpürme hareketinin ve atak açısının etkisi ile cam üzerinde bükülme ya da cam üzerinde yatma hareketi yapmaktadır. Yatma yönü, süpürme yönünün değişmesi ile tersine döner. Bu harekete dönme hareketi denir. Cam üzerinde yatan dudak bölgesinin uygun silme performansı sağlaması için cam ile uygun bir açı yapması gerekmektedir. Aksi halde silme performansı yetersiz olacak ya da çalışma sesi ortaya çıkacaktır. Dudak bölgesi, boyun ve dudak bölgesinin üstündeki yüzey ölçüleri kritik öneme sahiptir.

Bu ölçülerin etkileşimi ile silecek lastiğinin cam üzerindeki davranışı ortaya çıkmaktadır.

Dudak yüksekliği – Kol baskı yükü nedeniyle esneyen, cam üzerinde yatan malzeme miktarını etkiler, fazla olursa lastik çok yatabilir ve geri dönemez; az olursa dönüşlerde ses oluşabilir.

Boyun genişliği – Dudak bölgesinin esnekliğini sağlar. Çok ince olursa dudak geri dönme hareketi yapamayabilir ve/veya yırtılabilir; kalın olursa gerekli elastikiyet olmadığı için süpürme hareketi yetersiz kalabilir ve çalışma sesi oluşur.

Omuz genişliği – Boyun yüksekliği ile birlikte, dudak bölgesinin yatma miktarını belirler. Bunun yanında genişliği yatan malzeme miktarını etkiler. İnce olursa, dudak çok yatabilir ve geri dönemez; kalın olursa yatma az olur ve dudak bölgesi aşırı sertleşebilir.

Boyun yüksekliği – Omuz genişliği ile birlikte, dudak bölgesinin yatma miktarını belirler. Çok yüksek olursa, lastik aşırı yatabilir ve geri dönemeyebilir. Bunun yanında park pozisyonunda duran sileceklerde kalıcı deformasyon oluşma ihtimali artar; çok düşük olursa dudağın yatma açısı yetersiz kalabilir ve çalışma sesi oluşur.

Dudak genişliği – Cam üzerine temas eden yüzeyi oluşturur. Çok kalın olması halinde dudak sertleşir ve lastiğin elastikiyet gösterememesi nedeniyle silme performansı düşer. Çok ince olması halinde ise dudak bölümü yük altında aşırı ezilip, çok yatabilir. Bu durum sürtünme yüzeyin, aşınmalar ve çalışma sesinin artmasına neden olacaktır.

1.1.2. Lastik malzemesinin silecek lastiğinin yapısal özelliklerine etkisi

Silecek lastiğinin yıpranmasına neden olan durumlar:

- Kol baskı yükü nedeniyle, kalıcı deformasyona yol açacak şekilde sürekli yük altında bulunması,
- Silme işlemi sırasında oluşan sürtünme kuvvetleri nedeniyle aşınmalara maruz kalması,

- Düşük/yüksek sıcaklık etkisi ile mekanik özelliklerin değişmesi ve ortam koşullarıdır (Ultraviyole ışınları, ozon, yabancı maddeler).

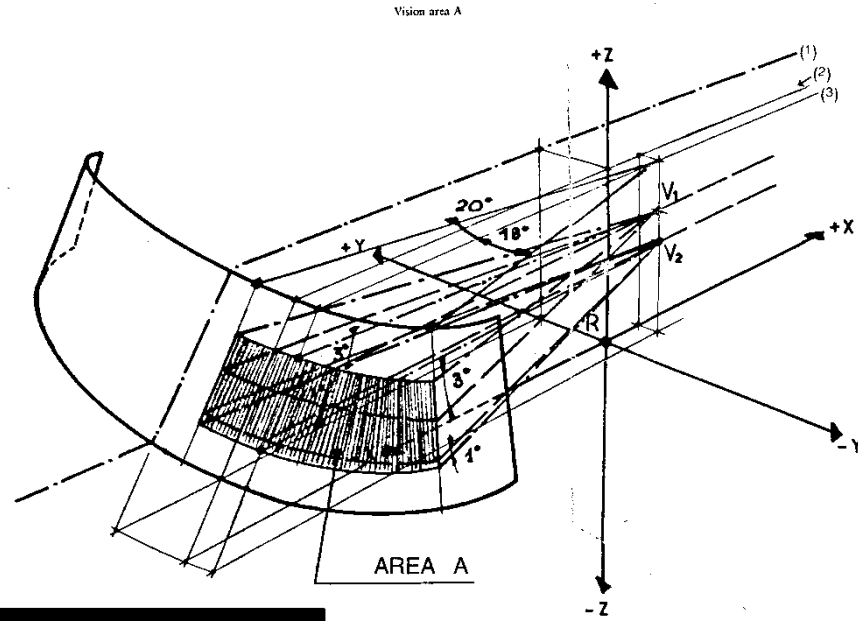
Sürekli yıpranmaya uğrayan silecek lastiği kauçuk karışımının yukarıda sayılan tüm bu etkilere belirli bir seviyede dayanım göstermesi, silecek ürününün uygun performans sunması ve müşteri memnuniyeti sağlaması açısından kritik önem taşımaktadır. Bu nedenle silecek lastiği karışım geliştirme çalışmaları tüm bu faktörler göz önünde bulundurularak yürütülmelidir.

1.1.3. Lastik yüzey işleme sürecinin silecek lastiğinin yapısal özelliklerine etkisi

Araba camlarındaki suyun camdan uzaklaştırılması, kauçuk sileceklerin karşılıklı hareketiyle gerçekleşmektedir. Bu işlemle kauçuk ve cam arasında yaklaşık otuz mikronluk bir kontak sağlanmaktadır. İyi bir silme performansı, suyun homojen bir şekilde, sessiz olarak uzaklaştırılması olarak karakterize edilir. Silme performansının iyi anlaşılması triboloji, mekanik ve vibro-akustik parametrelerinin iyi anlaşılmasıyla mümkündür. Sürtünme katsayısı yani sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranı, sürtünme karakteristiklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Silecek lastiğinin cam üzerindeki sürtünme katsayısı özellikle ıslak-kuru geçişi sırasında en yüksek değere ulaşmaktadır. Bu amaçla kauçuk karışımının cam üzerindeki sürtünme katsayısını düşük tutmak için silecek lastikleri bir dizi yüzey işleme uygulamalarına tabi tutulmaktadır.

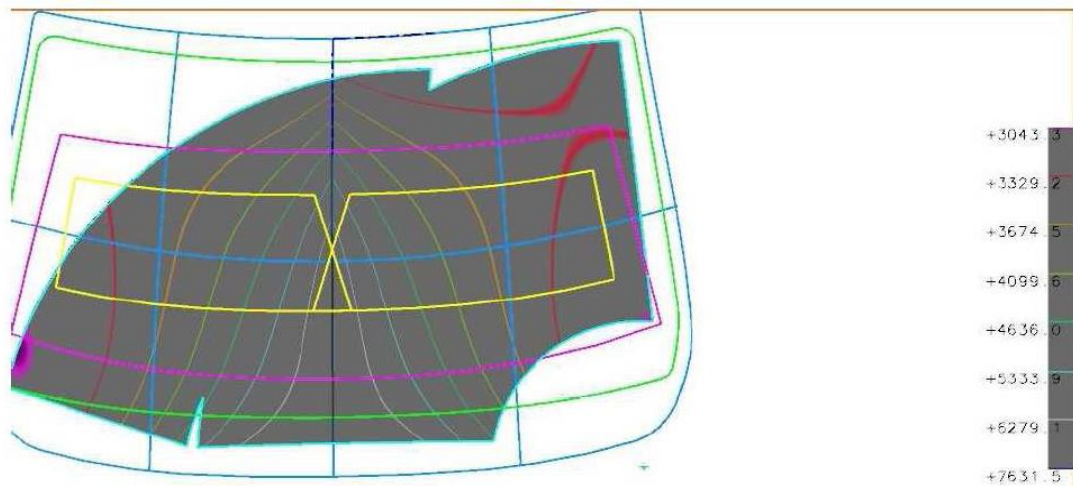
Günümüzde otomotiv dünyasında araçlardan beklenen asgari özellikler, emniyetli bir sürüş kabiliyeti sağlayabilmeleri için uluslararası normlar ile standartlaştırılmıştır. Standartlaştırılan özelliklerin doğru ve net olarak ölçülüp değerlendirilmesi için de ölçme sistemlerini de bir o kadar kesin sonuçlar (tekrarlanabilir) verebilecek bir şekilde geliştirme çabaları otomotiv firmalarınca devam ettirilmektedir. Araçlarda sürüş emniyeti, sürücünün görüş kabiliyeti ile doğrudan etkileşmektedir. Bir emniyet parçası olan silme sistemlerinin de fonksiyonu olan silme performansının ölçümü ve değerlendirilmesinin standartlaştırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Silecek geliştirme çalışmalarında ilk hareket noktası regülasyonlar çerçevesinde görme alanlarının oluşturulmasıdır.

Normların belirttiği seviyelerde silmenin sağlanabilmesi için Şekil 1.3'te görülen silecek çevrimi sırasında oluşan silme alanları belirlenmiştir. Bu alanlar teorik olarak sileceğin silme yüzeyini temsil etmekte olup, alanlar içerisindeki silme kalitesi ise sileceğin niteliğine, camın topografik yüzey özelliklerine ve mekanizmanın fonksiyonel özelliklerine bağlıdır.



Şekil 1.3. Görme bölgelerinin Oluşturulması










Sileceğin niteliği seçilirken ilk olarak Şekil 1.4'te gösterildiği gibi cam yüzü analizi gerçekleştirilir ve cam çevrelerine göre yeterli silme performansını sağlayacak silecek belirlenir.



Şekil 1.4. Cam analizi

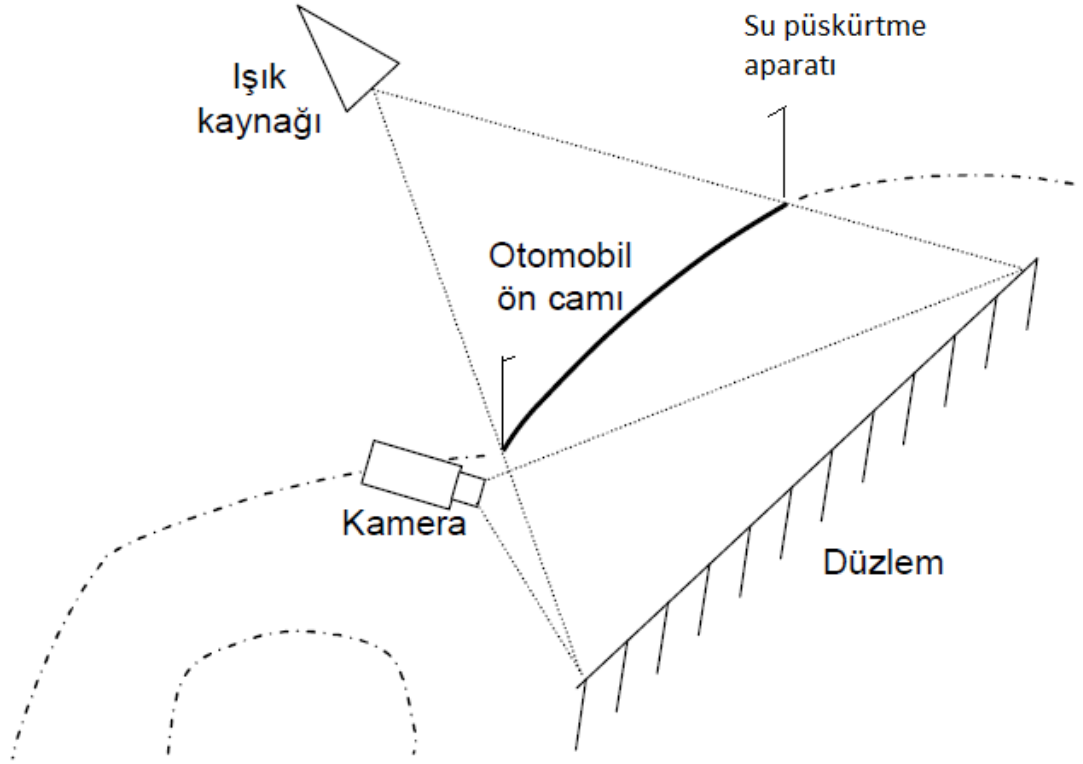
Mevcut değerlendirme sistemi, Tablo 1.1’de gösterilen uluslararası regülasyonlarda yer alan değerlendirme skalasına göre, değerlendirici kişi gözlemlerini karşılaştırarak yorumlamakta ve değerlendirme sonucu elde etmektedir. Bu ölçme sisteminde değerlendirmenin, değerlendirici kişinin yorumuna bağımlı olmasından dolayı tekrarlanabilirliği değişkenlik göstermektedir. Değerlendiricinin farklı bir kişi olması halinde aynı sonuçların alınması mümkün olmayabilmektedir.

Tablo 1.1. Silme kalitesi değerlendirme skalası

Silme Hatası	Derece	Tanım		İlişkilendirme
		Hatanın bölgesi	Su durumu çizgiler	
	5	1 / 6 L	kalıntı maksimum 6	orta çizgiler $\leq 1,0$ mm
	5	1 / 6 L and 2 / 3 L	kalıntı yok maksimum 20	ince çizgiler $\leq 0,3$ mm
	5	2 / 3 L	kalıntı maksimum 2	ince çizgiler $\leq 0,3$ mm
	4	1 / 6 L and 2 / 3 L	kalıntı bir çok	Aynı şekilde farklı genişliklerde dağılan çizgiler $\geq 75\%$ alan silinmelidir
	3	1 / 6 L and 2 / 3 L	kalıntı bir çok	4 ile aynı ancak, merkezi alan 2/3L 'de yoğunlaşmış çizgiler ya da silme alanının $\leq 75\%$
	2	1 / 6 L and 2 / 3 L	kalıntı	su parçaları
	2	1 / 6 L and 2 / 3 L	kalıntı	kaplama yerlerinde ana belirsizlikler
	2	1 / 6 L and 2 / 3 L	kalıntı	bulanıklık
	1	1 / 6 L and 2 / 3 L	kalıntı	tırlatma işaretleri

2.KAVRAMSAL VE DONANIMSAL TASARIM

Tez kapsamında silcek silme kalitesinin ölçümü ve değerlendirilmesi için görüntü işleme temelli bir sistem geliştirilmiştir. Probleme hem cam hem de suyun saydam olması nedeniyle görüntünün direk olarak cam üzerinden alınması olanaksızdır. Bu problemi çözmek için görüntü, cam üzerine karşıdan tutulan bir ışık kaynağı ile camın arka planına yerleştirilen düzeneğe düşürülmektedir. Dolayısıyla, bu yapı sayesinde cam yüzeyinde silme kaynaklı oluşan düzensizlikler (kusurlar) düzlemde gölgeler oluşturmakta ve görünür hale gelmektedir. Sonrasında, düzleme uygun şekilde konumlandırılan bir kamera ile alınan düzlem görüntülerinde, görüntü işleme ile tespit ve analiz yapılabilmektedir.



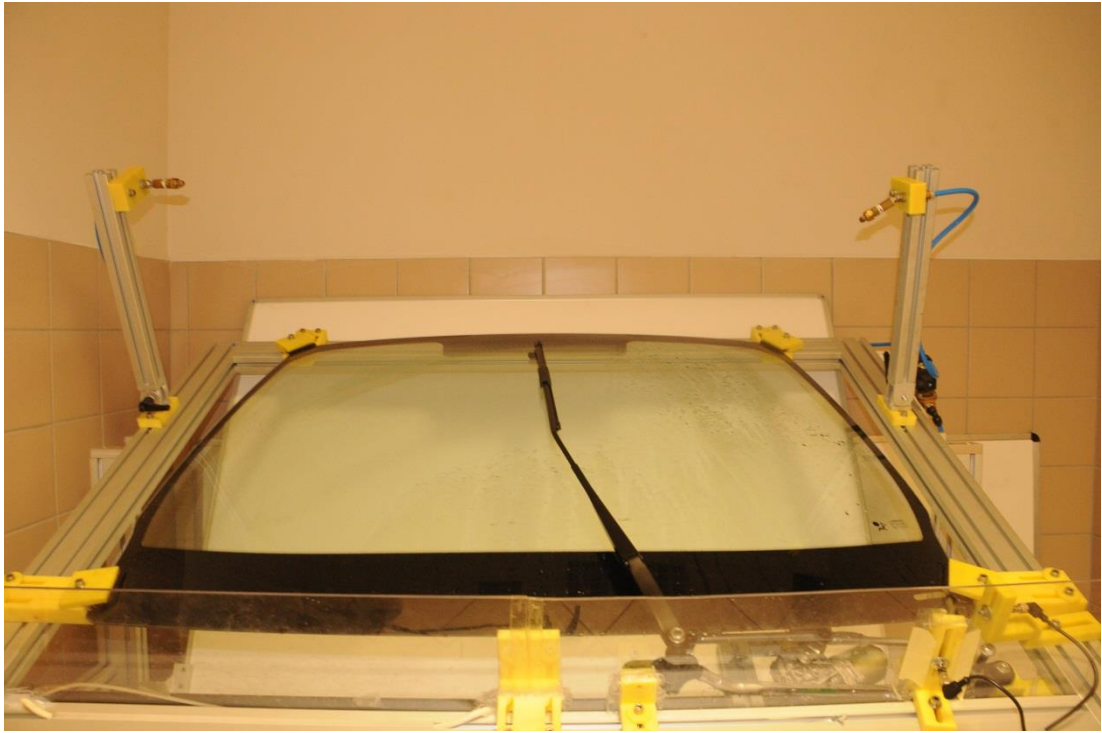
Şekil 2.1. Tasarlanan sistem

Şekil 2.1’de gösterilen tasarımda ışık kaynağından çıkan ışık ile cam üzerinde biriken suyun gölgesi beyaz düzleme düşürülmektedir. Kamera ile bu gölgelerin görüntüsü yakalanarak aslında camda biriken suyun miktar ve dağılımı görüntülenmektedir.

Işık kaynağı olarak yüksek ışık şiddetine sahip noktasal bir kaynak tercih edilmektedir. Otomobil camı üzerine su püskürtme işlemi PLC sistemi ile istenilen parametrelere göre gerçekleştirilmektedir. Ayrıca bu sistem ile kamera tetiklenebilmekte ve su püskürtme sonrası istenilen aralıklarla görüntü alması sağlanabilmektedir.

2.1. Test Sistemi

Şekil 2.2’de gösterilen test sisteminde görüldüğü gibi, araç camının arkasına paralel olacak şekilde beyaz, pürüzsüz bir düzlem yerleştirilmiştir. Camın iki yanında su püskürtme sistemleri bulunmaktadır. Su püskürtme PLC sistemi ile kontrol edilmektedir. PLC sistemi ayrıca silecek motor hızı, kamera tetiklemesi, sileceklerin nerede duracağı ve nasıl çalışacağı gibi kontrolleri gerçekleştirmektedir.



(a)

Şekil 2.2. (a), (b) Test sisteminin farklı açılardan görünüşü



(b)

Şekil 2.2. (Devam) (a), (b) Test sisteminin farklı açılardan görünüşü

Düzensiz su birikintilerini görüntüleyebilmek için araç camı üzerine ışık kaynağından, cama karşıdan gelecek şekilde ışık düşürülmektedir. Beyaz düzlem üzerinde ışık kaynağından gelen ışık ile gölge oluşturulmaktadır. Kamera ile arkadaki düzlemdeki gölgeler görüntülenerek test görüntüleri elde edilmektedir.

2.2. Sistem Özellikleri

- Kamera

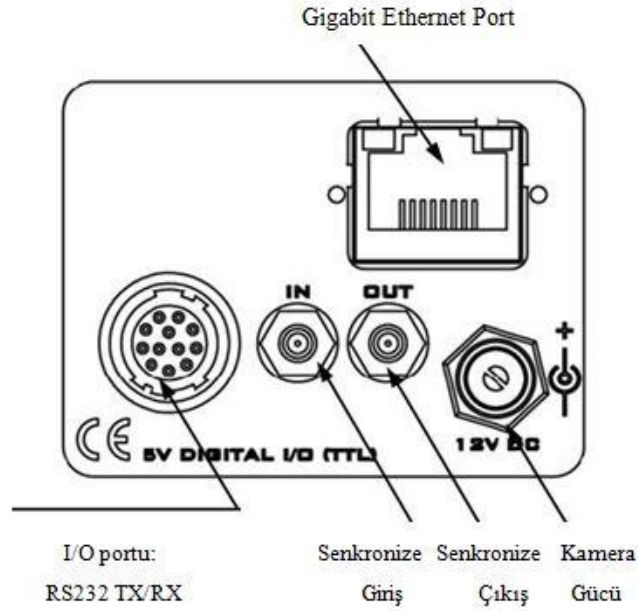
Görüntü almak için Şekil 2.3'te gösterilen, Allied Vision Technologies kameralarından Prosilica GE4900B modeli kullanılmıştır [2].



Şekil 2.3. Prosilica GE4900B Kamera

Kameranın özellikleri aşağıda verilmiştir [2]:

- 16 Mpiksel yüksek piksel çözünürlüğü ,
- 35mm ful-çerçeve algılayıcı boyutu,
- 3 fps, maksimum çerçeve hızında tam çözünürlük ,
- S/B görüntü,
- Yüksek SNR,
- Harici tetikleme,
- F-mount lens bağlantısı,
- Gigabit Ethernet veri iletim ara yüzü.



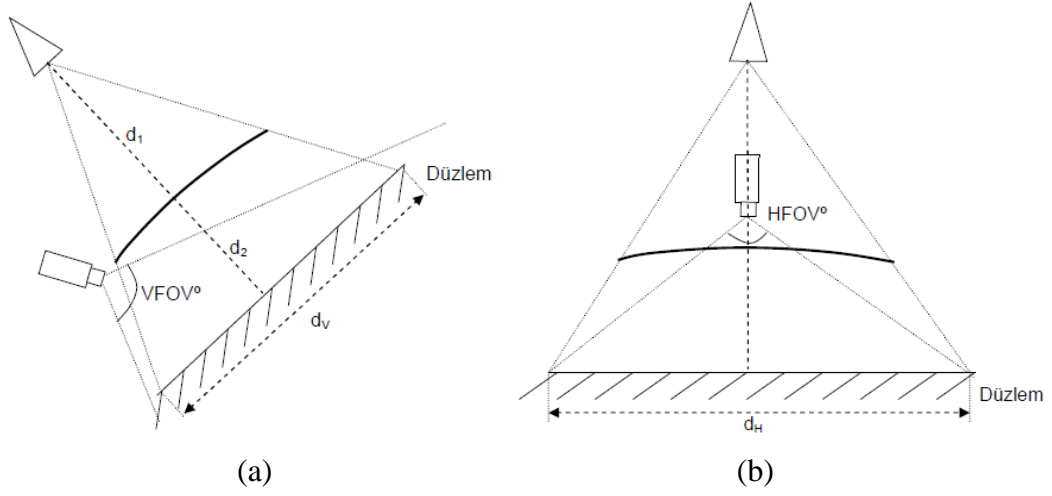
Şekil 2.4. Prosillica GE bağlantı şeması

- Lens

Carl Zeiss 18mm lens kullanılmıştır. Lensin teknik özellikleri aşağıda sıralanmıştır [3]:

- Yüksek optik çözünürlük,
- Geniş y. bakış açısı ($\geq 90^\circ$),
- Düşük lens bozunumu,
- Diyafram değerleri $f/3,5 - f/22$,
- En yakın netlik mesafesi 30 cm.

- Kamera konumu ve uzamsal çözünürlük



Şekil 2.5. (a) Kamera konumu yandan kesit, (b) Kamera konumu üstten kesit

Kamera, lens ve düzlem arasındaki ilişkiye bağlı olarak yapılan kavramsal tasarım aşamasında elde edilen sayısal bilgiler aşağıda verilmiştir:

- 18mm lens ile yataydaki görüş açısı: $HFOV = 90^\circ$
- Düşeydeki görüş açısı: $VFOV = 67,4^\circ$
- Otomobil ön camı boyutları: $d_H = 1500\text{mm}$, $d_v = 900\text{mm}$
- Kamera ile düzlem arasındaki mesafe 1m alındığında, yatayda 2m'lik düzlem kapsamaktadır.
- 4872x3248 (16Mp) boyutlu algılayıcıda uzamsal hassasiyet: 0,41 mm/piksel.

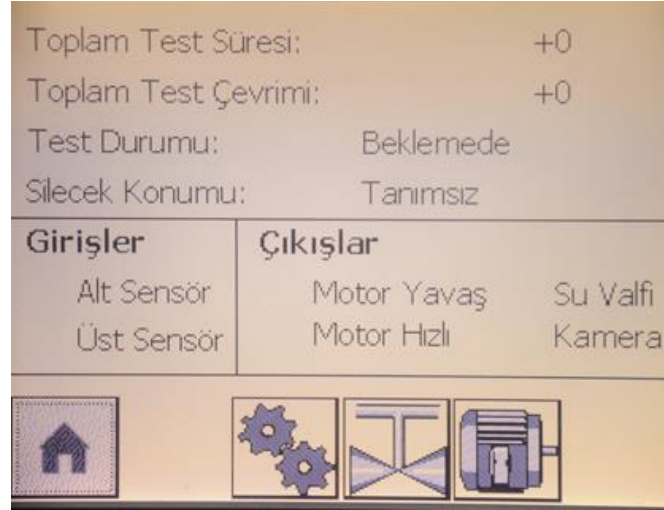
- Işık Kaynağı

Işık kaynağı olarak, Casio XJ-M250 LCD Projeksiyon kullanılmıştır [4]. Işık kaynağının özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Noktasal kaynak,
- Odaklama özelliği,
- Yüksek ışık şiddeti,
- Uzun çalışma süresi,
- Farklı örüntüler oluşturabilme.

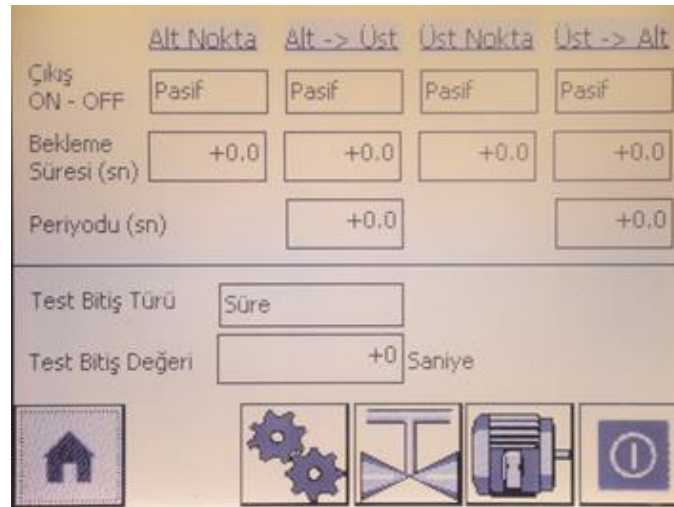
- PLC Sistemi

PLC sistemi, silecek test sürecini kontrol etmek için kullanılmaktadır. Test süresi, sileceklerin çalışma ve bekleme süresi, sileceklerin hani noktada duracakları bu sistem ile kontrol edilmektedir. Ayrıca kamera tetiklemesi, kameranın hani noktada görüntü alacağı da PLC sistem ile ayarlanabilmektedir.



Şekil 2.6. Açılış ara yüzü

Şekil 2.6'da gösterilen ara yüz ile test süresi ve çevrim süresi ayarlanmaktadır. Girişlerde yer alan alt ve üst sensörler, silecek o noktalara geldiği zaman aktif olmaktadır. Kameranın hangi noktada görüntü alması istenirse bu sensörlerden gelen bilgi kullanılarak o noktada çekim yapması sağlanabilmektedir.



Şekil 2.7. Ayarlama yapma ara yüzü

Şekil 2.7’de gösterilen ara yüz ile sileceğin belirtilen noktada, belirtilen süre kadar beklemesinin kontrolü yapılabilmektedir. Alt noktadan üst noktaya ya da üst noktadan alt noktaya ayarının aktif yapılması sileceğin bu doğrultuda adımlı hareket yapmasını sağlamaktadır.

	Tür	Değer		Tür	Değer
1	Beklemede	+0.0	6	Beklemede	+0.0
2	Beklemede	+0.0	7	Beklemede	+0.0
3	Beklemede	+0.0	8	Beklemede	+0.0
4	Beklemede	+0.0	9	Beklemede	+0.0
5	Beklemede	+0.0	10	Beklemede	+0.0



Şekil 2.8. Silecek motoru için ayar ara yüzü

Şekil 2.8’de gösterilen ara yüz ile silecek motorunun çalışma hızı kontrol edilmektedir. Tür kısmında motorun hızı yavaş veya hızlı olarak ayarlanabilmekte ya da motorun beklemede kalması sağlanabilmektedir. Değer kısmında ise motorun ne kadar çalışacağı ya da bekleneceği bilgisi girilir. Bu şekilde bir kontrol sistemi ilerleyen aşamalarda yapılacak silecek testleri için faydalı olmaktadır.

3.GÖRÜNTÜ ÖN İŞLEME

Su kalıntılarının tespit işlemi gerçekleştirilmeden önce arka plandaki beyaz düzlemden alınan görüntü üzerinde yapılması gereken bazı ön işlemler vardır. Bu ön işlemlerin amacı, alınan görüntüyü tespit algoritması için uygun hale getirmektir. Tespite hazırlık kısmının amaçlarından biri, görüntüdeki geometrik bozuklukların giderilmesidir. Bu geometrik bozulmaların sebepleri şöyle sıralanabilir:

- Geniş açı lensin neden olduğu bozulmalar,
- Araç camının oval yapısından kaynaklanan bozulmalar,
- Görüntü düzlemi ile kamera algılayıcı düzleminin paralel olmamasından kaynaklanan perspektif bozulması.

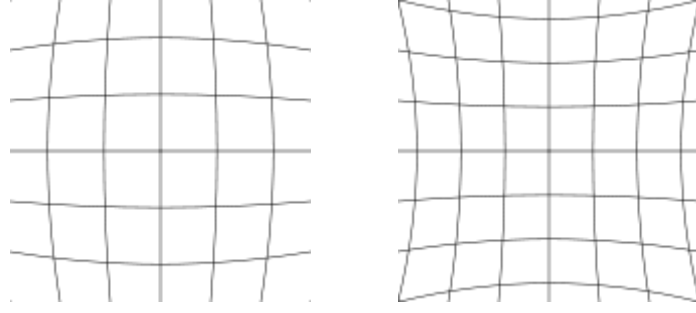
Geometrik bozuklukların giderilmesinin ardından test görüntüsü üzerinde ışıklılık dengeleme işlemi yapılmalıdır. Bunun amacı, camdan geçen ışığın düzlem üzerine homojen olmayan şekilde düşmesinden kaynaklanan yerel düzensizlikleri en aza indirmektir.

3.1. Lens Bozuklukları ve Giderilmesi

Görüntülerdeki bozulmalar, objektiften giren görüntünün dijital ortama aktarılması sırasında ortaya çıkan hatalardır. Fotoğraf makineleri ve video kameralarda kullanılan çok sayıda mercekten oluşan objektiflerde; boyut, ağırlık, malzeme kalitesi vb. fiziksel sınırlamaların bir sonucu olarak ortaya çıkarlar.

En çok karşılaşılan bozuma tipi radyal (açısal) bozulmalardır. Kamera lensinin oval yapısı dolayısıyla lensin kenarlarından geçen ışınlar kırılmaya uğrayarak bu bozulmalara neden olurlar.

Radyal bozulmalar; dış bükey bozulma (Barrel Distortion) ve iç bükey bozulma (Pincushion Distortion) olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 3.1'de bu iki bozulma tipi gösterilmektedir.



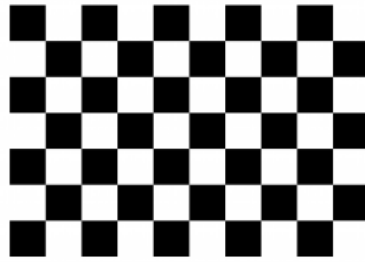
Şekil 3.1. (a) Dış bükey bozulma (b) İç bükey bozulma

Proje kapsamında kullanılan lensin geniş açı özelliğinden dolayı dış bükey bozulma etkisi oluşturmaktadır ve bu etkinin görüntü işleme öncesinde giderilmesi gerekmektedir.

3.1.1. Kamera kalibrasyonu

Kamera kalibrasyonu, dış faktörler dolayısı ile bozulmuş olan görüntünün düzeltilerek görüntü işlemeye hazır hale getirilmesi işlemidir. Kalibre edilmemiş bir kamera ile gerçekleştirilen görüntü işleme ve görüntü analiz aşamaları hatalı olacağından analizlerin sonucunda doğru sonuçlar beklenemez.

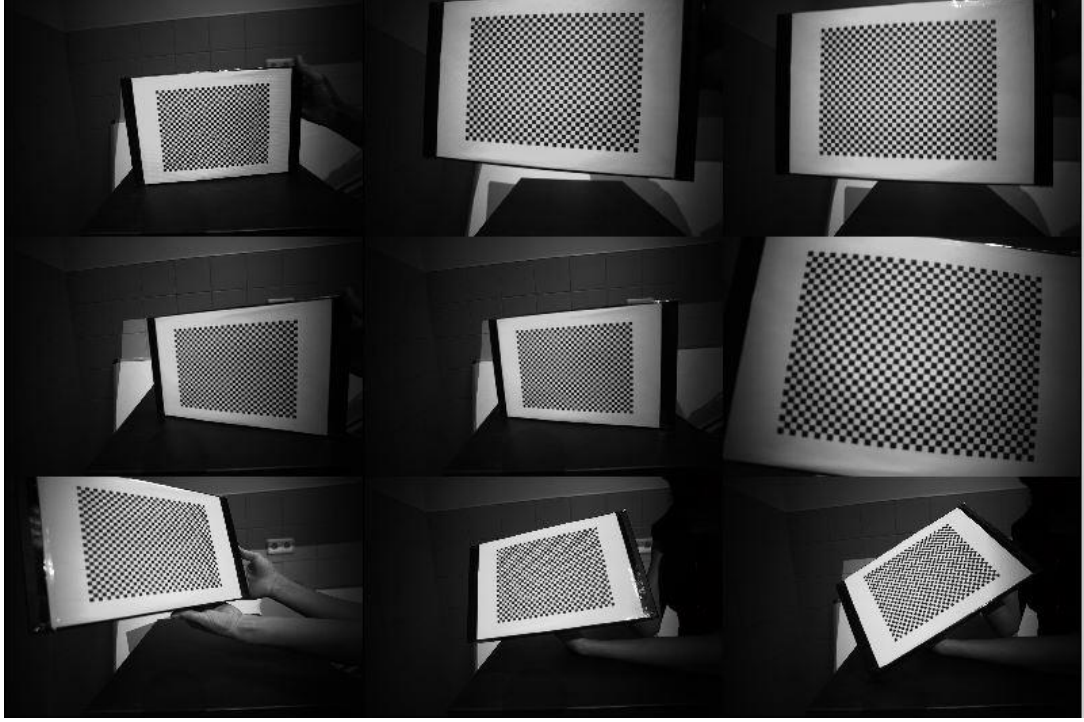
Kamera kalibrasyonu yapılırken kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında kalibrasyon için satranç tahtası yöntemi kullanılmıştır. Şekil 3.2’de gösterilen satranç tahtası şeklindeki kalibrasyon örüntüsü kullanılarak kameradan farklı konumlarda ve açılarda görüntüler alınmıştır.



Şekil 3.2. Kalibrasyon örüntüsü

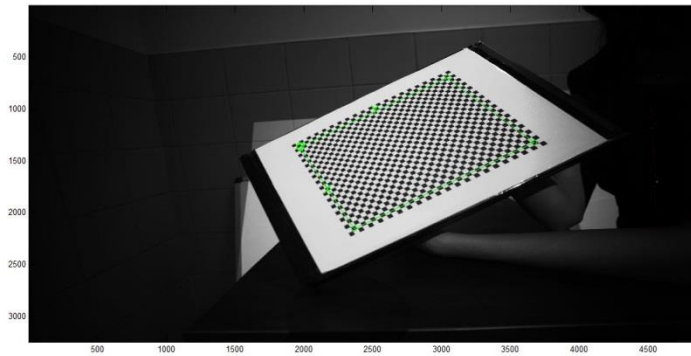
Kalibrasyon yaparken dikkat edilmesi gereken en önemli konu kalibrasyon tahtasını hep düz tutmaktan kaçınmaktır. Kalibrasyon parametrelerinin iyi şekilde kestirimi için farklı açılarda ve uzaklıklarda fotoğraflar alınması gerekmektedir.

Alınacak fotoğrafların sayısı ve görüntü alma açıları lens bozukluğunu gidermeye yetecek şekilde olmalıdır. Şekil 3.3'te kalibrasyon görüntüsünün farklı açılardan alınan görüntüler gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Kalibrasyon görüntüleri

Kalibrasyon görüntüsü üzerinde ilk olarak satranç tahtasının köşelerini işaretlenir. Şekil 3.4'te gösterildiği gibi işaretlenen dört nokta birleştirilerek köşelerin doğrultusu çıkarılır. Eğer bu noktalar doğru işaretlenmediyse işaretleme işlemi yeniden yapılmalıdır. Belirlenen aralıklara göre işaretlenen bu köşe noktaları arasında, otomatik olarak köşe noktaları bulunur.



Şekil 3.4. Köşe noktalarının bulunması

Kamera kalibrasyonu sonucunda, kalibrasyon için gerekli sayısal değerler bulunmaktadır. Bu işlem sonunda kameranın gerçek matris değerleri, bozulma katsayısı, dönüş ve çevrim vektörleri üretilmektedir [5].

Gerçek matris kameranın odak uzaklığı ve kamera merkezinin koordinatlarını içeren matristir. Kameranın merkezi üretim aşamasında tam ayarlanmamış olabilir. Bu gibi nedenlerden dolayı kameranın merkez koordinatları ve odak uzaklığı bilgileri hesaplanabilmektedir.

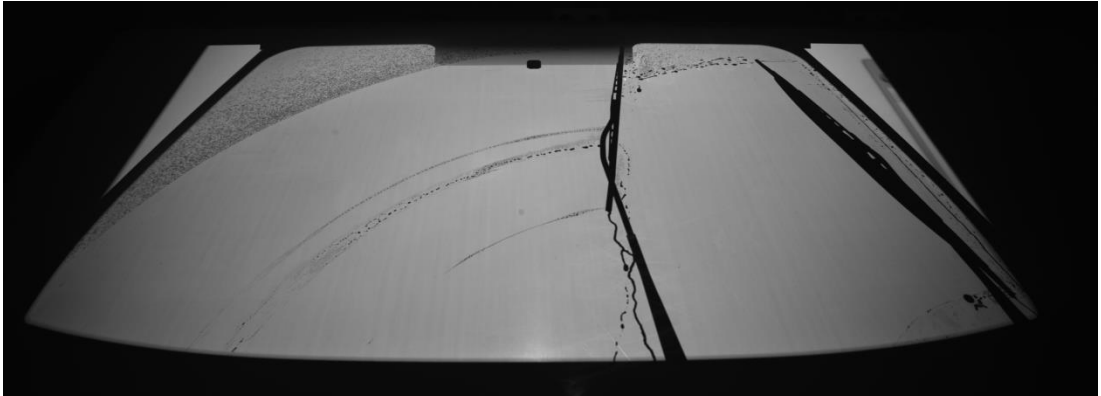
Denklem (3.1)'de gerçek matris gösterilmektedir. Burada f_x ve f_y kameranın odak uzaklıkları, c_x ve c_y merkez koordinatlarıdır.

$$\text{Gerçek Matris} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

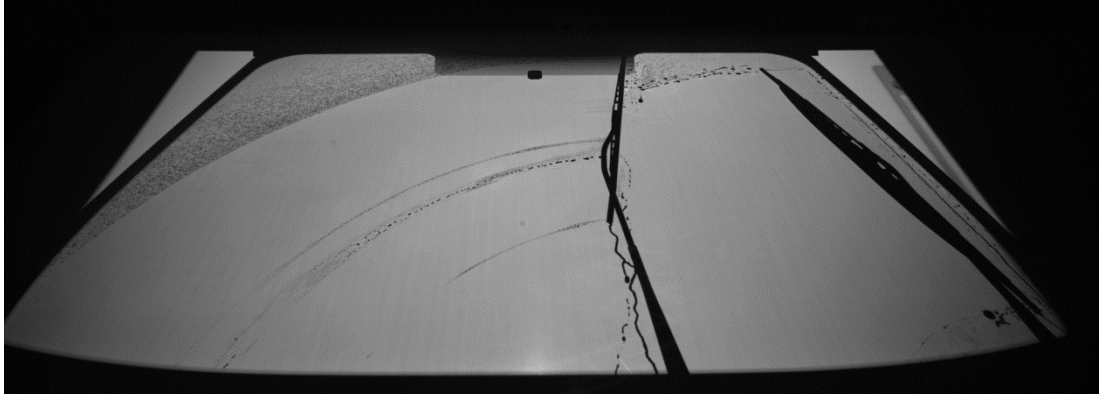
Bozulma katsayısı matrisi görüntülerdeki bozulma miktarı bilgilerinin saklandığı matristir.

Farklı açılardan ve farklı uzaklıklarda alınan görüntüler ile bu parametreler daha doğru hesaplanmakta ve daha doğru bir kalibrasyon yapılmaktadır. Hesaplanan bu parametreler ile kamera kullanılarak kaydedilen görüntüler düzeltilmektedir.

Şekil 3.5'te gösterilen test imgesi için kamera kalibrasyon sonucu Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.5. Kalibrasyon öncesi test imgesi



Şekil 3.6. Kalibrasyon sonrası düzeltilmiş test imgesi

Kamera kalibrasyonu sonucunda, test imgesinde kenarlara doğru gidildikçe oluşan radyal bozulmalar giderilmiştir. Test görüntüsünde alt bölgeye gidildikçe artan eğrisel yapı azaltılmıştır.

3.2. Homografi Kalibrasyonu

Araç camının oval yapısından kaynaklanan bozulma ve görüntü düzlemi ile kamera algılayıcı düzleminin paralel olmamasının neden olduğu perspektif bozulmasını düzeltmek için homografi işlemi yapılır. Homografi işlemi, $x' = Hx$ dönüşüm matrisi üzerinden yapılır. Burada x' noktası, gerçek hayatta x noktasına karşılık gelen noktanın görüntü üzerindeki koordinatları, H ise dönüşüm matrisidir.

Nokta koordinatlarıyla yapılan işlemlerde homojen gösterimden yararlanılmaktadır. Yani n boyutlu bir uzaydaki noktayı göstermek için n değil, $n+1$ sayı gerekir. Dolayısıyla, iki boyutta örneklenen, x' ve x noktaları 3 elemanlı vektörlerdir. H dönüşümü ise 9 elemanlı bir matristir [6].

Homografi işleminin esas amacı, araba camının koordinatlarını işlem yapılacak koordinatlara dönüştürmek ve görüntü işleme kısmını daha rahat şekillendirmektir. İlk olarak dönüşümün yapılacağı homografi matrisinin hesaplanması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, homografi matrisin hesaplanması için Şekil 3.7'de gösterilen kalibrasyon kağıdı kullanılmıştır. Kalibrasyon kâğıdı, aralarındaki mesafe sabit olan kare yapıdaki deliklerden oluşan ve otomobil camını tamamen kaplayan ölçülerde oluşturulmuştur.



Şekil 3.7. Homografi için kullanılan kalibrasyon kâğıdı

Kalibrasyon kâğıdı Şekil 3.8’de gösterildiği gibi bütün camı kaplayacak şekilde aracın üzerine serilir. Sistem üzerine ışık tutulduğu zaman kalibrasyon kağıdının üzerindeki boşlukların görüntüsü Şekil 3.9’da gösterildiği gibi arka kısma düşürülür. Kâğıt üzerindeki boşluklar görüntü işleme ile otomatik olarak tespit edilerek bu boşlukların ağırlık merkezleri hesaplanır ve indislenir. Bu işlem ile camın bütün yüzeyinde istenilen koordinat noktaları alınan görüntü üzerinde tespit edilmiş olur.

Araç camı oval olduğundan kalibrasyon kağıdının arka düzleme düşürülen görüntüsü de oval bir hal alır. Camın yapısı nedeniyle oluşan bu eğrisellik bütün koordinatların eşit bir şekilde hizalanmasını engeller. Camdan alınan koordinatların merkez noktasına göre bütün koordinatlar eşit hizalanacak şekilde yeni koordinatlar oluşturulur. Oluşturulan bu koordinatlar çıkış koordinatları, cam üzerinden ilk alınan koordinatlar giriş koordinatları olmak üzere homografi matrisi oluşturulur. İlk olarak giriş ve çıkış matrislerini kullanarak Denklem (3.2)’de gösterildiği gibi yeni bir matris oluşturulur.

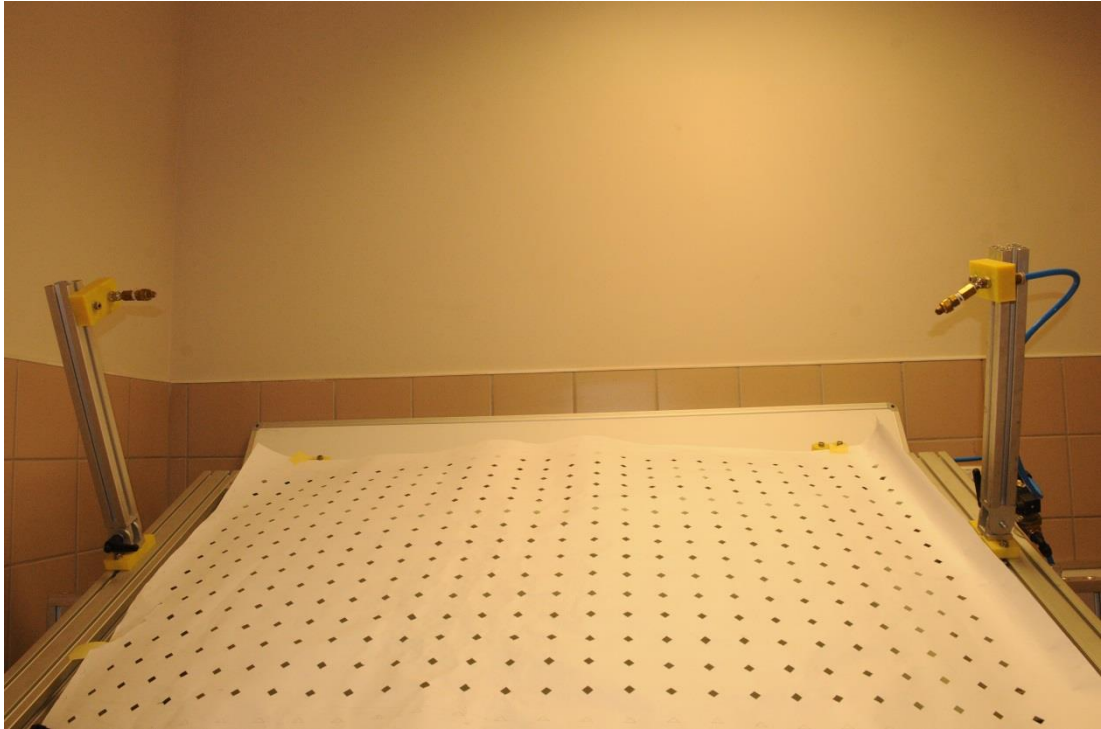
$$A = \begin{bmatrix} x_1(1) & y_1(1) & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2(1)x_1(1) & -x_2(1)y_1(1) & -x_2(1) \\ 0 & 0 & 0 & x_1(1) & y_1(1) & 1 & -y_2(1)x_1(1) & -y_2(1)y_1(1) & -y_2(1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1(N) & y_1(N) & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2(N)x_1(N) & -x_2(N)y_1(N) & -x_2(N) \\ 0 & 0 & 0 & x_1(N) & y_1(N) & 1 & -y_2(N)x_1(N) & -y_2(N)y_1(N) & -y_2(N) \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de x_1 , giriş matrisinin satır değerlerine, y_1 , giriş matrisinin sütun değerlerine, x_2 , çıkış matrisinin satır değerlerine ve y_2 , çıkış matrisinin sütun değerlerine karşılık gelmektedir.

İkinci olarak A matrisine tekil değer ayrışımı (SVD) uygulanmaktadır. A matrisine tekil değer ayrışımı uygulandığı zaman Denklem (3.3)'de gösterilen matrisler elde edilir. Burada, U matrisi AA^T matrisinin, V matrisi $A^T A$ matrisinin özvektör matrisleridir. D matrisi AA^T matrisinin sıfırdan farklı özdeğerlerinin köşegen matrisleridir.

$$A = U \begin{bmatrix} D & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} V^T \quad (3.3)$$

Tekil değer ayrışımı işlemi sonucunda elde edilen V matrisi homografi matrisini oluşturur. Homografi matrisi hesaplandıktan sonra gerçek koordinat düzleminde istenilen koordinat düzlemine geçiş yapılabilir. Homografi sonrasında elde edilen imge ile istenilen silecek bozuklukları düşey incelenmesi sağlanır.

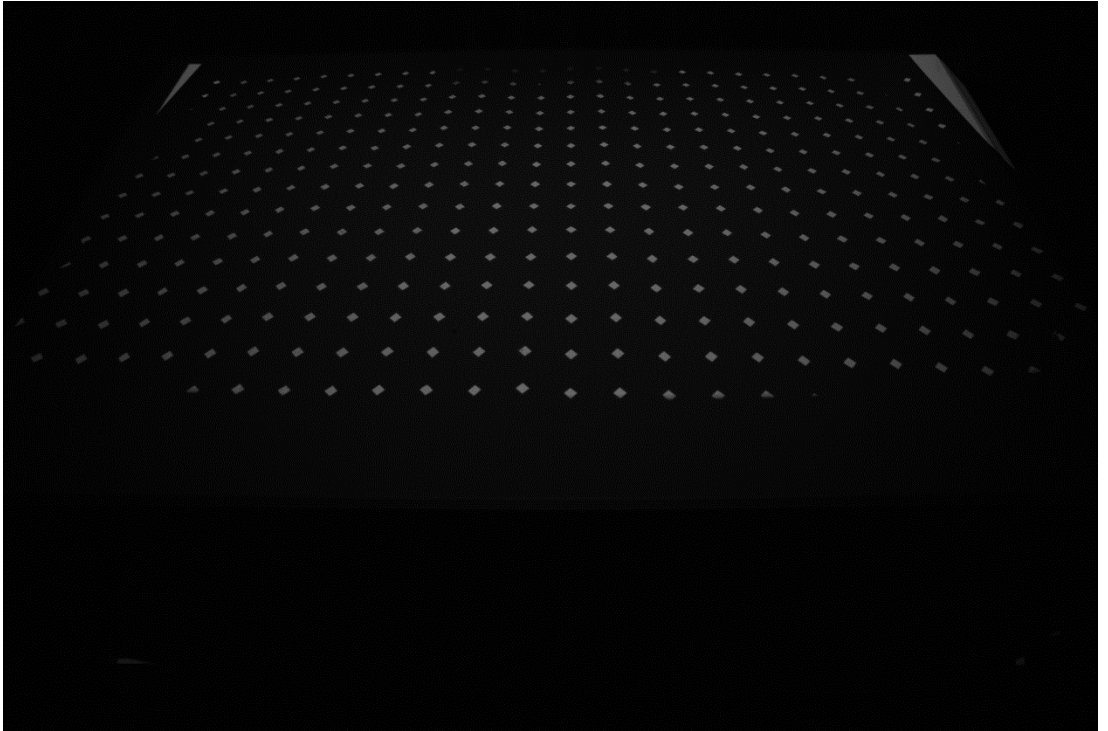


Şekil 3.8. Kalibrasyon kâğıdının araba camı üzerine serilmesi

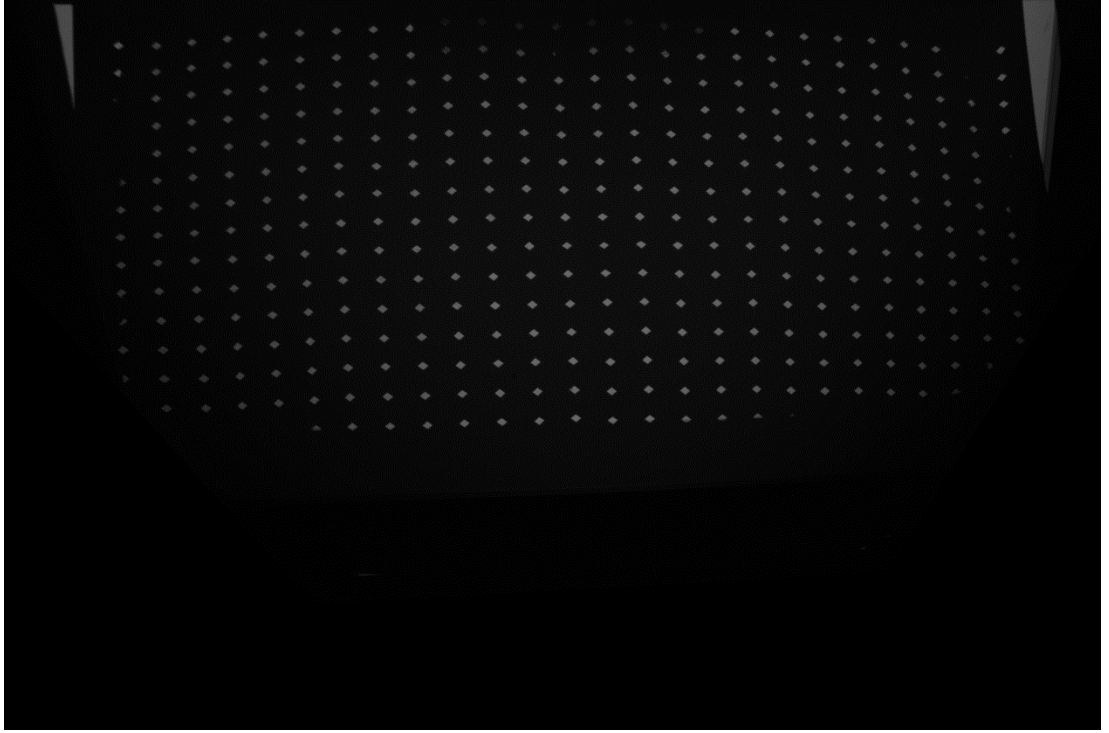


Şekil 3.9. Kalibrasyon kâğıdının beyaz düzlemdeki yansıması

Şekil 3.10'da kalibrasyon kağıdının arka düzlemde alınan görüntüsü gösterilmektedir. Bu görüntü için homografi kalibrasyonu sonucu Şekil 3.11'de verilmiştir.

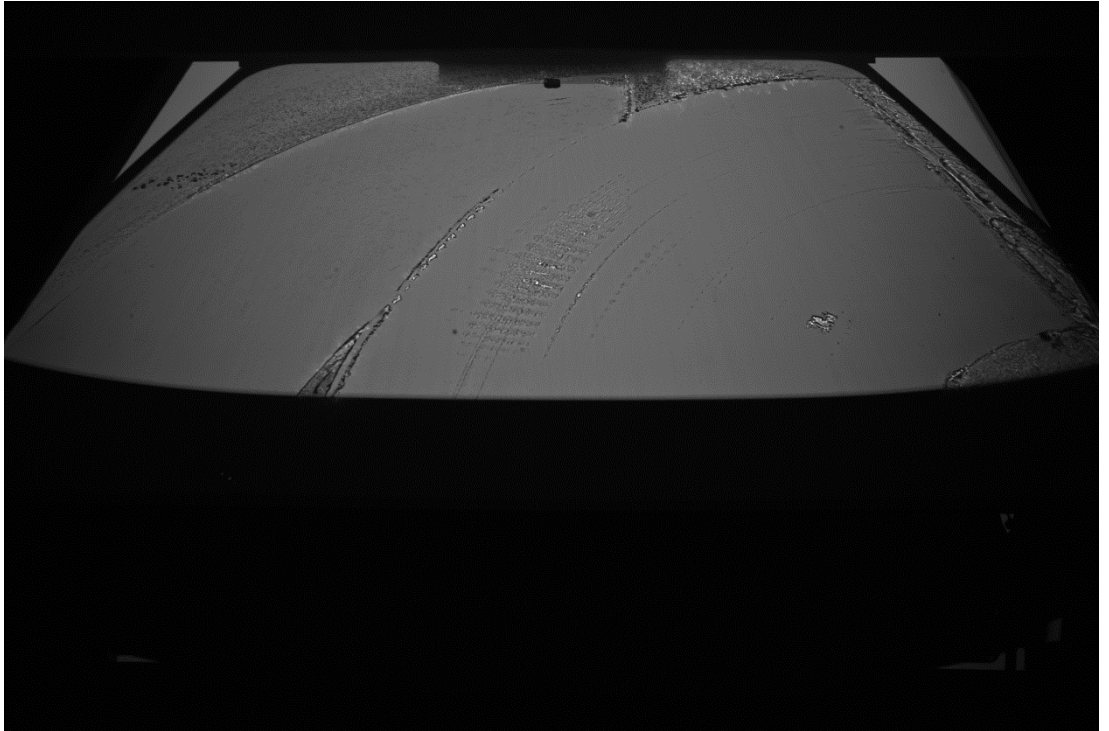


Şekil 3.10. Kalibrasyon kağıdının arka düzlemde alınan görüntüsü

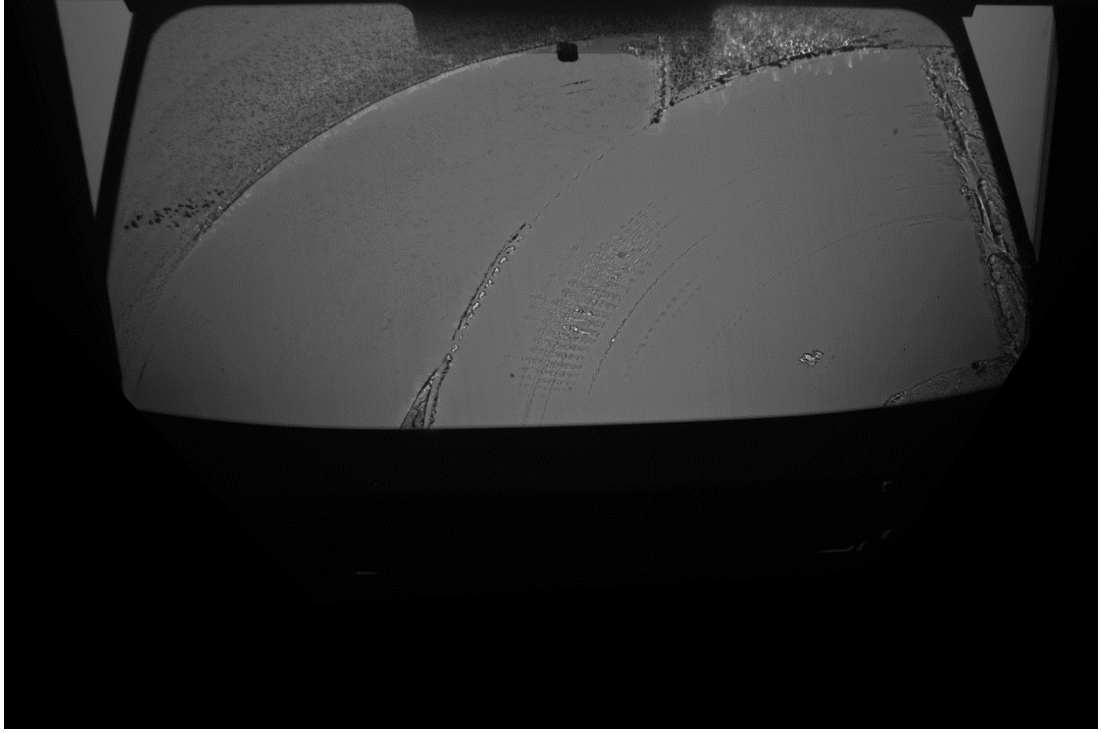


Şekil 3.11. Kalibrasyon kağıdı görüntüsü homografi sonucu

Şekil 3.12’de gösterilen test imgesinin homografi işlemi sonrasındaki yeni hali Şekil 3.13’te verilmiştir.



Şekil 3.12. Homografi öncesi sürücü bölgesi test imgesi



Şekil 3.13. Homografi sonrası sürücü bölgesi test imgesi

Şekil 3.13'te görüldüğü gibi homografi kalibrasyonu ile test imgesi düşey bir hale getirilmiş ve kameranın düzleme bakış açısının eğik olmasından kaynaklanan etkiler giderilmiştir.

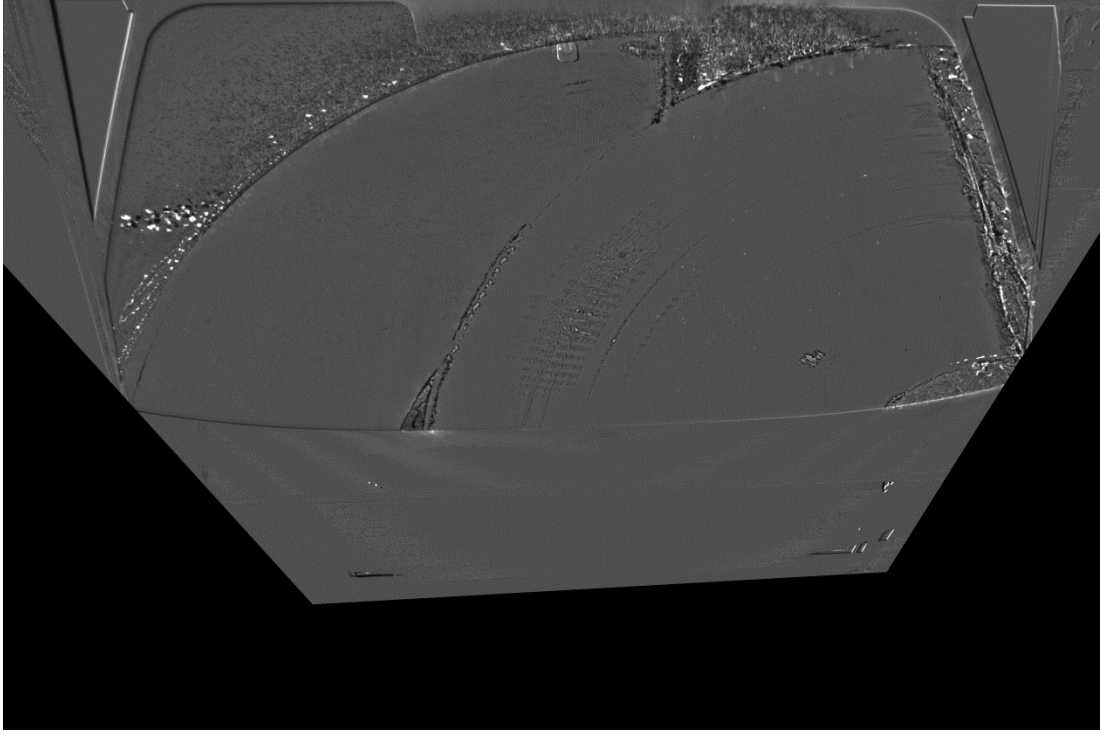
3.3. Işıklılık Dengelenmesi

Homojen olmayan ışık kaynağı ve araç camının homojen olmayan ışık kırınımı, düzlem üzerinden alınan imge üzerindeki ışıklılık dağılımını düzensiz kılmaktadır. Işıklılık dengelemesi ile homojen olmayan ışık dağılımını en aza indirmek amaçlanmaktadır.

Işıklılık dengeleme işlemi için öncelikle üzerinde su birikintileri ve üzerinde mümkün olduğunca leke ya da iz bulunmayan bir test imgesi seçilir. Bu imge temiz imge olarak kullanılmaktadır. Temiz imgenin piksel değerlerinden ışıklılık dengeleme katsayıları elde edilir. Çalışma kapsamında, sabit bir ışıklılık değerinin temiz imge piksellerinin ışıklılık değerlerine oranı ışıklılık dengeleme katsayıları olarak belirlenmiştir. Her piksel için ayrı bir katsayı elde edilir. Bu katsayılar matrisinin her elemanı ile test imgesindeki her piksel değeri çarpılarak ışıklılık dengeleme işlemi yapılır.

Bu işlem sonucunda test imgesindeki ışıklılık değerlerinde homojen bir dağılım sağlanarak görüntülerde oluşan ışıklılık değişiminin sonuçları etkilemesi önlenmiş olur.

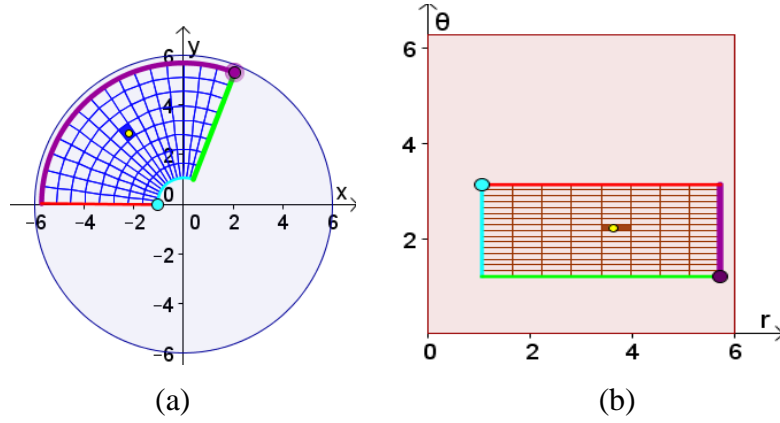
Şekil 3.14'te ışıklılık dengeleme işlemi sonucu test imgesi gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Işıklılık dengelemesi sonrası sürücü bölgesi test imgesi

4.KARTEZYEN-KUTUPSAL KOORDİNAT DÖNÜŞÜMÜ

Sileceğin üzerindeki sabit bir noktanın otomobil camı üzerinde oluşturduğu hata yay yapısında olduğundan, hataların daha verimli şekilde tespiti için doğrusallaştırılması önem kazanmaktadır. Homografi sonrası ve ışıklılık dengelemesi yapılmış imge üzerinden kartezyen-kutupsal koordinat dönüşümü yapılarak silecek alt ve üst yayları arasında kalan bölge dikdörtgensel hale getirilmektedir. Kartezyen koordinatlardan kutupsal koordinatlara geçişin temsili gösterimi Şekil 4.1’de verilmiştir.

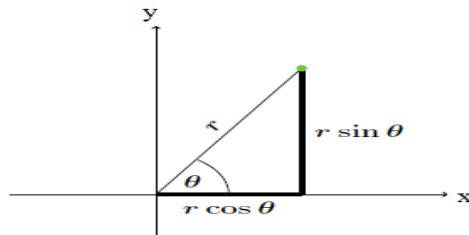


Şekil 4.1. (a) Kartezyen koordinatlar (b) Kartezyen-kutupsal koordinat dönüşüm sonucu

Kartezyen-kutupsal koordinatlara geçmek için Denklem (4.1) ve Denklem (4.2)'den faydalanılır. Şekil 4.2 'de denklemdeki eşitlikler gösterilmiştir.

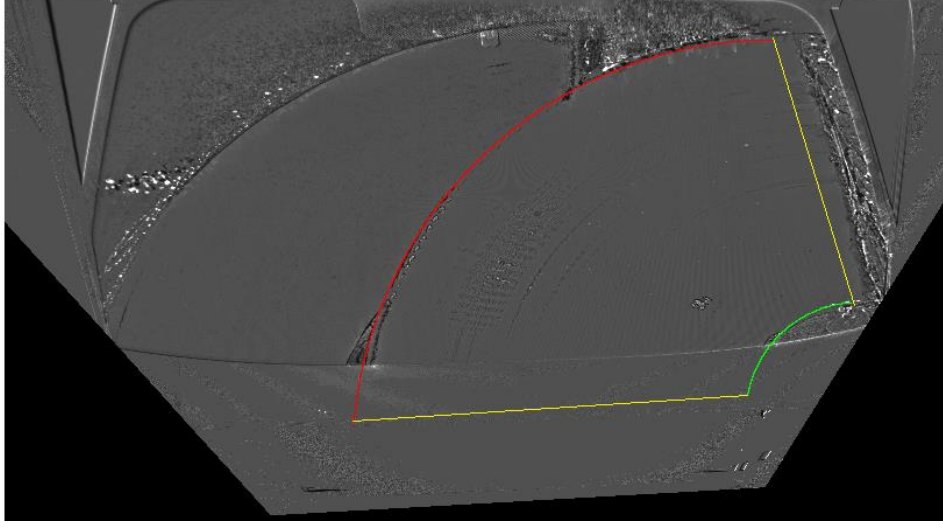
$$x = r \cdot \cos \theta \quad (4.1)$$

$$y = r \cdot \sin \theta \quad (4.2)$$



Şekil 4.2. Koordinat dönüşümü eşitlikleri

Kartezyen- kutupsal koordinat dönüşümünü uygulamak için sileceğin çizdiği alt ve üst yaylar dairesel biçimde modellenerek, yaylar arasında kalan bölge eş merkezli olmayan yapıda açılmaktadır.



Şekil 4.3. Silecek yayları arasında kalan bölge

İlk olarak yayların merkez noktaları ve yarıçaplarını hesaplamalıdır. Bu çalışmada yayların merkez noktaları ve yarıçaplarını hesaplamak için Kukush-Markovsky-Van Huffel eğri uydurma yöntemi [7] kullanıldı. Bu yöntem karesel ölçüm hataları çerçevesinde tutarlı bir eğri uydurma modelidir. Fonksiyon için giriş değerleri olarak $XY(n,2)$ olacak şekilde n adet koordinat dizisi belirlenir. Çıkış değerleri olarak eğri uydurulmuş dairenin merkez noktaları (x,y) ve yarıçapı (R) alınır.

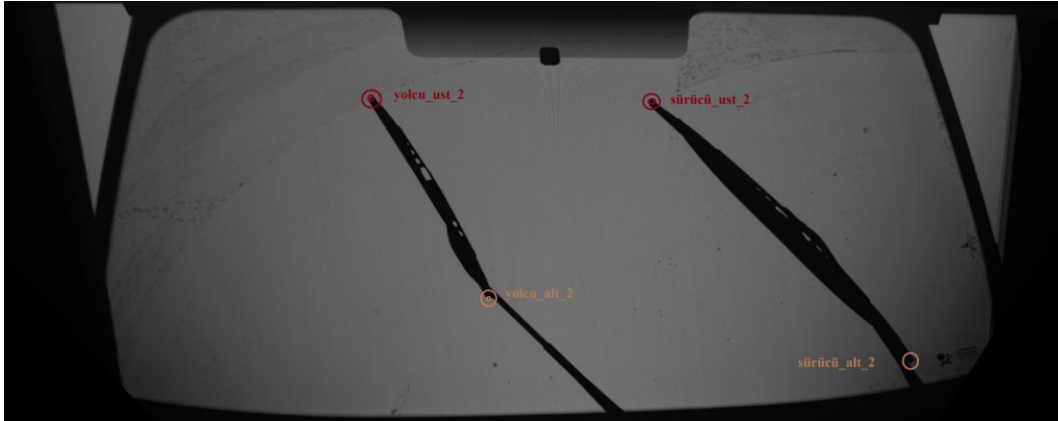
Giriş değeri olarak sileceğin silme alanının sınırları olan alt ve üst yaylar üzerinden noktalar alınmalıdır. Bu koordinat değerleri ile işlemler sonucunda oluşturulan kare matrisin öz değerlerini içeren vektör hesaplanır. Bu özvektörün köşegen değerleri, yayların merkez noktalarını ve yarıçapını verir.

Düzgün bir açma işlemi için yaylar üzerinden alınacak noktalar büyük bir öneme sahiptir. En doğru sonuç için sileceğin, yaylar üzerindeki anlık konum bilgisi dikkate alınarak açma işlemi gerçekleştirilmiştir. Alt yaydaki değişim hızı düşük iken üst yaydaki değişim hızı daha yüksektir. Ayrıca camın bombeli yapısı, silecek kolunun kendi doğrultusu ile sileceğin kendi doğrultusunun farklı olmasından kaynaklanan doğrusal olmayan bir hız değişimi söz konusudur. Farklı zamanlarda alınmış görüntülerde elde edilen silecek doğrultuları ve sileceklerin yayları kestiği noktalar

alınarak doğru bir sonuç elde edilir. Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da, sürücü ve yolcu tarafı sileceklerinin cam üzerinde zamansal olarak geçtiği noktaların doğrusal olmayan değişimi görülmektedir.



Şekil 4.4. Silecek alt-üst noktalarının zamanla değişimi

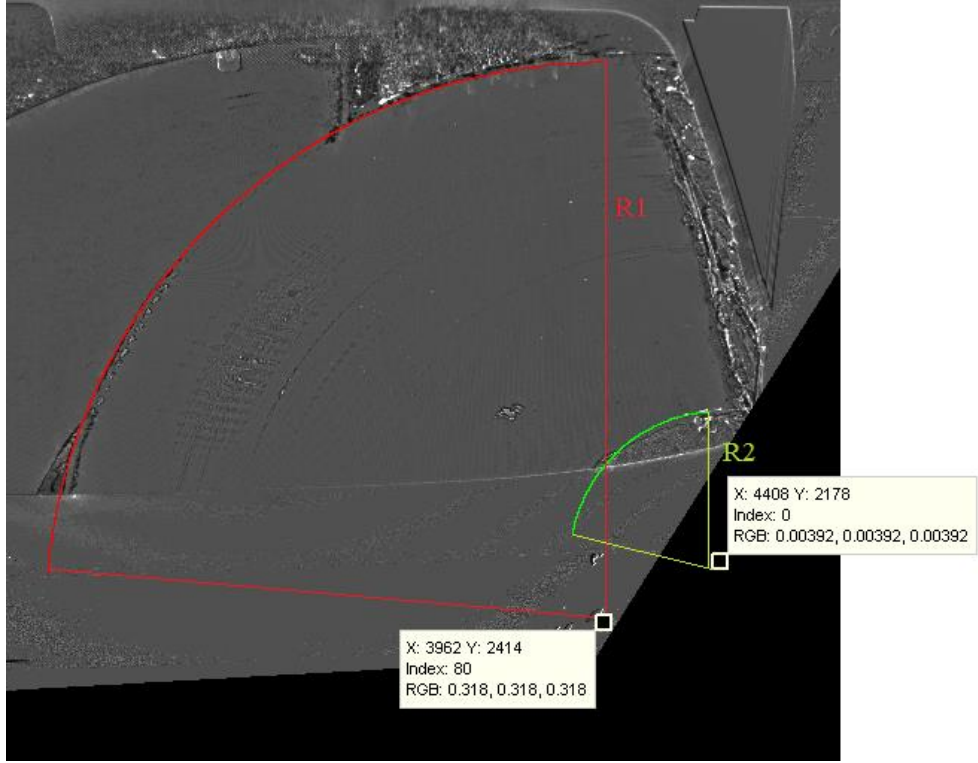


Şekil 4.5. Silecek alt-üst noktalarının zamanla değişimi



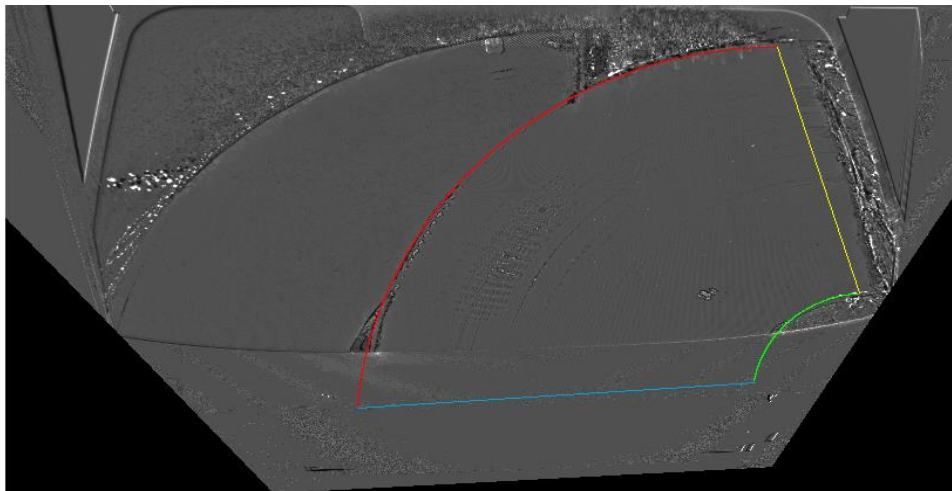
Şekil 4.6. Silecek alt-üst noktalarının zamanla değişimi

KMvH yöntemi sonucunda merkez noktaları ve yarıçap belirlenir. Şekil 4.7’de bulunan merkez noktaları ve silecek yaylarına oturtulan eğriler gösterilmektedir.



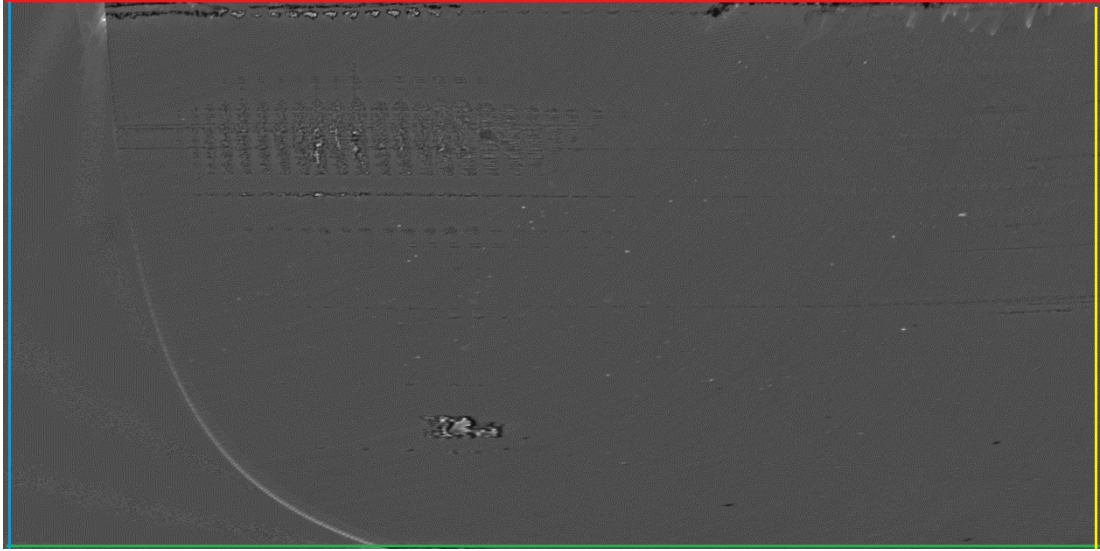
Şekil 4.7. KMvH yöntemi sonucunda bulunan merkez noktaları ve yarıçap değerleri

Bulunan bu parametrelere göre imge açma işlemi gerçekleştirilerek kartezyen koordinatlardan kutupsal koordinatlara geçilir.



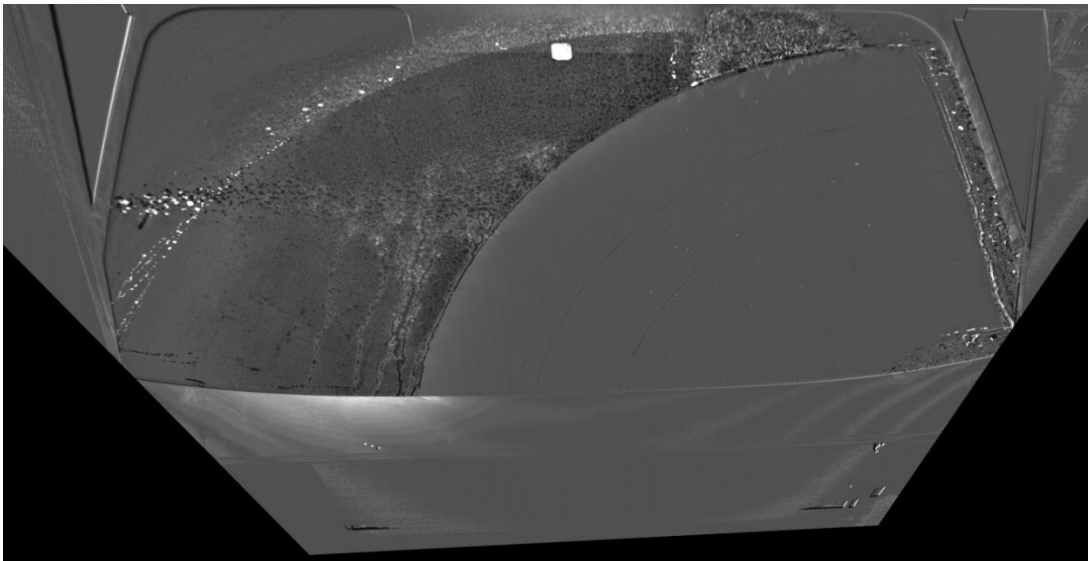
Şekil 4.8. İmge açma işlemi yapılacak bölge

Şekil 4.8’de gösterilen seçili bölge eş merkezli olmayan bir şekilde açılarak imge açma işlemi yapılır. İlk önce sarı çizgi ile gösterilen bölge alınarak kutupsal koordinatlarda oluşan imgeye yerleştirilir. Kırmızı ve yeşil yaylar arasındaki tüm bölgeler mavi çizgiye kadar tek tek taranarak yeni imgeye yerleştirilir. Bu işlemler sonucunda oluşan yeni imge Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

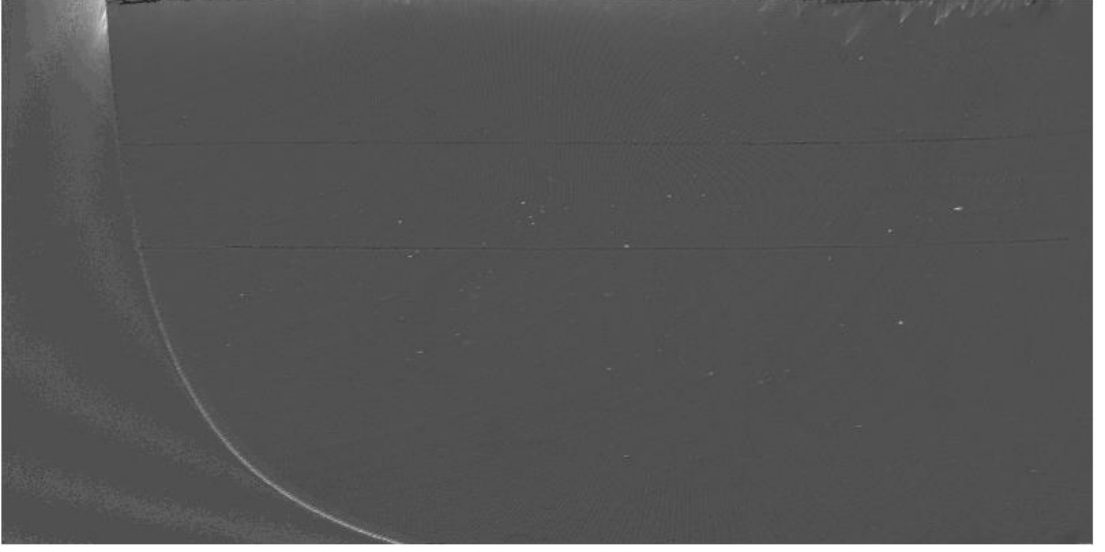


Şekil 4.9. Alt ve üst yaylar arasında kalan bölgenin açılmış hali

İmge açma işlem sonucunun daha iyi gözlemlenebilmesi için işlem çizgisel hata barındıran bir test imgesi için yapılabilir. Şekil 4.10’da gösterilen test imgesi için imge açma sonucu Şekil 4.11’de gösterildiği gibi olur.



Şekil 4.10. Çizgisel hata test imgesi

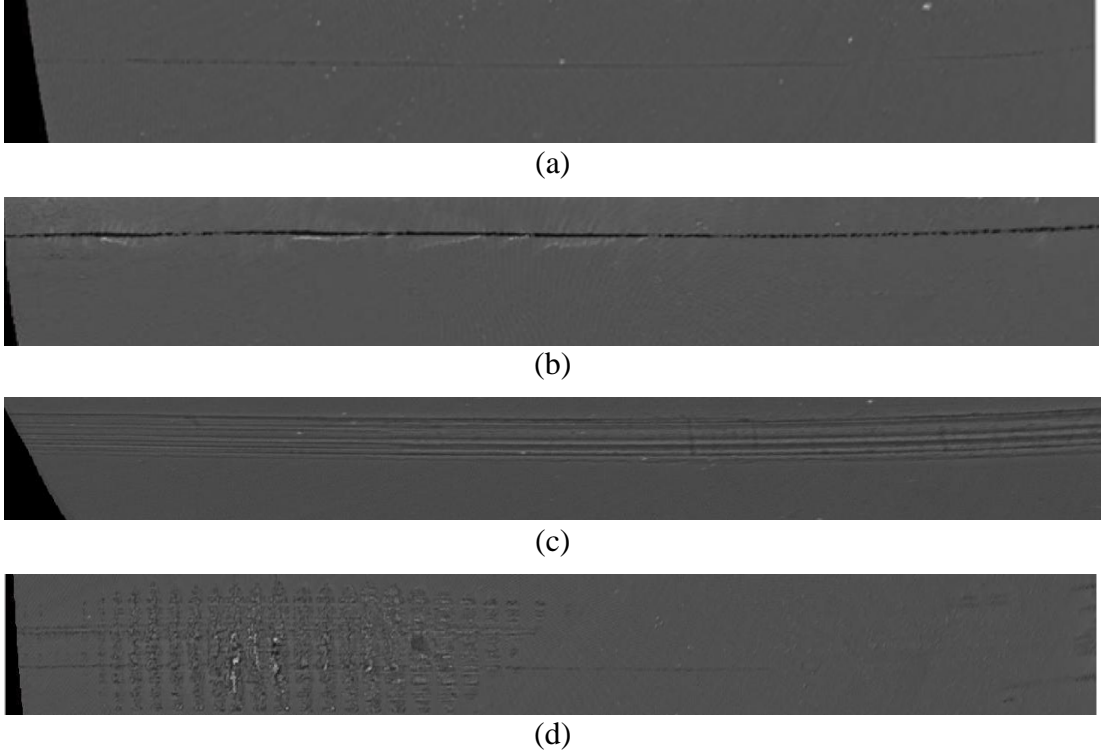


Şekil 4.11. İmge açma sonucu test imgesi

5.SİLECEK HATALARI VE HATALARIN DOKU ANALİZİ TEMELLİ TESPİT ÇALIŞMALARI

5.1. Silecek Hatalarının Sınıflandırılması ve Tespit Öncesi Son İşlemler

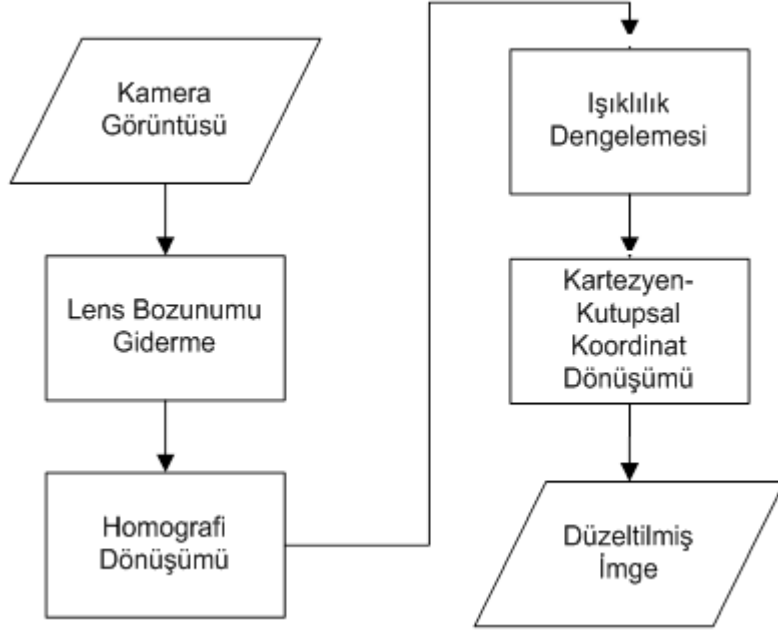
Bozuk sileceklerin cam üzerinde bıraktığı izlere göre temelde dört farklı silecek hatası bulunmaktadır. Bu hatalar yatayda ve düşeyde oluşan hatalar olarak iki ana sınıfa ayrılabilir. Yatayda oluşan hatalar; ince çizgisel hata, kalın çizgisel hata, bölgesel hata olarak sınıflandırılabilir. Düşeyde oluşan hatalar ise tırlatma hatalarıdır. Şekil 5.1’de farklı silecek bozukluklarından kaynaklanan bu hataların yapıları ve şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 5.1. (a) İnce çizgisel hata, (b) Kalın çizgisel hata, (c) Bölgesel hata, (d) Tırlatma hatası

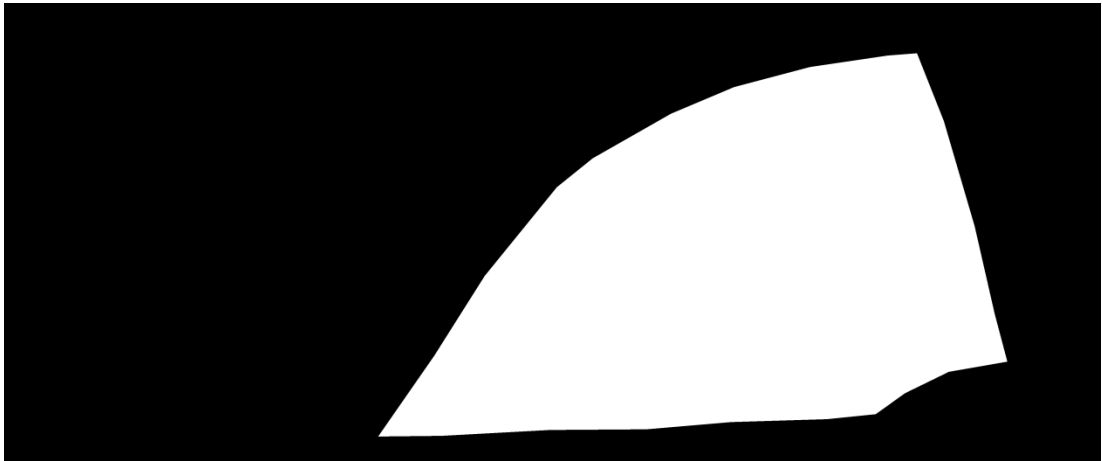
Hatalı silecekler cam üzerinde su izleri bırakırlar. Hatalar tespit edilirken amaçlanan bu su izlerini tespit etmektir. Test edilecek imgeler üzerinde hata tespitine başlamadan önce daha önceden anlatıldığı gibi bazı ön işlemler yapılmalıdır. Bu

işlemler sonucunda düzeltilen imge test imgesi olarak kullanılmaktadır. Şekil 5.2’de gösterilen aşamalardan sonra düzeltilmiş imge elde edilir.



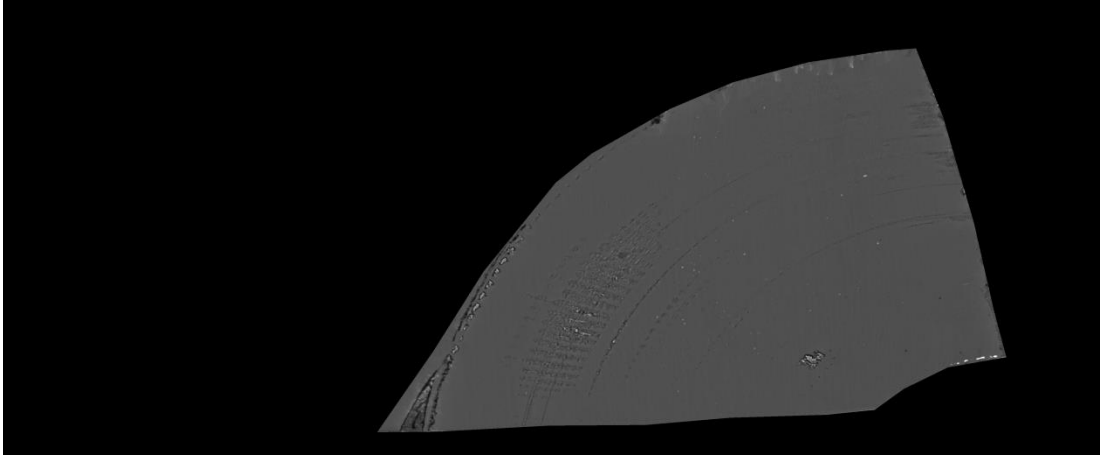
Şekil 5.2. Tespit öncesi ön işlemler

Araç camı sürücü ve yolcu bölgesi olarak iki temel bölgeye ayrılabilir. Tespit işlemi hangi tarafta yapılacaksa, tespit imgesinde sadece o kısım üzerinde çalışmak gerekmektedir. Bu ayrımı kolay yoldan yapabilmek için operatör tarafından sınırları işaretlenen maskeler kullanılır. Maskeleme işlemi sonucunda elde edilen imge, kartezyen-kutupsal dönüşüm yapılarak düzeltilmiş imgeye dönüştürülür. Şekil 5.3’te sürücü bölgesi için kullanılan maske imgesi gösterilmektedir.



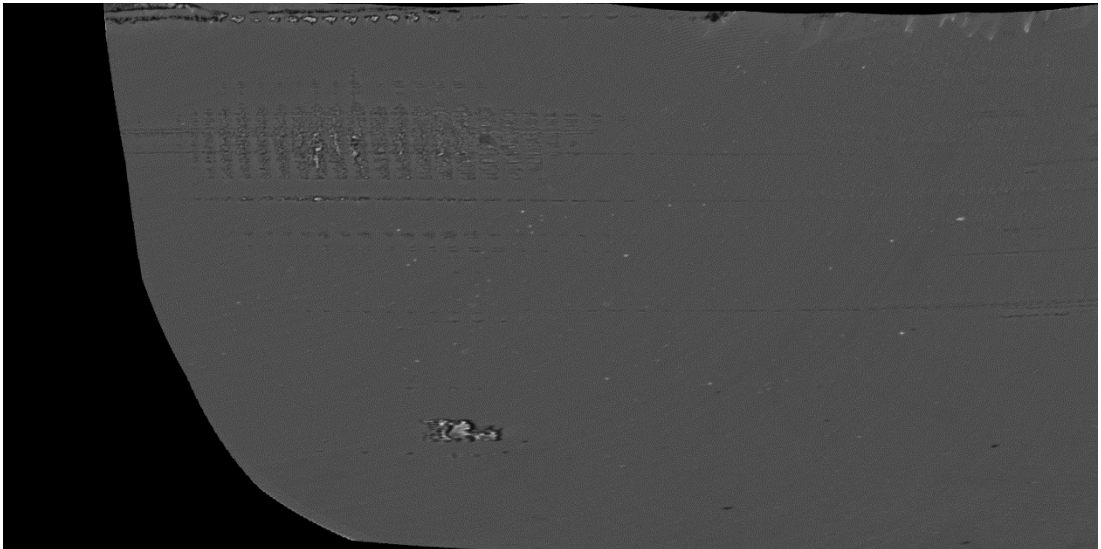
Şekil 5.3. Sürücü bölgesi maske imgesi

Işıklılık dengeleme işlemi sonrasında elde edilen imge ile maske imgesi çarpılarak Şekil 5.4'te gösterilen maskelenmiş imge elde edilir.



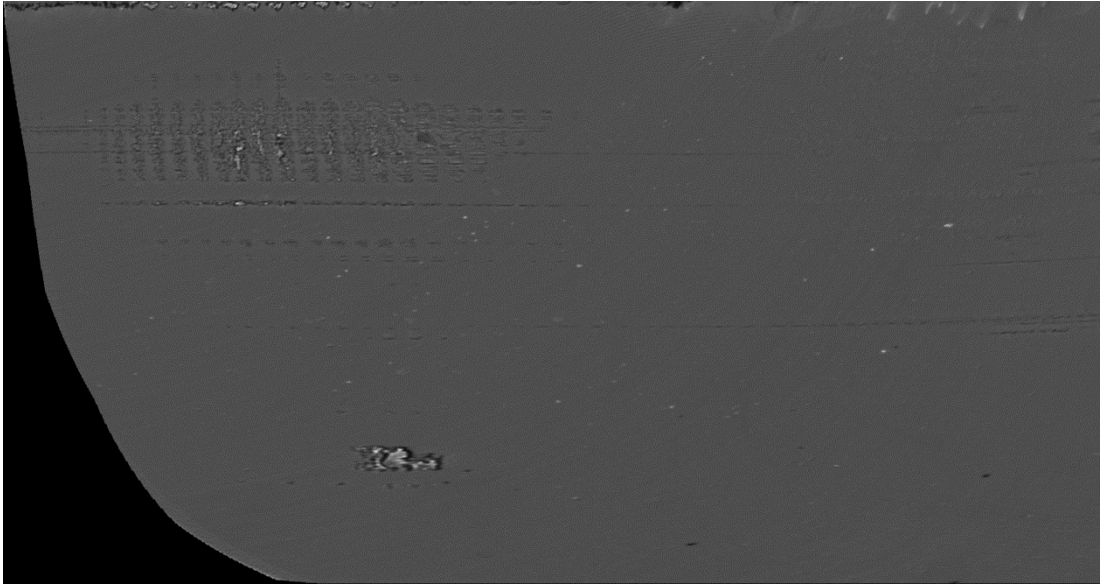
Şekil 5.4. Maskeleme işlemi sonucundaki test imgesi

Tespit öncesi işlemlerin son adımı olarak kartezyen-kutupsal koordinat dönüşümü yapılmalıdır. Şekil 5.4'te görüldüğü gibi kartezyen-kutupsal koordinat dönüşümü yapılacak imgede, üst yay alt yaydan daha uzundur. Eş merkezli olmayan imge açma işlemi yapılırken iki yay da eşit açılarla taranırlar. Aralarındaki bu uzunluk farkından dolayı alt yayda sıfır bölgeleri bulunur. Şekil 5.5'te kartezyen-kutupsal dönüşü sonucunu gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Kartezyen-kutupsal dönüşüm sonucu test imgesi

Kartezyen-kutupsal koordinat dönüşümü yapıp imge açma yaparken hata tespit imgesinde hiçbir veri kaybı olmaması amaçlanır. Bu nedenle tarama yapılacak açı büyük tutulur. Büyük açıyla yapılan imge açma işlemi sonucunda imgenin ilk sütunlarında sıfır bölgeleri oluşur. Oluşan bu sıfır bölgeleri hata tespit imgesinde fazladan boyut büyüklüğüne ve eğri uydurma işlemi sırasındaki verinin artmasına neden olur. Eğri uydurma matrislerinin daha doğru oluşturulabilmesi için bu sıfır bölgelerinden mümkün olduğunca kurtulmak gerekir. Bunun için sıfır olmayan ilk pikseller bulunarak imge Şekil 5.6'daki gibi kırılır.



Şekil 5.6. İlk sıfır noktalarına göre kırılmış test imgesi

Silecek doğrultusunun başlangıç bölgesinde silecek kamera görüntüsüne girebilmektedir. Ayrıca çalıştıktan sonra bu kısımda su birikintileri kaldığından imge açma işlemi yapılırken başlangıç açısı 1 derece büyük olacak şekilde imge açma işlemi daha ön taraftan başlatılmaktadır.

Kameranın görüntü alma anına göre imgede parlaklıklar olabilmektedir. Bu parlaklıklar sileceğin çalıştığı anda projeksiyon cihazından gelen ışığın kırılması nedeniyle oluşurlar. Kamera görüntüsünü daha geç alırsa bu parlaklıklara rastlanmaz. Test imgesinde görülen bu parlaklıklar tespit aşamasında hata olarak bulunmaktadır. Fakat sınıflandırma aşamasında bu noktalar gerekli şartları sağlamadığından hatalı bir tespit yapılmamaktadır.

5.2. Literatür Taraması

Silecek ürününün üretilmesinden sonra performansının nesnel olarak değerlendirilmemesi, silecek ürün kalitesinin iyileştirilmesi açısından sorun teşkil etmektedir. Silecek silme performansının görüntü işleme temelli değerlendirilmesine yönelik ulusal ve uluslararası alanda bir çalışma bulunmamaktadır. Aşağıda, literatürde mevcut olan ve görüntü işleme temelli görsel tespit çalışmalarından bazı çalışmalar özetlenmiştir.

Endüstride kalite kontrolünün önemli bir kısmını ürünlerin görsel olarak incelenmesi oluşturmaktadır. Bu işlem uzun yıllarca insanlar tarafından yapılırken hızla gelişen teknoloji sayesinde şimdi bu kontroller imge işleme algoritmaları ile yapılmaktadır. Doku analizinde sinyal işleme geniş bir alan kaplamaktadır. Gabor, Fourier, ayırık kosinüs dönüşümü ve dalgacık dönüşümü temelli yöntemler özellikle bu alanda tercih edilen yöntemlerdendir. Ayrıca bütünsel ve yerel imge eşikleme, kenar bulma, morfolojik süzgeçleme, eğri uydurma kullanılan yöntemlerdir.

Bir imgede ışıklılık seviyesinde farklılık gösteren bölgelerin tespit edilmesinde , problemin niteliğine göre bütünsel ya da yerel imge eşikleme işlemi kullanılabilir. Bütünsel eşikleme için en genel kullanılan yöntem [8]'de önerilmektedir. Bu yöntemde ön plan ve arka plan küme içi değişimlerini en küçükleyen, bu iki küme arasındaki mesafeyi en büyükleyen en uygun eşik değeri elde edilmektedir. Bu yöntem arka planın düşük frekanslı yerel değişimlere sahip olması durumunda başarısız sonuç vermektedir. Bu durumda yerel özellikleri de dikkate alarak eşikleme yapan yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Bunun için literatürde yerel pencereler üzerinde histogram temelli eşikleme [9], kenar bilgilerini dikkate alan yerel eşikleme [10], bulanık entropi temelli eşikleme [11], kümeleme temelli eşikleme [12] gibi yaklaşımlar sıkça kullanılmaktadır.

Literatürde farklı malzemeler üzerinde oluşan kusurların ya da farklılık gösteren bölgelerin tespiti için önerilen çalışmalardan [13]'te yüzey bozukluklarının kameralı bir sistem ile karakterizasyonu için çevrit saçılımına bağlı olarak eşik seviyesinin belirlendiği bir eşikleme yöntemi önerilmektedir.

[14]'teki çalışmada, endüstriyel düz yüzeylerdeki kusurların tespitinde temel bileşen analizi temelli çoklu özellik tümleştirmeye dayanan, yapay sinir ağları temelli bir sınıflandırıcı önerilmektedir.

Düşük karşıtlıklı yüzeylerde geliştirilmiş anizotropik yayılım modeli kullanılarak kusurlu bölgelerin tespiti [15]'te önerilmektedir. Parçacık sürü en iyilemesi kullanılarak en uygun yayılım model parametreleri bulunmakta ve bu modele bağlı olarak düzensizlikler tespit edilmektedir. [16]'daki çalışmada, düz çelik malzemelerde kusur tespitine yönelik bulanık mantık temelli bir sınıflandırıcı oluşturulmaktadır. İmge önce süzgeçlendikten sonra çeşitli özellikler çıkartılmakta ve bu özellikler sınıflandırıcıya giriş olarak uygulanmakta ve kusurlu bölgeler tespit edilmektedir.

Frekans uzayında yapılan tespit işlemleri de doku analizinde sıklıkla kullanılmaktadırlar. [17]'deki çalışmada, imge uzayı ve frekans uzayı arasındaki ilişki incelenmiştir. Üç boyutlu frekans spektrumuna göre oluşturulan merkezi konumsal frekans spektrumları diyagram hatalı dokuların tespiti için kullanılmıştır. Fourier analizi kullanılarak hatalı dokuların tespitinin yapıldığı bir diğer çalışma [18]'de önerilmektedir. İmge uzayından frekans uzayına ayrık Fourier dönüşümü ile geçilmektedir. Bu çalışmada daha sonra Hough dönüşümü kullanılarak dokudaki çizgisel hataların tespit işlemi yapılmıştır.

Gabor filtreleri hatalı doku analizinde sıklıkla tercih edilen başka bir yöntemdir. [19]'daki çalışmada, gabor filtreleri kullanılarak hatalı dokuların tespiti gerçekleştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan bir başka yöntem de dalgacık dönüşümüdür. Çok ölçekli dalgacık dönüşümü kullanarak hatalı doku tespiti işlemi [20]'de önerilmektedir. Değişken çerçeve boyutları kullanılarak dalgacık katsayıları hesaplanmıştır. Bu katsayılar komşuluk ilişkileri göz önünde bulundurularak incelenmiş ve hatalı dokular tespit edilmiştir.

[21]'deki çalışmada, homojenlik analizi ve ayrık kosinüs dönüşümü kullanılarak doku kusur tespiti önerilmektedir. İlk önce her pikselin homojenliği hesaplanarak yeni bir homojenlik imgesi oluşturulmaktadır. Daha sonra homojenlik imgesi bloklara ayrıştırılarak her bloğa ayrık kosinüs dönüşümü uygulanmaktadır. Hatalı dokuların bulunduğu bloklar çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılarak

belirlenmektedir. [22]'de de başka bir ayrık kosinüs dönüşümü kullanılarak doku analizi yöntemi önerilmektedir. Ridgelet dönüşümü de doku analizinde kullanılan yöntemlerdendir. [23]'te önerilen yöntemde, ridgelet sonucunda elde edilen özneliklerin dalgacık tabanlı özneliklerden daha az karmaşık olduğu ve sınıflandırma açısından daha başarılı olduğu belirtilmektedir.

[24]'teki çalışmada, polisilikon kusurlarının tespiti için eğri uydurma temelli bir yöntem önerilmektedir. [25]'teki çalışmada, hatalı doku tespiti için ilk önce orta değer filtre ile kumaş görüntüleri işlenmektedir. Daha sonra eğri uydurma işlemi gerçekleştirilerek hata görüntüsü oluşturulmaktadır. Son olarak kenar bulma yöntemi kullanılarak hatalı dokular tespit edilmektedir.

Bu tez çalışmasında eğri uydurma, ayrık kosinüs dönüşümü ve ridgelet dönüşümü temelli hata tespit yöntemleri geliştirilmiştir. Bu bölümde ayrık kosinüs dönüşümü ve ridgelet dönüşümü temelli hata tespit yöntemleri ele alınmıştır.

5.3. Ayrık Kosinüs Dönüşümü Temelli Hata Tespit Yöntemi

Ayrık kosinüs dönüşümü ayrık Fourier dönüşümü gibi sinüzoidal bir dönüşümdür. Fakat aralarındaki en önemli fark, ayrık kosinüs dönüşümünün yalnızca kosinüs terimlerini kullanmasıdır. Bundan dolayı karmaşık bileşenler içermemektedir. Ayrık kosinüs dönüşümü yüksek ilintiye sahip bilgiyi, iniltisi düşük bilgiye dönüştürür [22]. N imge boyutunu göstermek üzere, NxN boyutlu bir f(x,y) görüntünün ayrık kosinüs dönüşümü [26] Denklem (5.1)'de gösterildiği gibi tanımlanır.

$$C(u, v) = a(u)a(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right] \quad (5.1)$$

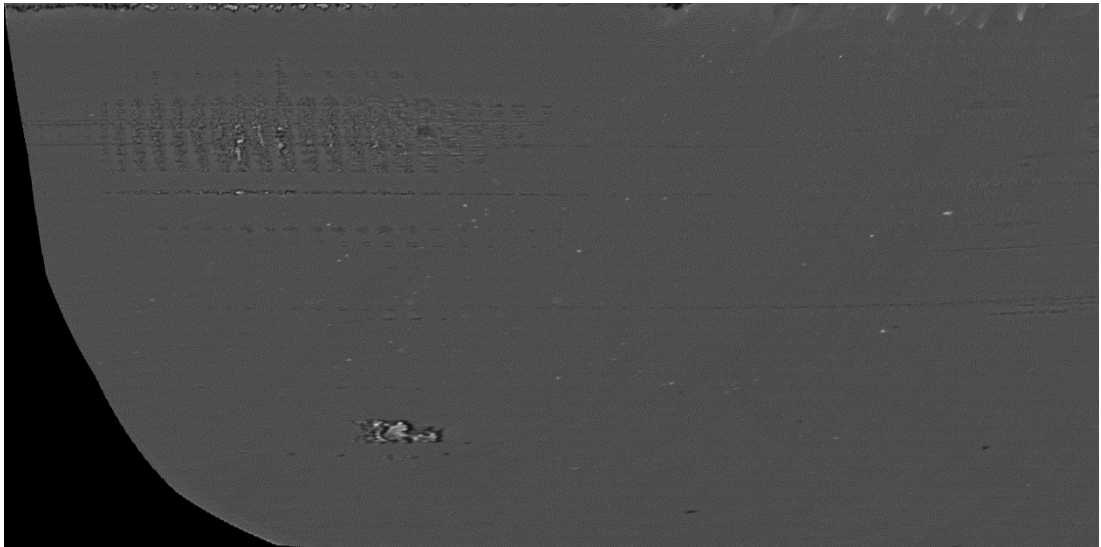
$$a(u) = \begin{cases} \sqrt{1/N} & u = 0 \\ \sqrt{2/N} & u = 1, 2, \dots, N-1 \end{cases} \quad (5.2)$$

Diğer dönüşümlerle karşılaştırıldığında ayrık kosinüs dönüşümü bazı avantajlara sahiptir. Dikgen bir dönüşümdür ve karmaşık bileşenler içermemesi bu avantajlarından biridir [22]. Ayrıca dönüşüm sonucunda oluşan yüksek frekans bileşenleri atılarak imge sıkıştırma işlemleri yapılmaktadır.

Ayrık kosinüs dönüşümü ile doku analizi yaparken aşağıdaki işlem sırası takip edilmiştir.

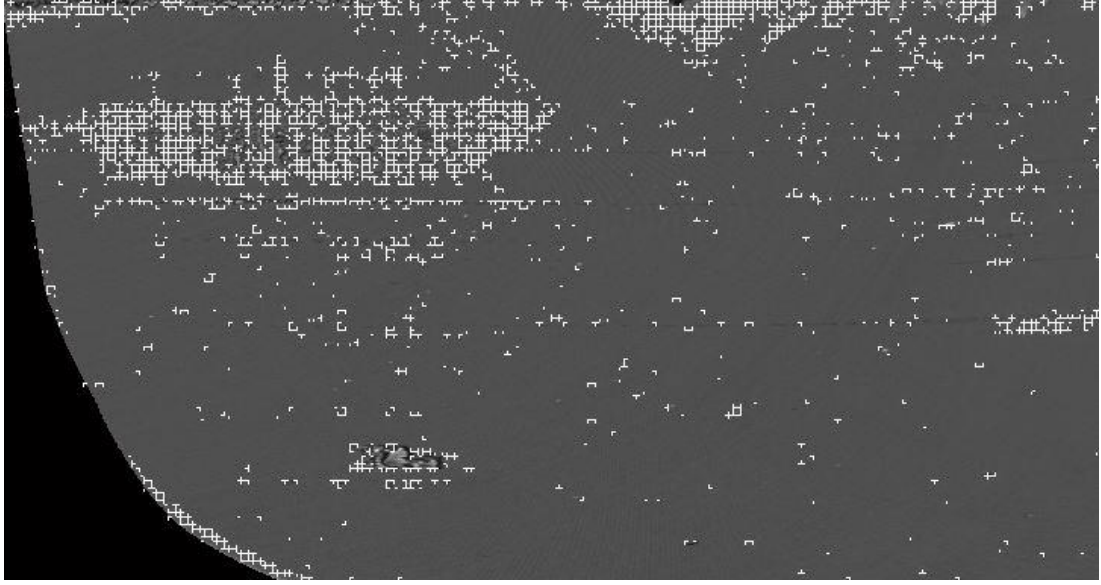
1. İlk önce test imgesi $n \times n$ 'lik bloklara ayrılır.
2. Her blok için ayrık kosinüs dönüşümü katsayıları hesaplanır. Bu katsayılar için 64'lük zig-zag tarama işlemi yapıldı. Böylece her blok 64 katsayı içeren birer vektör olarak yeniden oluşturulur.
3. Her blok için katsayılar toplamı hesaplanır.
4. Daha önceden belirlenen iki eşik değeri kullanılarak katsayılar toplamı incelenir. Bu eşik değerlerini sağlayan bloklar imge üzerinde farklı dokuların olduğu bloklar olarak tespit edilir.
5. Tespit edilen bloklar içerisindeki hatalı pikseller hatasız kısımlardan daha koyu olduğundan, bu özellik kullanılarak piksel bazlı bir tespit işlemi yapılmaktadır. Blok içerisinde koyu pikseller hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Burada kullanılan eşik değeri test imgeleri için en uygun olacak şekilde seçilmiştir.

Çalışma kapsamında 8×8 , 16×16 ve 32×32 'lik farklı blok boyutları kullanılmıştır. Şekil 5.7'de gösterilen test imgesi için ayrık kosinüs dönüşümlü tespit işlemleri gerçekleştirilmiştir. Piksel bazlı tespit işlemi için ıııklılık değeri eşikleri 50 ve 75 olarak belirlenmiştir.



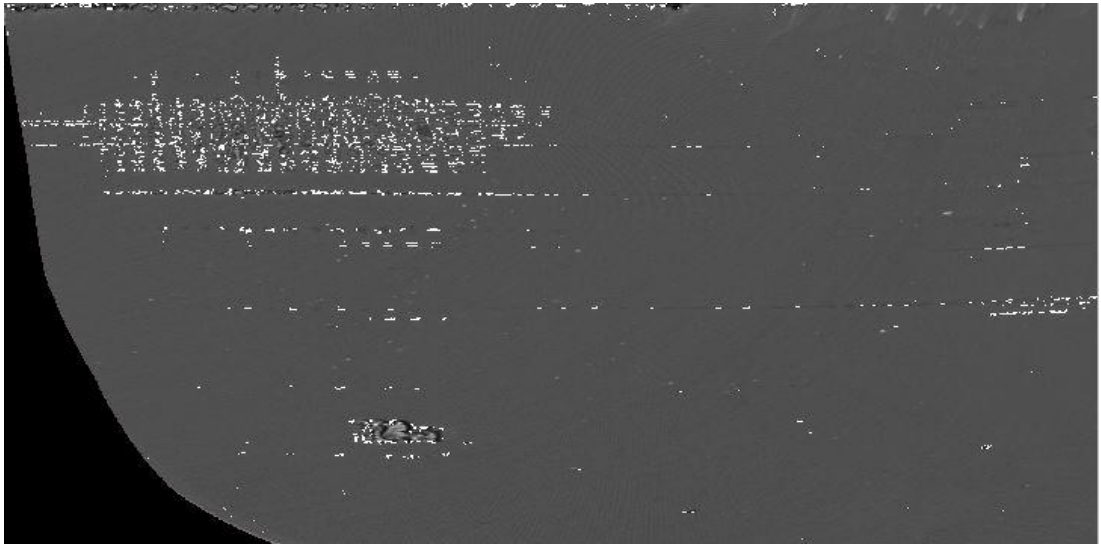
Şekil 5.7. Test imgesi

8x8'lik blok boyutu kullanılarak yapılan ayrık kosinüs dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 5.8'de gösterilmektedir. Katsayılar toplam matrisinde, piksel başına toplam katsayı oranı 10'dan büyük 12,5'dan küçük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



Şekil 5.8. 8x8 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

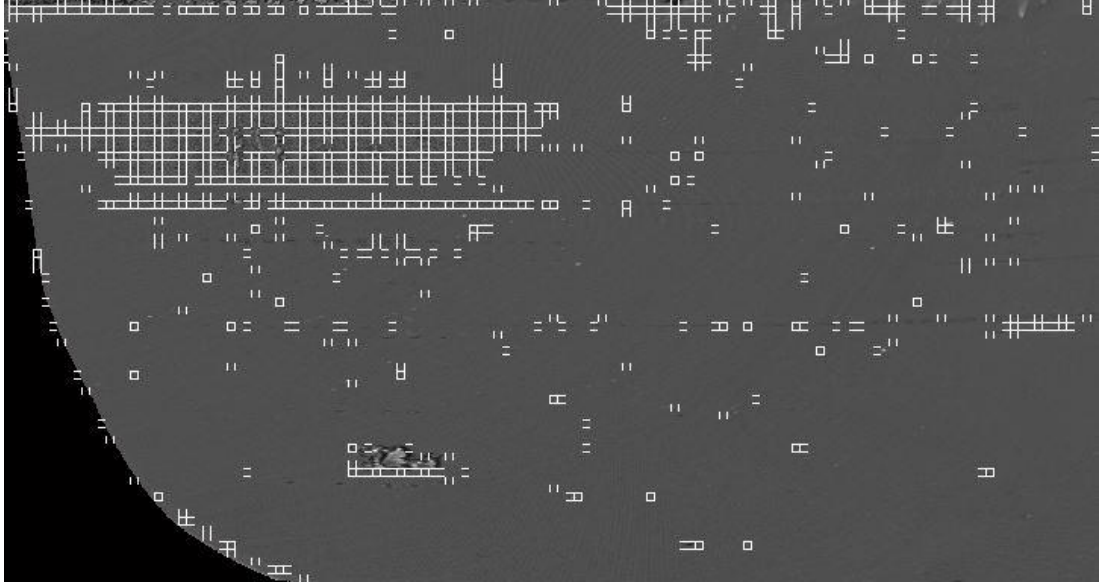
Piksel bazlı tespit yapabilmek için eşik değerleri 50 ve 75 olarak belirlenmiştir. Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri 50'den büyük 75'den küçük olanlar hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 5.9'da piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



Şekil 5.9. 8x8 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

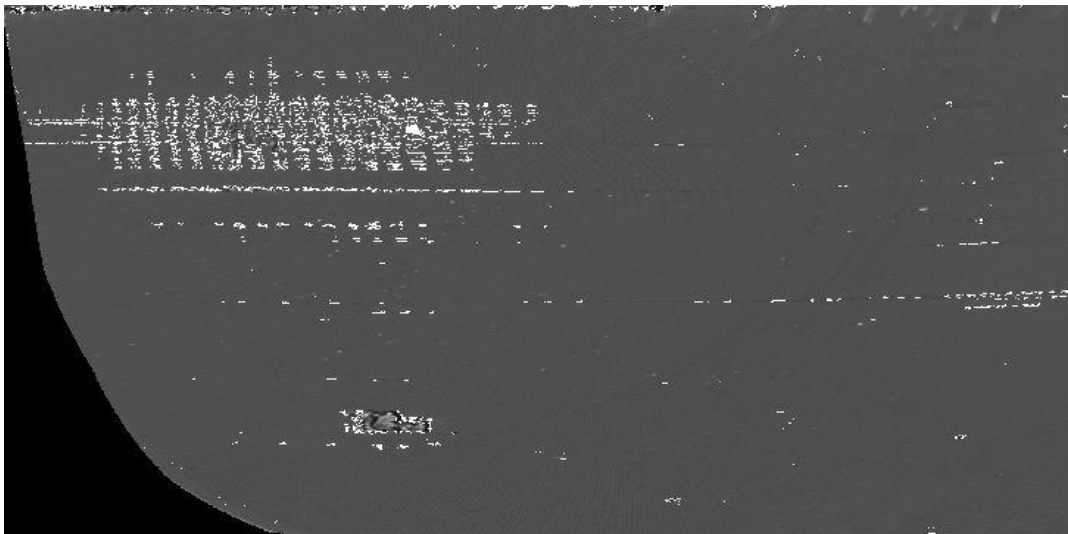
16x16'lık blok boyutu kullanılarak yapılan ayrık kosinüs dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 5.10'da gösterilmektedir.

Katsayılar toplam matrisinde piksel başına toplam katsayı oranı 5,8'den büyük 7,8'den küçük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



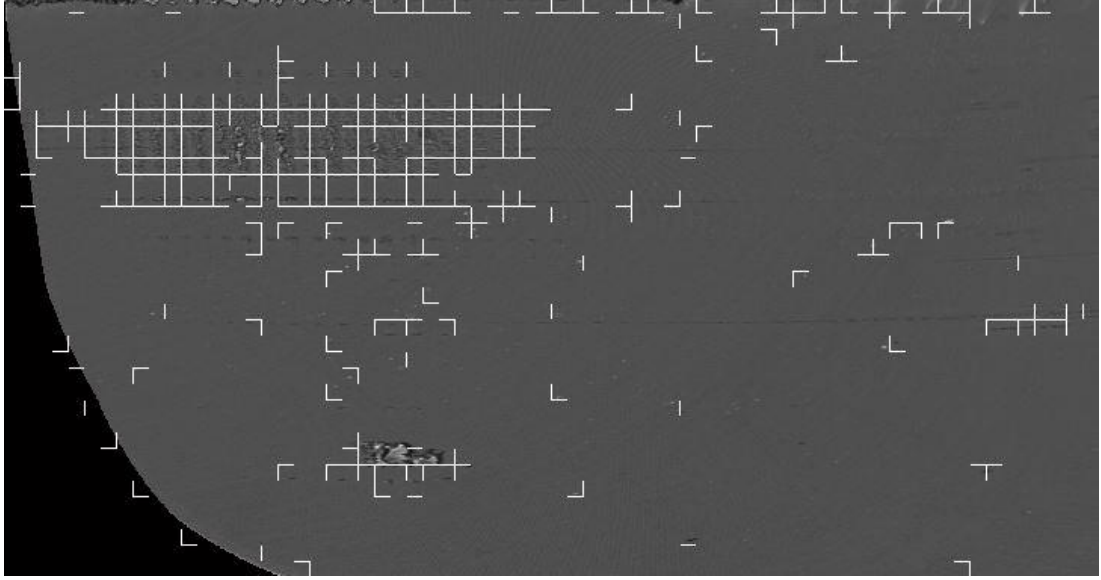
Şekil 5.10. 16x16 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri eşik değerlerini sağlayan pikseller hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 5.11'de piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



Şekil 5.11. 16x16 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

32x32'lik blok boyutu kullanılarak yapılan ayrık kosinüs dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 5.12'de gösterilmektedir. Katsayılar toplam matrisinde piksel başına toplam katsayı oranı 3,4'den büyük 5,8'den küçük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



Şekil 5.12. 32x32 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri eşik değerlerini sağlayan pikseller hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 5.13'de piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



Şekil 5.13. 32x32 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

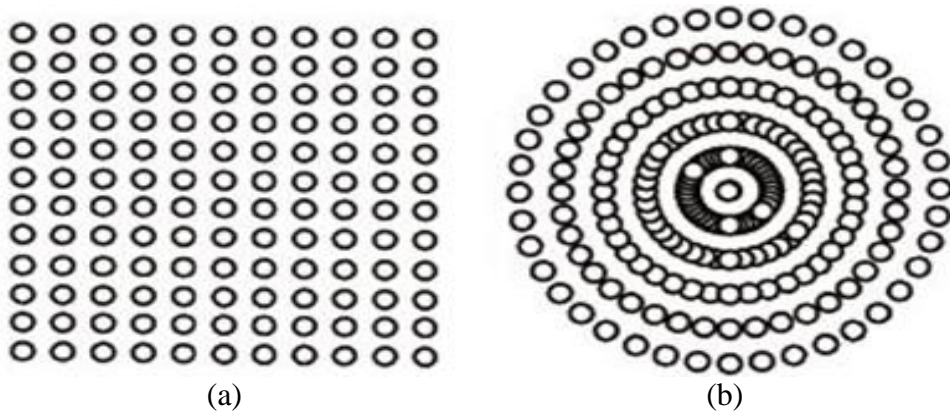
Blok boyutu ve belirlenen eşik değerlerine göre tespit edilen blokların ve piksellerin değişim gösterdikleri görülmektedir. İmge üzerinde ince çizgisel hataların tespit edilebilmesi için eşik değerlerini aşağı çekmek gerekmiştir. Bu da göstermektedir ki ayrık kosinüs dönüşümü yukarıda anlatılan yaklaşım ile kullanılması durumunda ince çizgisel hataların tespiti yapabilmek için düşük eşik değerleri kullanmak gerekmektedir.

5.4. Ridgelet Dönüşümü Temelli Hata Tespit Yöntemi

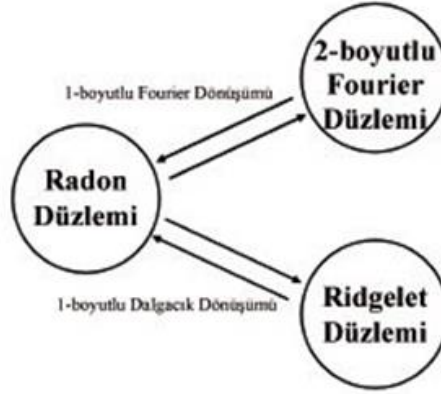
Ridgelet dönüşümü imgeler için birim dikgen dönüşümler içinde yeni bir ailedir ve izdüşüm-kesit teoremini ve bir boyutlu dalgacık dönüşümünü birleştirme fikri üzerine kurulmuştur. Radon dönüşümünün kesitleri üzerinde bir boyutlu dalgacık dönüşümü uygulanarak imgeler için ridgelet uzayına ulaşılır [23].

Ridgelet dönüşümü kendinden tersleyen bir algoritmadır. Başka bir deyişle, tersleme işlemi aynı dönüşüm algoritmasının uygulanmasıyla elde edilir. Ridgelet dönüşümü farklı açılardaki kesitler üzerinde hesaplanır.

İki boyutlu dalgacık dönüşümü yatay, düşey ve diagonal yönlerde bilgiler içerirken, ridgelet dönüşümü Radon dönüşümünün kullanılmasından dolayı farklı yönler için de bilgi içerir. Bu nedenle, dalgacık dönüşümü diğer yönlerdeki bilgileri kaçıran ridgelet dönüşümü bu bilgileri de içerir [23].



Şekil 5.14. (a) Dalgacık uzayında örnekleme, (b) Ridgelet uzayında örnekleme



Şekil 5.15. Dönüşümler arasındaki ilişki

Tek değişkenli işlev $f(x)$ için, sürekli ridgelet dönüşümü (SRD) Denklem (5.6)'daki gibi tanımlanır:

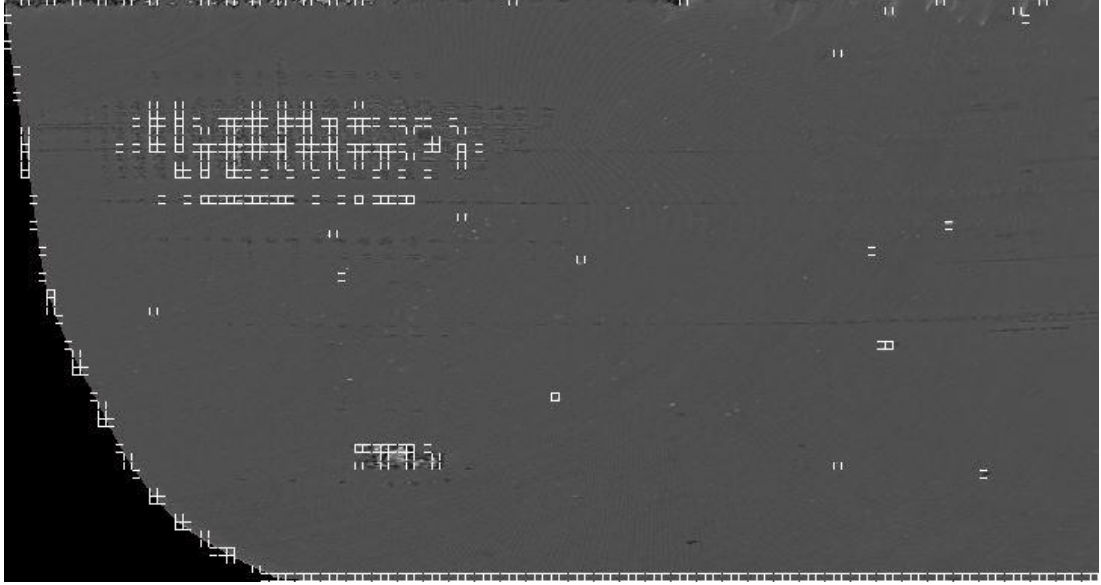
$$SRD_{f(a,b,\vartheta)} = \int_{\mathbb{R}^2} \psi_{a,b,\vartheta}(x) f(x) dx \quad (5.6)$$

Burada $\psi_{a,b,\vartheta}(x)$ ridgeletlerdir ve bir boyutlu dalgacık tipi fonksiyon $\psi(x)$ 'dan Denklem (5.7)'de gösterildiği gibi elde edilir.

$$\psi_{a,b,\vartheta}(x) = a^{-1/2} \psi((x_1 \cos(\vartheta) + x_2 \sin(\vartheta) - b) / a) \quad (5.7)$$

Test kapsamında farklı blok boyutları kullanılmıştır. Bu çalışmada 16,36 ve 46'lık blok boyutları kullanıldı. Şekil 5.1'de gösterilen test imgesi için ridgelet dönüşümlü tespit işlemleri gerçekleştirilmiştir. Piksel bazlı tespit işlemi için ışıklılık değeri eşikleri 50 ve 75 olarak belirlenmiştir.

16x16'lık blok boyutu kullanılarak yapılan ridgelet dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 5.16'da gösterilmektedir. Ridgelet dönüşüm sonucu hesaplanan enerji matrisinde piksel başına enerji oranı 390'dan büyük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



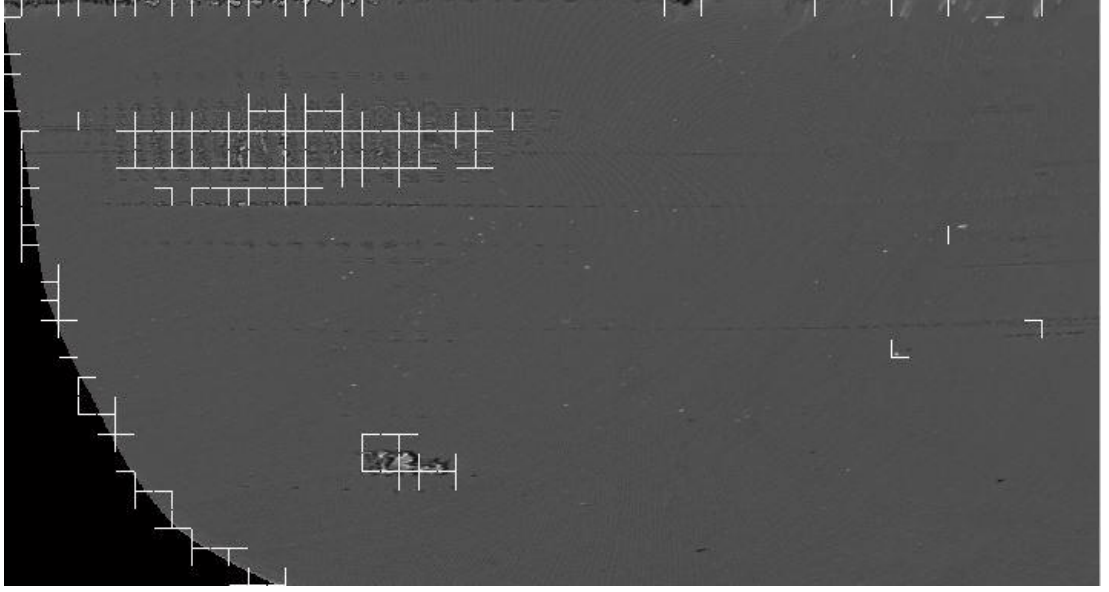
Şekil 5.16. 16x16 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri 50'den büyük 75'den küçük olanlar hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 5.17'de piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



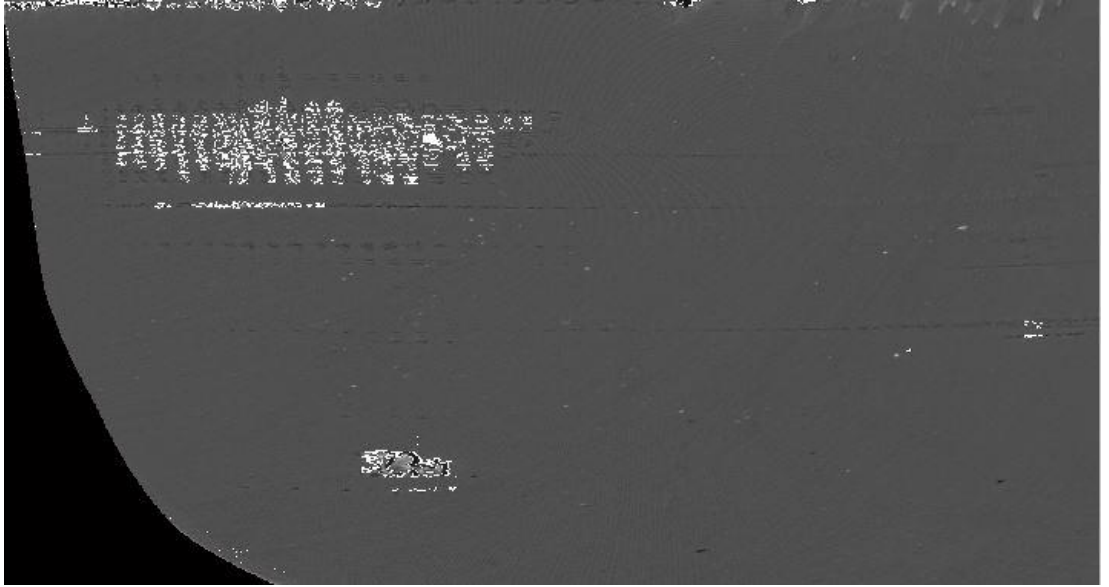
Şekil 5.17. 16x16 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

36x36'lık blok boyutu kullanılarak yapılan ridgelet dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 5.18'de gösterilmektedir. Ridgelet dönüşüm sonucu hesaplanan enerjiler matrisinde piksel başına enerji oranı 308'den büyük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



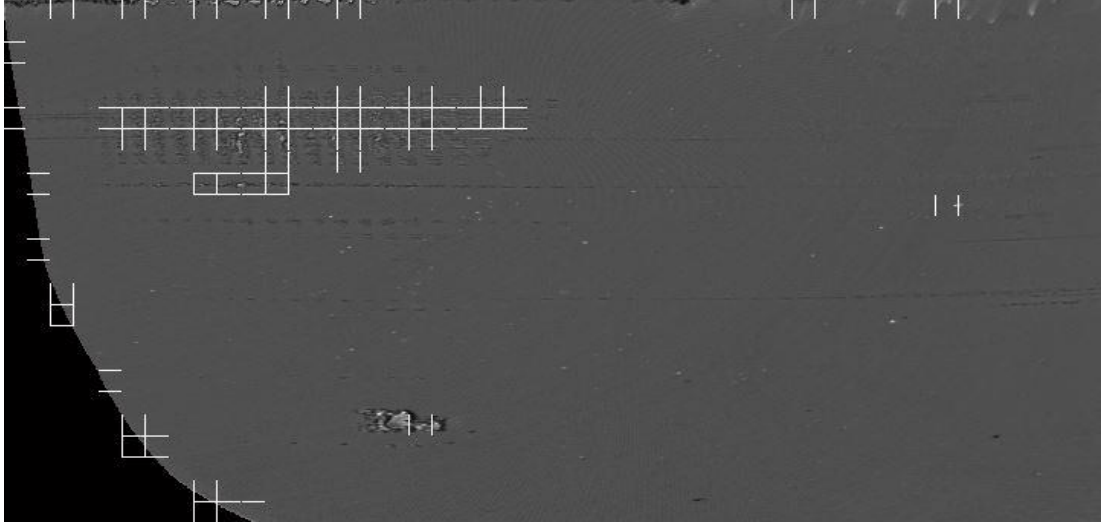
Şekil 5.18. 36x36 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri eşik değerlerini sağlayan pikseller hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 5.19'da piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



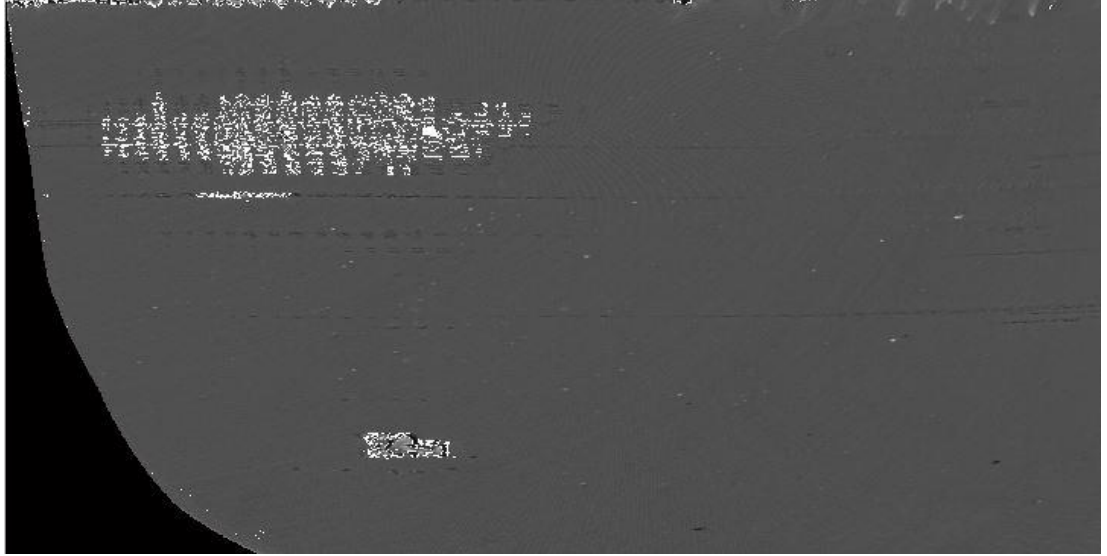
Şekil 5.19. 36x36 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

46x46'lık blok boyutu kullanılarak yapılan ridgelet dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 5.20'de gösterilmektedir. Ridgelet dönüşüm sonucu hesaplanan enerjiler matrisinde piksel başına enerji oranı 330'dan büyük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



Şekil 5.20. 46x46 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri eşik değerlerini sağlayan pikseller hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 5.21’de piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



Şekil 5.21. 46x46 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

Sonuç olarak, ridgeletler çizgiler boyunca olan tekilliklere sahip nesnelere göstermekte oldukça etkinken, dalgacıklar izole edilmiş, nokta tekillikleri olan nesnelere göstermekte etkindir. Aslında, ridgeletler bir boyutlu dalgacıkların çizgiler üzerinde birleştirilmesi için bir yöntem olarak düşünülebilir. Bundan dolayı ridgeletleri görüntü işlemede kullanmak, tekilliklerin imgeler üzerinde köşelerde ve düşey çizgilerinde birleşmesinden dolayı çekici bir hal almaktadır [23].

6.SİLECEK HATALARININ EĞRİ UYDURMA TEMELLİ TESPİTİ

Tez çalışması kapsamında silecek hatalarının tespit edilebilmesi için, ışıklılık uzayında eğri uydurma temelli bir tespit algoritması geliştirilmiştir. Eğri uydurma yöntemi olarak, gürbüz en küçük kareler yöntemi ile eğri uydurma yöntemi kullanıldı. Gürbüz en küçük kareler yöntemi ile hata olmayan ama hataymış gibi tespit edilen fazladan tespitler azaltılmıştır.

Yatay doğrultuda oluşan ince çizgisel hata, kalın çizgisel hata ve bölgesel hatalar sütun sütun yapılan eğri uydurma sonucunda belirgin şekilde tespit edilebilirler. Bozulmaların olduğu satırlar, normal dağılımlı diğer satırlar arasında ani değişim göstereceklerinden, gerçek veri ve eğri uydurulmuş verinin farklarına bakılarak tespit edilebilirler. Tırlatma hatası ise satır satır yapılan eğri uydurma sonucunda daha iyi gözlemlenir.

6.1. Işıklılık Uzayında Eğri Uydurma Temelli Tespit

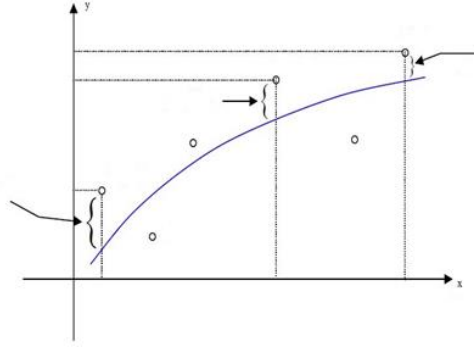
Tespit aşamasında amaçlanan bozuk sileceklerin cam üzerinde bıraktıkları su izlerini diğer bölgelerden ayırt etmektir. Bunun için bu tez çalışmasında ışıklılık uzayında eğri uydurma temelli bir tespit algoritması kullanılmıştır.

6.1.1. En küçük kareler yöntemi kullanılarak eğri uydurma

Eğri uydurma için kullanılan en popüler metot en küçük kareler metodudur. Gerçek veri ve eğri uydurulmuş verilerin arasındaki fark, artıklar olarak nitelendirilir. En küçük kareler yöntemi artıkların kareleri toplamını en aza indirmeyi amaçlar.

En küçük kareler metodu birçok farklı tipteki fonksiyonlar kullanılarak veriye uygun eğri uydurma için kullanılabilir. Bunun anlamı, en küçük kareler metodunda istenen formattaki eğrinin kullanılabileceğidir [27].

$$r_i = y_i - \hat{y}_i \quad r_i : \text{artık} \quad y_i : \text{orijinal veri} \quad \hat{y}_i : \text{eğri uydurulmuş veri} \quad (6.1)$$



Şekil 6.1. Artıklar

Artıkların toplamı Denklem (6.2)'deki halini alır.

$$S = \sum_{i=1}^n r_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (6.2)$$

1. dereceden doğrusal bir denkleme en küçük kareler yöntemi uygulanırsa Denklem (6.3) elde edilir.

$$\hat{y} = p_1 x + p_2 \quad (6.3)$$

Amaçlanan bu denklemi temsil edecek katsayıları bulmaktır. Bu problemde en küçük kareler polinomu sonucu ile her x noktasında ölçülen y değeri arasındaki farkların karesinin toplamı minimum yapılmaya çalışılmaktadır. n noktadan oluşan ölçüm sonuçları için eğri uydurma işleminde yapılan toplam karesel hata Denklem (6.4) ile ifade edilir [27].

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - (p_1 x_i + p_2))^2 \quad (6.4)$$

Hatanın minimum olma koşulu uydurulan polinomun katsayılarına göre kısmi türevlerinin sıfır olmasıdır. Bilinmeyen katsayıların bulunması için toplam hatanın katsayılarına göre kısmi türevleri alınır. Denklem (6.5) ve Denklem (6.6) elde edilir.

$$\frac{\partial S}{\partial p_1} = -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - (p_1 x_i + p_2)) = 0 \quad (6.5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial p_2} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - (p_1 x_i + p_2)) = 0 \quad (6.6)$$

Gerçek parametrelerin tahminleri genellikle b ile ifade edilir. Türev sonuçları düzenlenirse Denklem (6.7) ve Denklem (6.8) şu şekilde yazılır;

$$\sum x_i (y_i - (b_1 x_i + b_2)) = 0 \quad (6.7)$$

$$\sum (y_i - (b_1 x_i + b_2)) = 0 \quad (6.8)$$

$i=1,2,3,\dots,n$ olacak şekilde denklemler düzenlenirse aşağıdaki denklemler elde edilir. Bu denklemlere ‘normal denklemler’ denir. Normal denklemler yardımıyla p_1 ve p_2 değerleri bulunduktan sonra istenen regresyon denklemi elde edilmiş olur

$$b_1 \sum x_i^2 + b_2 \sum x_i = \sum x_i y_i \quad (6.9)$$

$$b_1 \sum x_i + n b_2 = \sum y_i \quad (6.10)$$

b_1 katsayısı için çözüm:

$$b_1 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (6.11)$$

b_2 katsayısı için çözüm:

$$b_2 = \frac{1}{n} (\sum y_i - b_1 \sum x_i) \quad (6.12)$$

Polinom derecesi arttıkça her derece için yeni bir normal denklemi hesaplamak gerekmektedir [27].

Matris formunda doğrusal model Denklem (6.13) ile ifade edilir.

$$\hat{y} = X\beta + \varepsilon \quad (6.13)$$

Burada; y , $n \times 1$ boyutundaki sonuç vektörü, β , $m \times 1$ boyutundaki katsayılar vektörü, X , $n \times m$ boyutundaki model için tasarım matrisi, ε , $n \times 1$ boyutundaki hata vektörüdür.

En küçük kareler yönteminin çözümü ve β katsayıları Denklem (6.14) , Denklem (6.15) , Denklem (6.16), Denklem (6.17)'de gösterilmektedir.

$$y = X\beta \quad (6.14)$$

$$(X^T X)\beta = X^T y \quad (6.15)$$

$$(X^T X)^{-1} (X^T X)\beta = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (6.16)$$

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (6.17)$$

6.1.1.1. Ağırlıklı en küçük kareler yöntemi

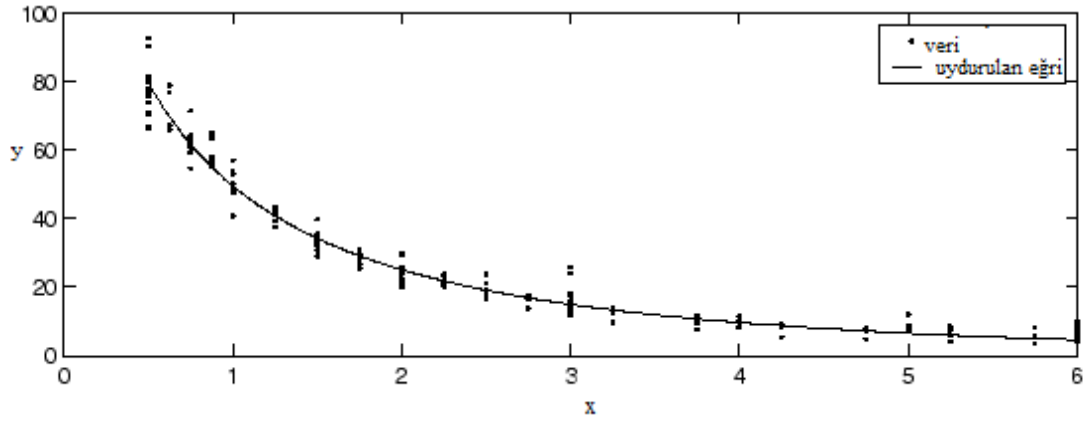
Genelde her x değeri için oluşan y değerinin aynı kaliteye ve sabit varyansa sahip oldukları varsayılır. Fakat bu durum her zaman doğru değildir. Bu durumlarda en küçük kareler yöntemi uygulanırken işlemlere ek bir ölçek (ağırlık) faktörü eklenebilir. Ağırlıklı en küçük kareler regresyon hata tahminini en aza indirir.

$$S = \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad w_i : \text{ağırlık} \quad (6.18)$$

Ağırlıklar her yanıt değerinin son tahminleri ne kadar etkilediğini belirler. Kaliteli bir veri noktası eğri uydurmayı düşük kaliteli bir veri noktasından daha çok etkiler. Ağırlıklar parametre tahmini b'yi Denklem (6.19)'da gösterildiği gibi değiştirir [28].

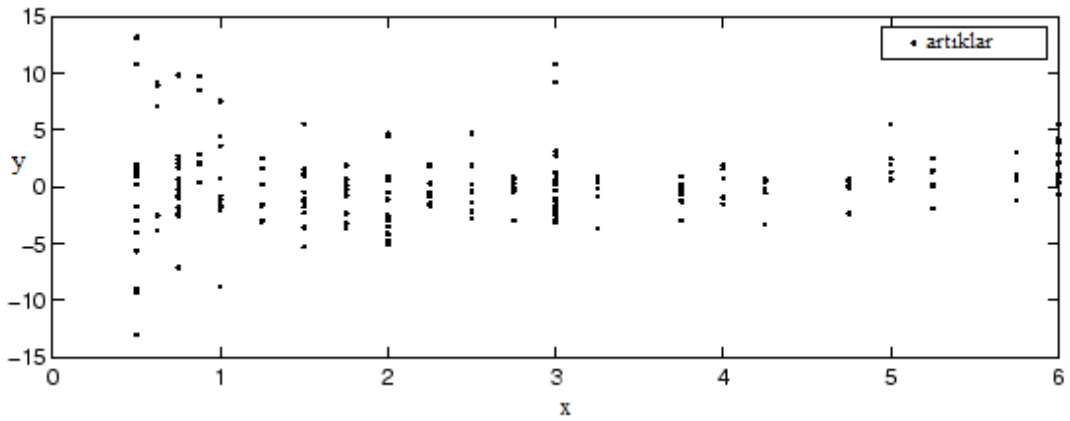
$$b = \hat{\beta} = (X^T W X)^{-1} X^T W y \quad (6.19)$$

Bu denklemde W, ağırlık matrisi w'nın elemanlarından oluşan köşegen matristir. Varyans değerinin değişken olup olmadığı, eğri uydurma sonucundaki artıklardan anlaşılabilir. Şekil 6.2'de çeşitli kalitede tekrarlanan verileri ve doğru olduğu varsayılan eğri uydurma sonucu gösterilmektedir.



Şekil 6.2. Verilere uydurulan eğri [28]

Kalitesiz veriler artıkları belirler. Küçük belirleyici değerleri yanıt değerlerinde büyük belirleyici değerlerinden daha büyük bir dağılım verir.



Şekil 6.3. Artıklar [28]

Belirlenen ağırlıklar yanıt verisinin varyansını sabit bir değere dönüştürebilir. Eğer hesaplanan hataların varyansı biliniyorsa ağırlıklar Denklem (6.20)'deki gibi hesaplanabilir.

$$w_i = \frac{1}{\sigma_i^2} \quad (6.20)$$

Her veri noktası için hata değerlerinin tahminleri biliniyorsa, bu tahminleri varyans yerine kullanmak yeterlidir. Eğer varyanslar bilinmiyorsa, ağırlıkları belirlemek için bu değerler kullanılabilir.

6.1.1.2. Gürbüz en küçük kareler yöntemi

Genellikle yanıt hatalarının normal dağılım izlediği ve uç değerlerinin nadir olduğu varsayılır. Uç değerler aykırı değerler olarak adlandırılırlar. En küçük kareler yönteminin en büyük dezavantajı aykırı değerlere olan hassasiyetidir. Aykırı değerlerin eğri uydurmada büyük etkiye sahip olmasının nedeni, artıkların karelerinin alındıkça bu uç veri noktalarının etkisinin artmasıdır. Aykırı değerlerin bu etkisini azaltmak için gürbüz en küçük kareler yöntemi kullanılarak eğri uydurma yapılabilir. Sağlam regresyon yöntemleri temelde iki şekilde uygulanır [28]:

- En Kesin Artıklar(Least absolute residuals (LAR)): Bu yöntem karesi alınmış farklar yerine, artıkların mutlak farkını en aza indirgeyen bir eğri bulur. Böylece uç değerler eğri uydurma üzerinde daha az etkiye sahip olur.
- Çift Kare Ağırlıkları(Bisquare weights): Bu yöntem karelerin toplamını azaltır. Burada ağırlıklar her noktanın uydurulan eğriden ne kadar uzak olduğuna göre belirlenir. Eğriye yakın noktalar tam ağırlık alır. Eğriden uzak olan noktaların ağırlıkları azaltılır. Eğriden beklenenden daha uzak olan noktalar sıfır ağırlık alırlar.

Çoğu durumda bu yöntem tercih edilir. Çünkü aykırı değerlerin etkisini en aza indirgeyebilir. Çift kare ağırlıkları kullanılarak yapılan sağlam eğri uydurma yeniden ağırlıklandırmaya dayalı bir en küçük kareler yöntemidir. Yöntemin hesaplama aşamaları aşağıda anlatılmıştır [28].

1. Modele ağırlıklı en küçük kareler yöntemi uygulanır.

2. Düzeltilmiş artıklar hesaplanır ve bunlar standart hale getirilir. Düzeltilmiş artıklar aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$r_{adj} = \frac{r_i}{\sqrt{1 - h_i}} \quad (6.21)$$

r_i , en küçük kareler artıklarıdır. h_i , artıkların aşağı-ağırlık yukarı-baskı veri noktaları ile ayarlanmasını güçlendirir.

En küçük kareler yönteminde artıklar çok büyük bir etkiye sahiptir. Standartlaştırılmış düzeltilmiş artıklar aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$u = \frac{r_{adj}}{Ks} \quad (6.22)$$

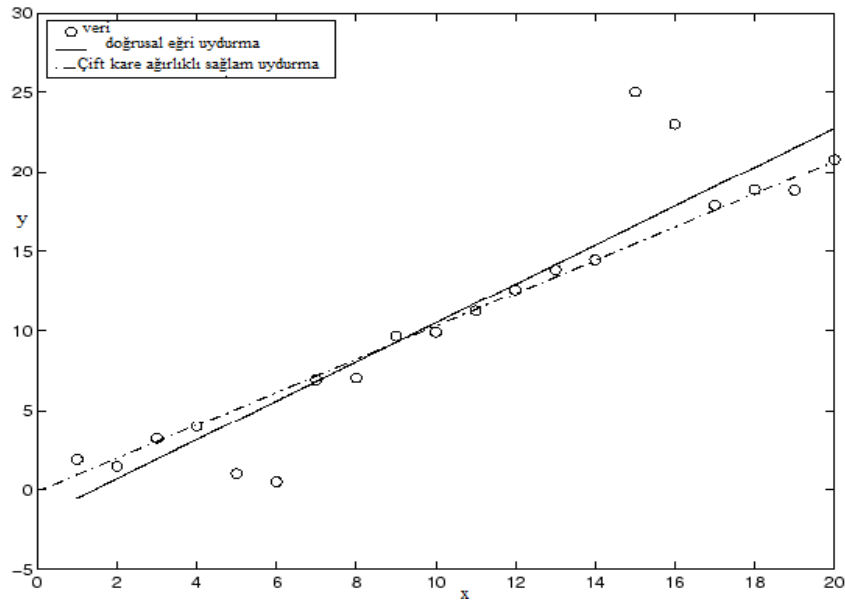
K, ayarlama sabitidir ve 4,685 olarak alınır. s, sağlam varyans değeridir ve MAD fonksiyonu (median absolute deviation) tarafından 0,6745 olarak hesaplanır.

3. Sağlam ağırlıkları, standartlaştırılmış düzeltilmiş artıkların bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Çift kare ağırlıkları Denklem (6.23)'teki gibi bulunur.

$$w_i = \begin{cases} \left(1 - (u_i)^2\right)^2 & |u_i| < 1 \\ 0 & |u_i| \geq 1 \end{cases} \quad (6.23)$$

4. Eğer uydurulan eğri giriş değerlerine yakınsarsa işlemler doğru gerçekleştirilmiş demektir. Aksi takdirde 1. adıma geri dönülerek işlemler tekrarlanır.

Şekil 6.4'te, doğrusal eğri uydurma ile çift kare ağırlıklı sağlam eğri uydurma sonuçları gösterilmektedir. Görüleceği gibi sağlam eğri uydurma veri yığını izler ve aykırı verilerden fazla etkilenmez.

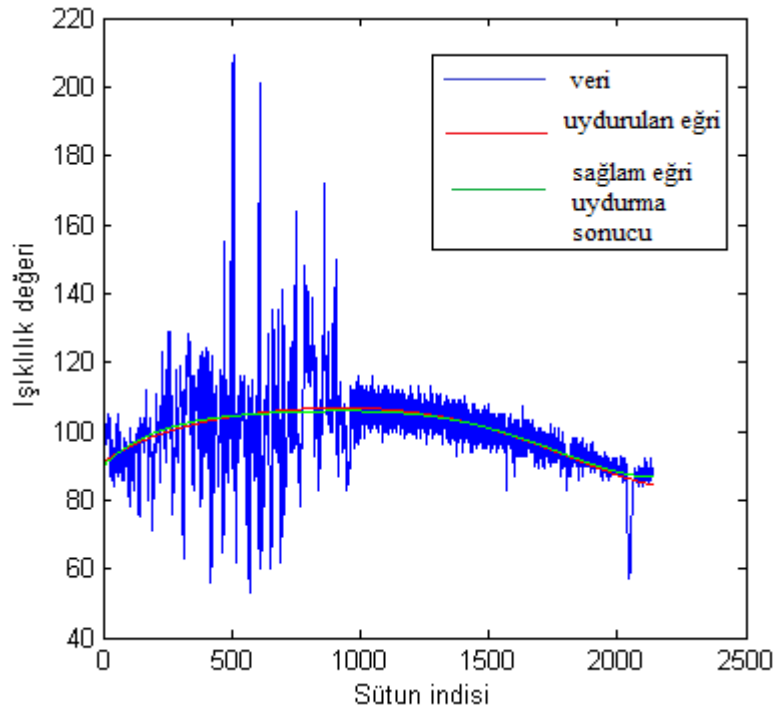


Şekil 6.4. Doğrusal eğri uydurma ile çift kare ağırlıklı sağlam eğri uydurma [28]

6.2. Hata Tespit Algoritması

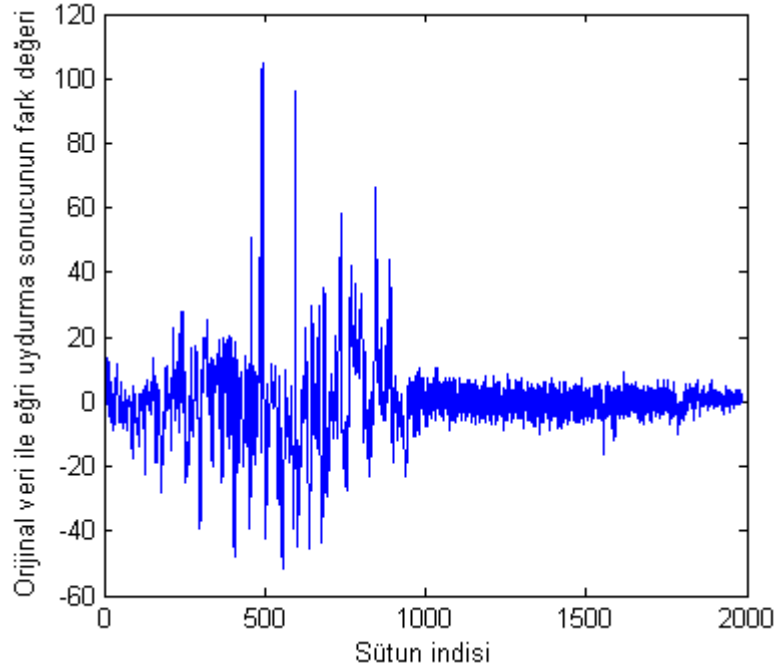
Tespit işlemi için 5. dereceden gürbüz en küçük kareler yöntemi ile eğri uydurma yapılmıştır. Eğri uydurma derecesi belirlenirken farklı derecelerde tespit sonuçları incelenmiş ve hata tespiti için en uygun olanının 5. derece olduğuna karar verilmiştir. Her hatalı pikselin tespit edilebilmesi için imge üzerinde hem satır hem sütun için ayrı ayrı eğri uydurma işlemleri yapılarak iki düzlemde de sonuçların incelenmesi gerekmektedir. Yapılan ilk araştırmalarda hatalı bölgelerin olduğu noktalara uydurulmuş eğri ile hatasız noktalara uydurulmuş eğri arasındaki farklar gözlemlenmiştir.

Bozuklukların olduğu veriler sürekli değişim gösteren grafiklere sahipken, bozuklukların olmadığı veriler doğrusal değişim göstermektedir. Eğri uydurulmuş veri ile gerçek verinin farkı alındığı zaman bu ani değişimler daha kolay görülmekte ve bozuklukların olduğu bölgeler tespit edilebilmektedir. Şekil 6.5'te bozuklukların olduğu bir satır verisi ve eğri uydurma sonuçları gösterilmektedir.



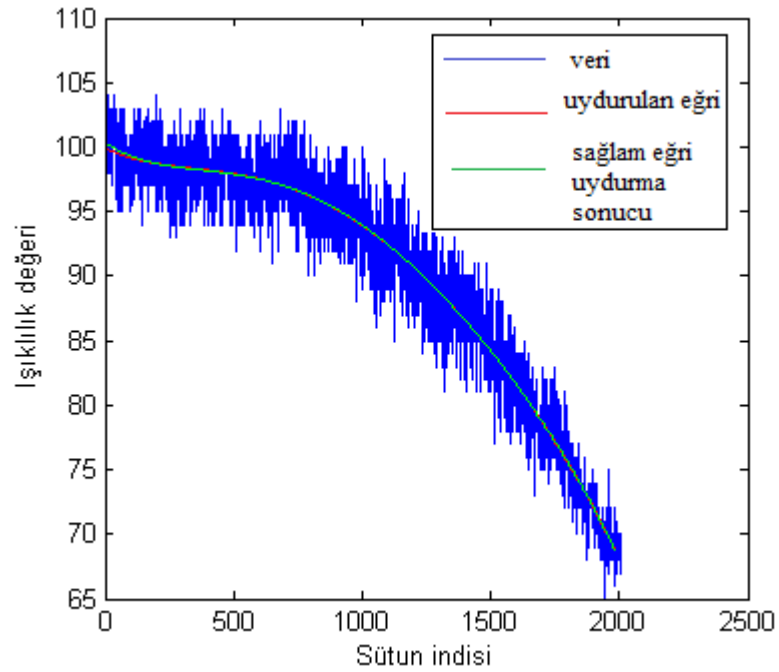
Şekil 6.5. Bozuklukların olduğu bir satır verisi ve eğri uydurma sonuçları

Şekil 6.6'da Şekil 6.5'te gösterilen satır için orijinal veri ve eğri uydurulmuş verinin farkları gösterilmektedir.



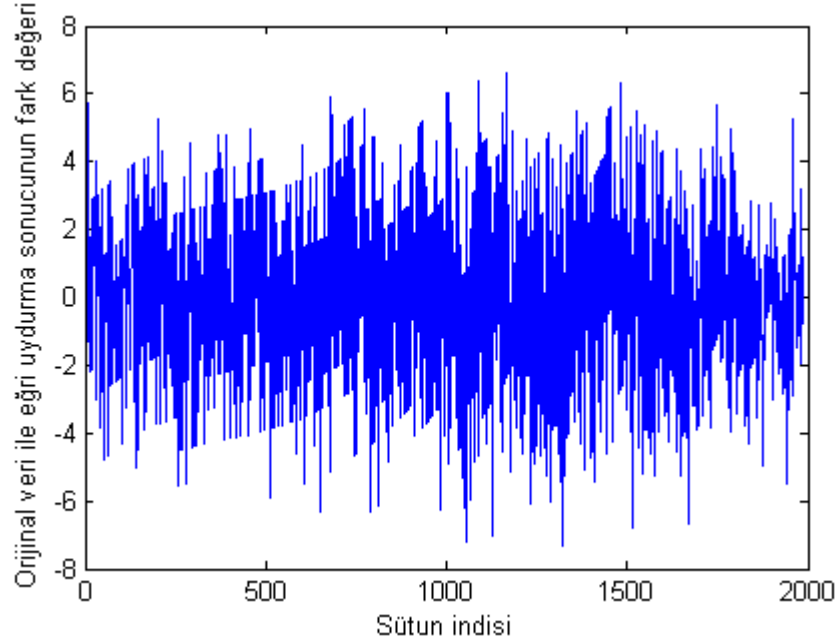
Şekil 6.6. Bozuklukların olduğu satır orijinal verisi ile eğri uydurma sonucu arasındaki fark

Şekil 6.7’de bozuklukların olmadığı bir satır verisi ve eğri uydurma sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 6.7. Bozuklukların olmadığı bir satır verisi ve eğri uydurma sonuçları

Şekil 6.8’de, Şekil 6.7’de gösterilen satır için orijinal veri ve eğri uydurulmuş verinin farkları gösterilmektedir.



Şekil 6.8. Bozuklukların olmadığı satır orijinal verisi ile eğri uydurma sonucu arasındaki fark

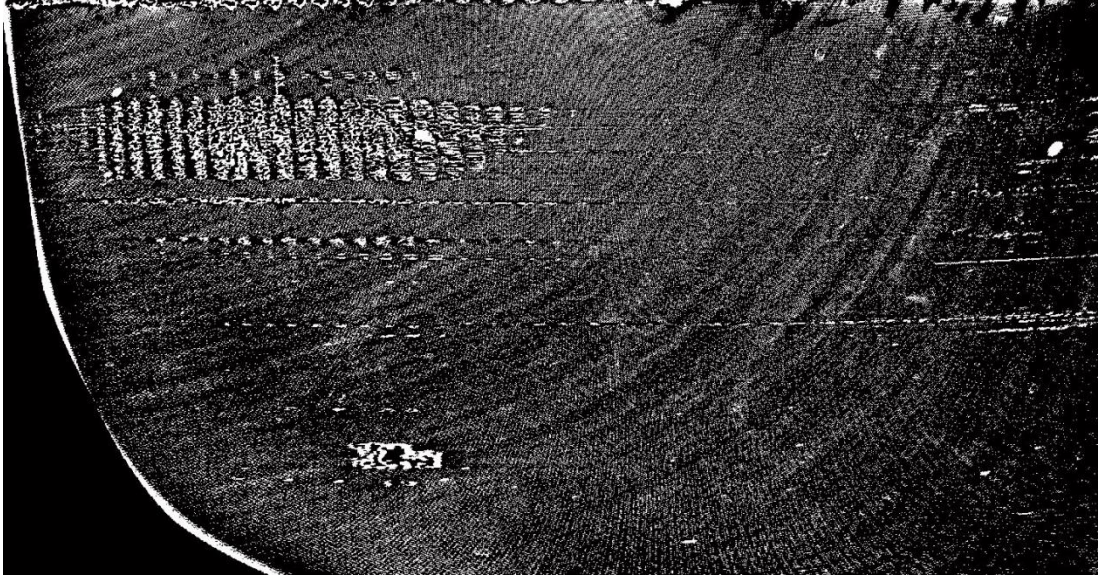
Hataların tespit aşamasında satır ve sütun için farklı olmak üzere iki tane eşik değeri belirlenmiştir. Bu eşik değerleri araştırmalar sonucunda gerçek veri ve eğri uydurulmuş verilerin farkları incelenerek seçildi. Bir bölgede bozulma olup olmadığının kararını vermek için bu eşik değerleri kullanıldı. Eşik değerini geçen veriler hatalı olarak değerlendirilirler. Tespit işlemi satır ve sütun sonuçları için ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Satırda eğri uydurma işlemi farkı sonucunda eşik değerini geçen veriler lojik olarak 1 ile işaretlenirken, eşik değerini geçmeyen veriler 0 ile işaretlenir. Bu veriler satırda eğri uydurma işlemi sonucunda bulunan olası hatalı verilerdir. Aynı işlem sütun eğri uydurma sonucuna da yapılır.

Sütun eğri uydurma sonucu satır boyunca olan hataların tespitinde iyi sonuç verirken satır eğri uydurma sonucu, sütun boyunca olan hatalarda iyi sonuç verir. Bulunan hatalı bölgelerin sınıflandırılması aşamasında ikisinin de değerlendirilmesi gerekir.

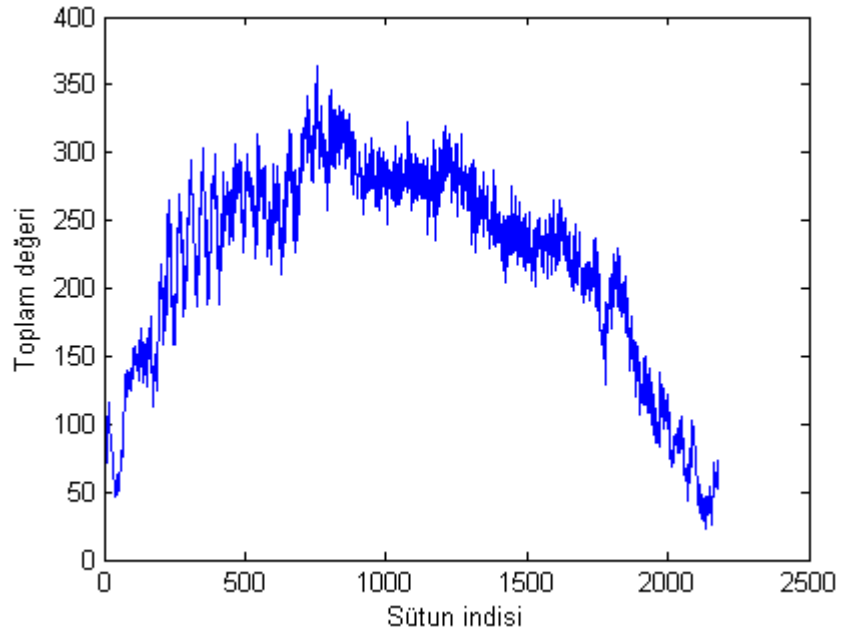
Satır eğri uydurma sonrasında oluşturulan hata tespit imgesinde sütun toplamı yapılır. Aynı şekilde sütun eğri uydurma sonrasında oluşturulan hata tespit imgesinde

satır toplamı yapılır. Bu toplam grafiklerinde oluşan değişimler incelenerek hataların tam yerleri tespit edilebilir.

Şekil 5.6’da gösterilen tespit öncesi ön işlemlerden geçirmiş test imgesi için satır eğri uydurma sonucunda eşik değerini geçen verilerden oluşan yeni imgeler Şekil 6.9’da gösterilmiştir. Satır sonuç imgesinde sütun toplamı yapılarak, Şekil 6.10’da gösterilen sütun toplam grafiği elde edilmiştir.

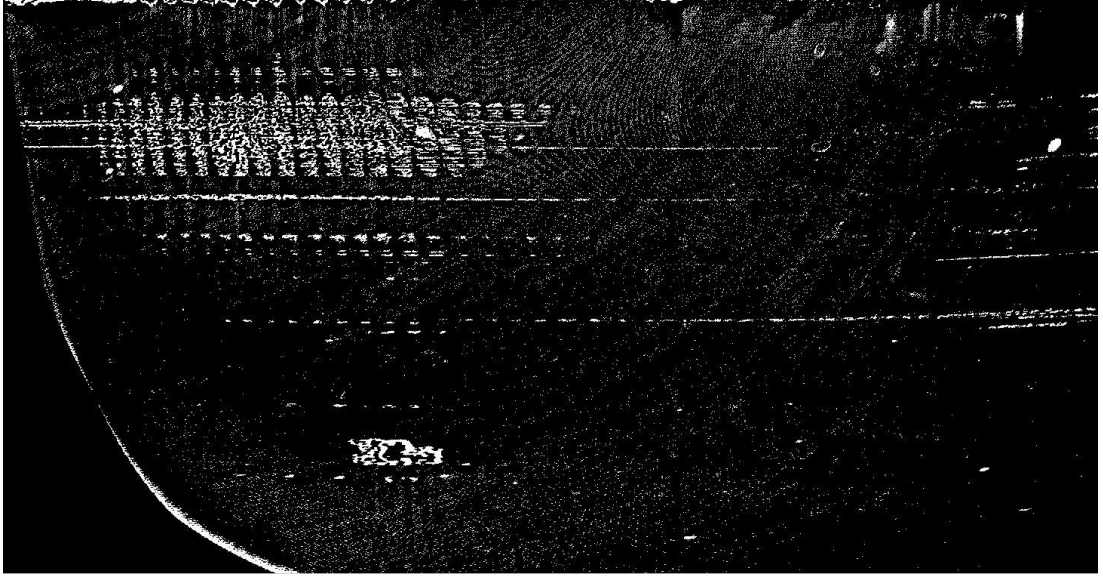


Şekil 6.9. Satır sonuç imgesi

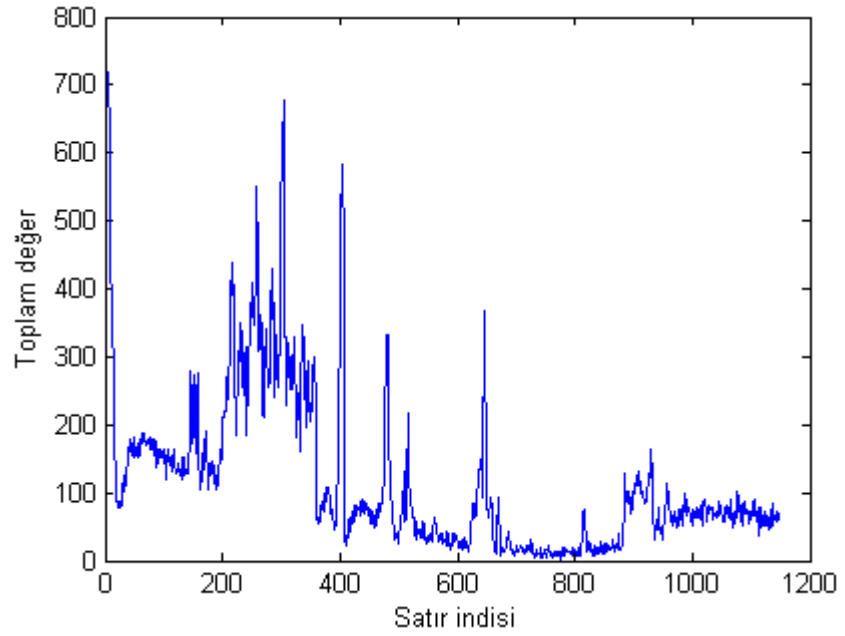


Şekil 6.10. Sütun toplam grafiği

Sütun eğri uydurma sonucunda oluşan fark matrisinde eşikten küçük olup, hatalı piksel olarak tespit edilen pikseller Şekil 6.11’de gösterilen sütun imgesinde işaretlenmiştir. Sütun sonuç imgesinde, satır toplamı yapılarak Şekil 6.12’de gösterilen toplam grafiği elde edilmiştir.



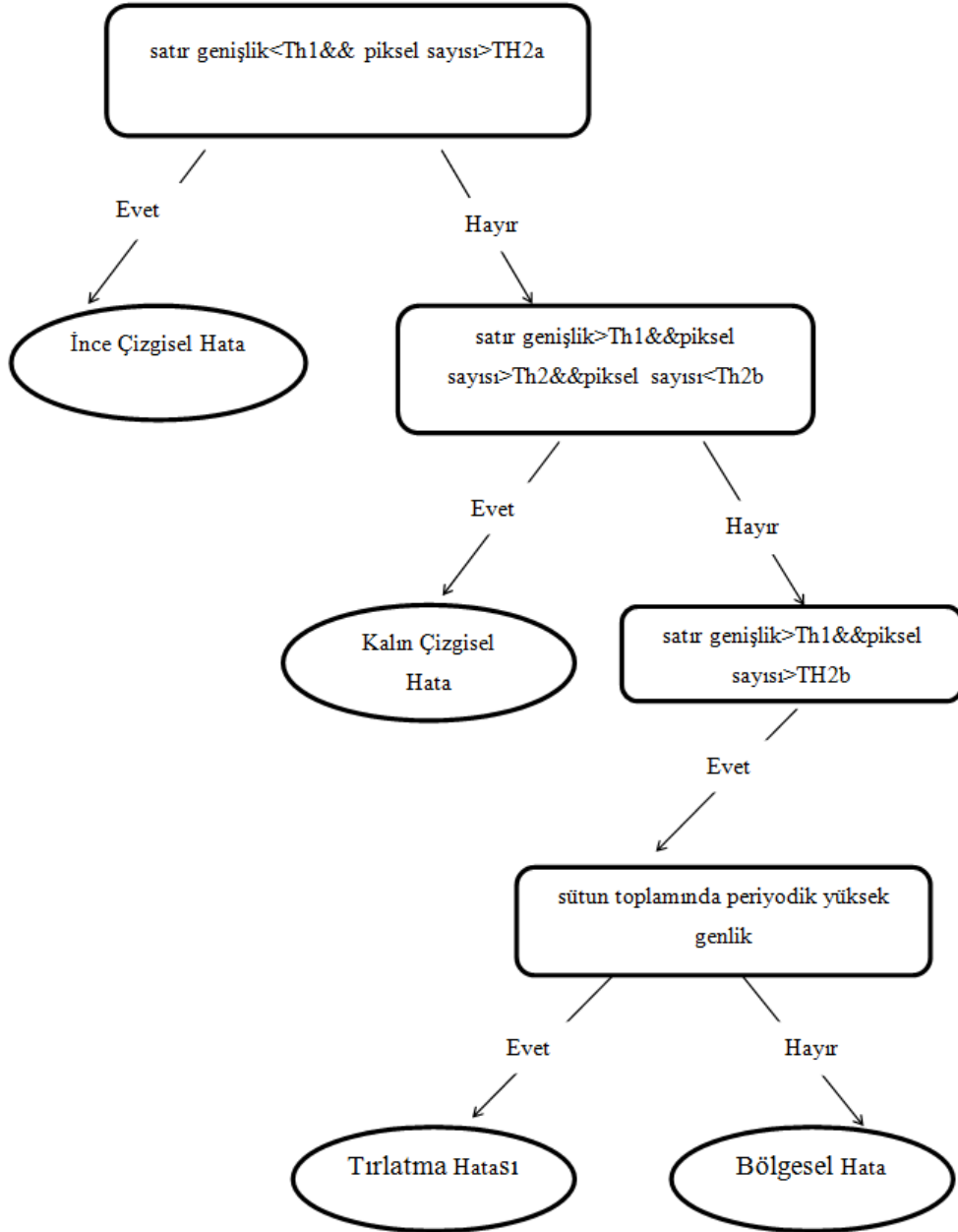
Şekil 6.11. Sütun sonuç imgesi



Şekil 6.12. Satır toplam grafiği

6.3. Tespit Edilen Silecek Hataların Sınıflandırılması

Tespit işlemi sonrasında bulunan hataların hangi sınıfa girdiğinin tespit edilmesi için karar ağaçları temelli bir sınıflandırma geliştirilmiştir. Şekil 6.13'te bu karar ağacı yapısı gösterilmektedir.



Şekil 6.13. Karar ağacı yapısı

İlk olarak satır toplam grafiğinde oluşan değişimler gözlemlenerek hangi satırlarda hataların olduğu bulunur. Buradan sonra bu hatanın düşeydeki genişliği (Th1) ve

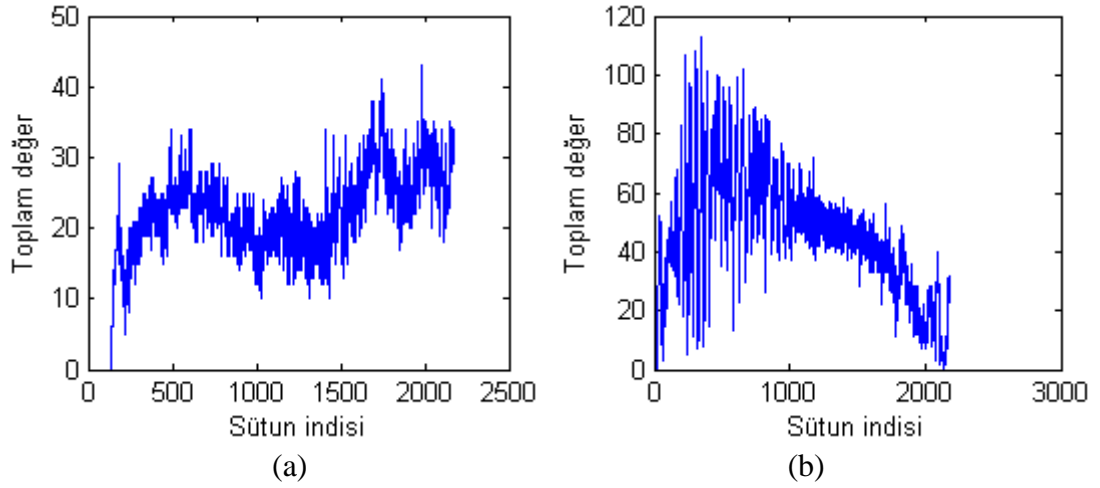
ortalama her satırdaki piksel sayısına (Th_2) bağılı olarak iki tane karar eşiği belirlenir. Belirlenen bu karar eşiklerine göre sınıflandırma yapılır.

İnce çizgisel hatanın düşeyde kapladığı genişlik diğer hatalar arasında en az olanıdır. Bu özelliği sayesinde diğer hatalardan ayırt edilebilir. Kalın çizgisel hata daha geniş bir alan kaplar fakat hatalı piksel sayısı, bölgesel hata ya da tırlatma hatası kadar fazla değildir. Bölgesel ve tırlatma hatası satır genişliği ve piksel sayısı en fazla olan hatalardır. Bu iki hatanın ayırımını yapmak için satır eğri uydurma sonucundaki sütun toplam grafiğine bakılır. Toplam grafiğinde frekans analizi yapılarak bölgesel hata ve tırlatma hatası ayırt edilebilir.

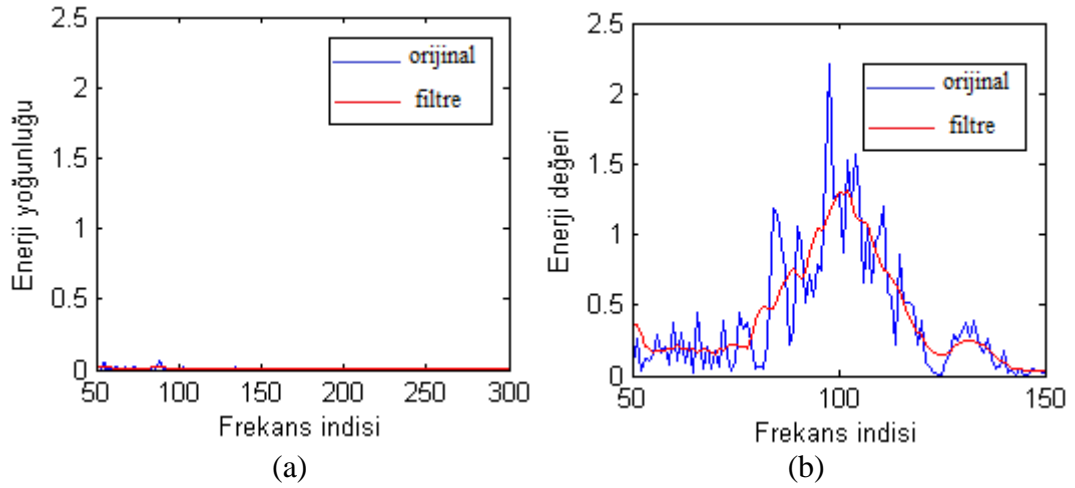
Satır eğri uydurma sonucundaki bölgesel sütun toplamı ayrık Fourier dönüşümü ile frekans uzayında incelenerek ve enerjinin baskın olduğu frekans bileşeni tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla DC bileşen ve tırlatma etkisi olmayan düşük frekans bileşenlerinin olduğu frekans aralığı değerlendirme dışında tutulmaktadır. Geriye kalan frekans bandında enerji spektral yoğunluğundaki tepe genliklerinin titreşimleri 11. dereceden kayan ortalama süzgeci ile giderilmektedir. Bu sayede enerjinin düşük genlikten yüksek genliğe ve tekrar düşük genliğe yapmış olduğu geçiş filtrelenmiş enerji katsayıları üzerinden verimli şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Şekil 6.14 (a) Şekil 5.1 (c)'de gösterilen bölgesel hatanın sütun toplamını ve Şekil 6.14 (b) Şekil 5.1 (d)'de gösterilen tırlatma hatasının sütun toplamını göstermektedir. Şekillerden görüldüğü üzere, sütun toplamlarında bölgesel bir hata ile tırlatma hatasının değişimleri karakteristik farklılıklara sahiptir.

Sütun toplam işaretlerinin Şekil 6.15 (a) ve Şekil 6.15(b)'te verilen enerji spektral yoğunlukları incelendiğinde öncelikle tırlatmanın var olduğu bölge için enerjinin çok yüksek olduğu frekans bandı görülmektedir. Ancak tırlatma etkisinin frekans uzayında analizi için kolaylık sağlaması açısından yukarıda da bahsedilen kayan ortalama süzgeç ile süzgeçleme işlemi gerçekleştirilmiş ve enerji spektral yoğunluğu daha yumuşak geçişlere sahip bir dizi haline dönüştürüldüğünden, incelenen frekans bandındaki en büyük genlik değeri bulunurken oluşabilecek hataların önüne geçilmiştir.

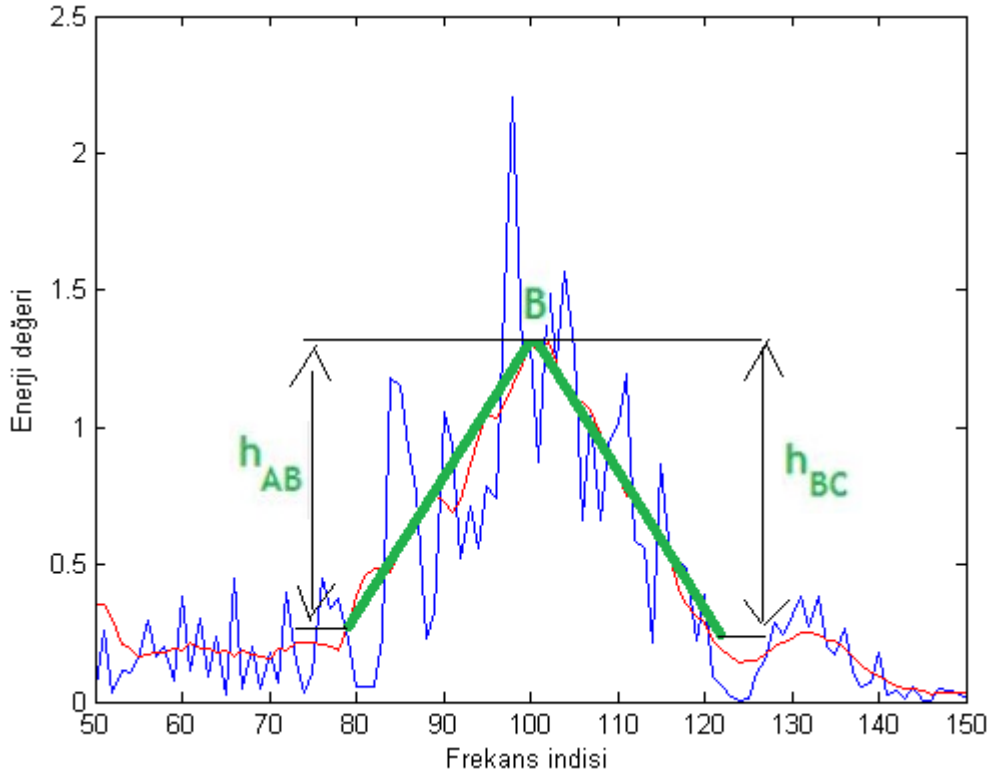


Şekil 6.14. (a) Bölgesel hata sütun toplamı , (b) Tırlatma hatası sütun toplamı



Şekil 6.15. (a) Şekil 6.14-a'daki işaretin enerji spektral yoğunluğu ve filtrelenmiş enerjiler, (b) 6.14-b'deki işaretin enerji spektral yoğunluğu ve filtrelenmiş enerjiler

Enerji spektral yoğunluğunda aranan frekans bandı içinde, Şekil 6.16'da detaylı olarak gösterilen en büyük enerjiye sahip frekans indisinin (B noktası) solundaki ve sağındaki belirli uzaklıktaki frekans noktalarına (A ve C) gidilerek bu noktadaki enerji değerleri ile B noktasındaki enerji arasındaki farklara bakılmaktadır (h_{AB} ve h_{AC}). Bu farklardan büyük olanı ($\max(h_{AB}, h_{AC})$) ile B noktasındaki enerji değeri belirlenen eşik değerlerinden yüksek ise tırlatma kararı verilmektedir. Yöntemde kullanılan eşik değerleri farklı görüntülerde yapılan çalışmalarla deneysel olarak belirlenmiştir. Enerjinin en büyük olduğu frekans indisi (B) de tırlatma frekansı olarak belirlenmektedir.

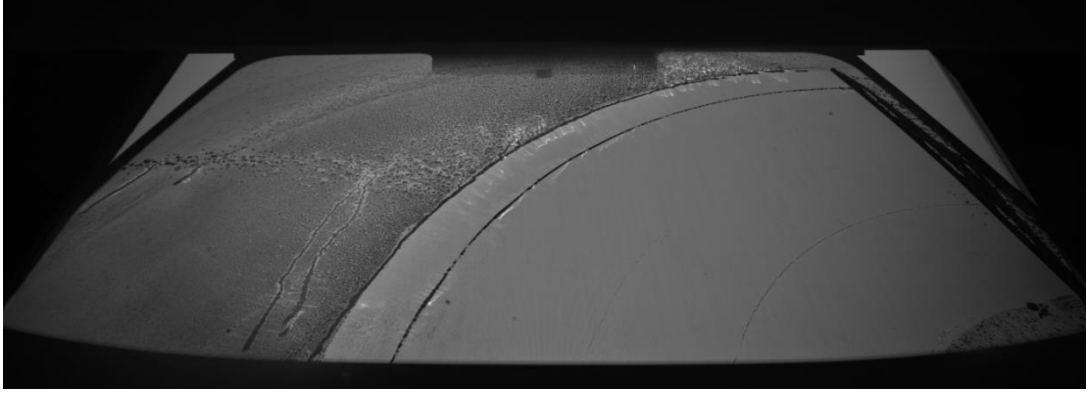


Şekil 6.16. Tırlatma etkisinin enerji spektral yoğunluğu üzerinden tespiti

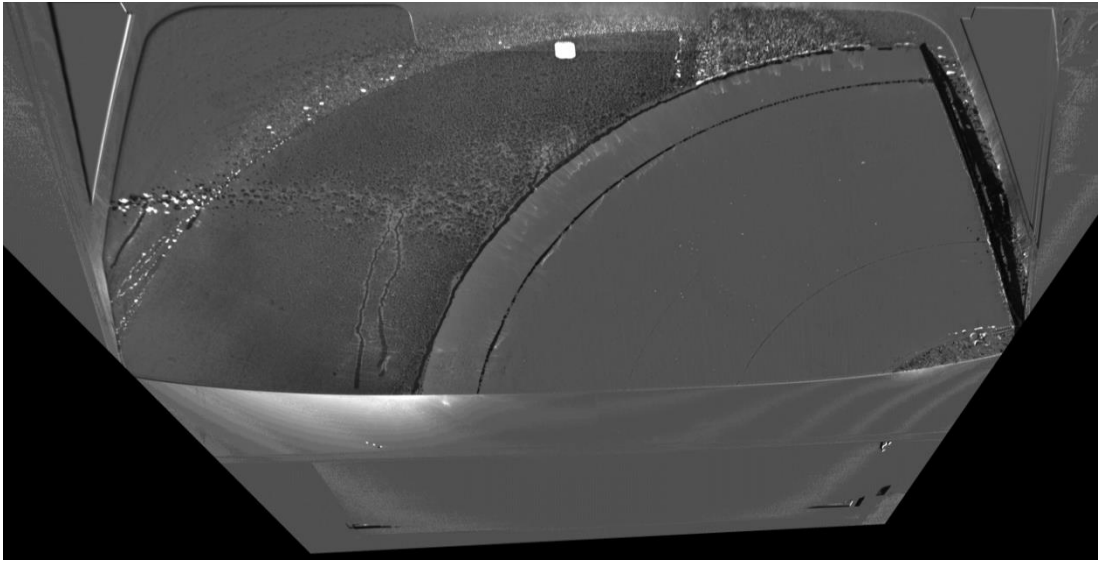
6.4. Tespit Sonuçları

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen ışıklılık uzayında eğri uydurma temelli hata bulma ve sınıflandırma algoritması birçok farklı hata içeren tespit imgeleri üzerinde test edilmiştir. Hatalı bölgelerin tespit işleminden sonra bulunan hataların sınıflandırılması işlemi yapıldı. Bu çalışmada, tespit edilen her farklı hata farklı bir renk koduyla gösterilmektedir. Sarı renkle işaretlenen hatalar ince çizgisel hata, yeşil renkle işaretlenen hatalar kalın çizgisel hata, mavi renkle işaretlenen hatalar bölgesel hata ve kırmızı renkle işaretlenen hatalar tırlatma hatası olarak sınıflandırılmıştır.

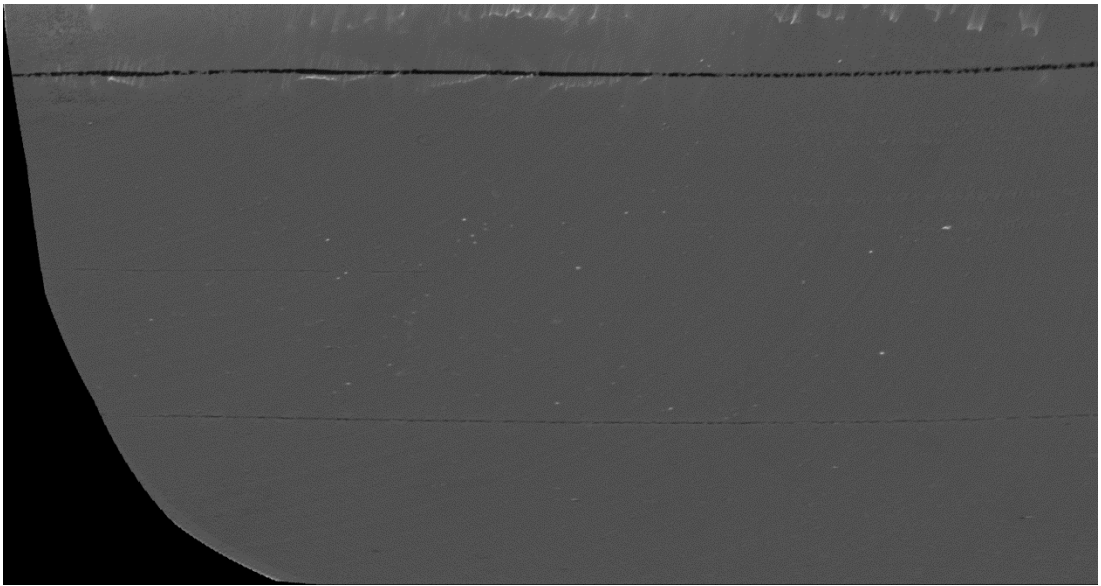
Bu bölümde farklı hata türleri için, üç farklı tespit imgesi üzerinden hata tespit adımları ve sınıflandırma sonuçları paylaşılmıştır. 1. tespit imgesi olarak kullanılan imge, Şekil 6.17’ de gösterilmektedir. Bu imgede ince çizgisel hata ve kalın çizgisel hata olmak üzere iki farklı silecek hatası bulunmaktadır. Tespit öncesi işlemlerden homografi ve ışıklılık dengelemesi sonucu tespit imgesi Şekil 6.18’de, kartezyen-kutupsal koordinat dönüşümü sonucu açılmış ve sıfır bölgeleri en aza indirgenmiş tespit imgesi Şekil 6.19’da gösterilmektedir.



Şekil 6.17. İnce ve kalın çizgisel hata içeren tespit imgesi

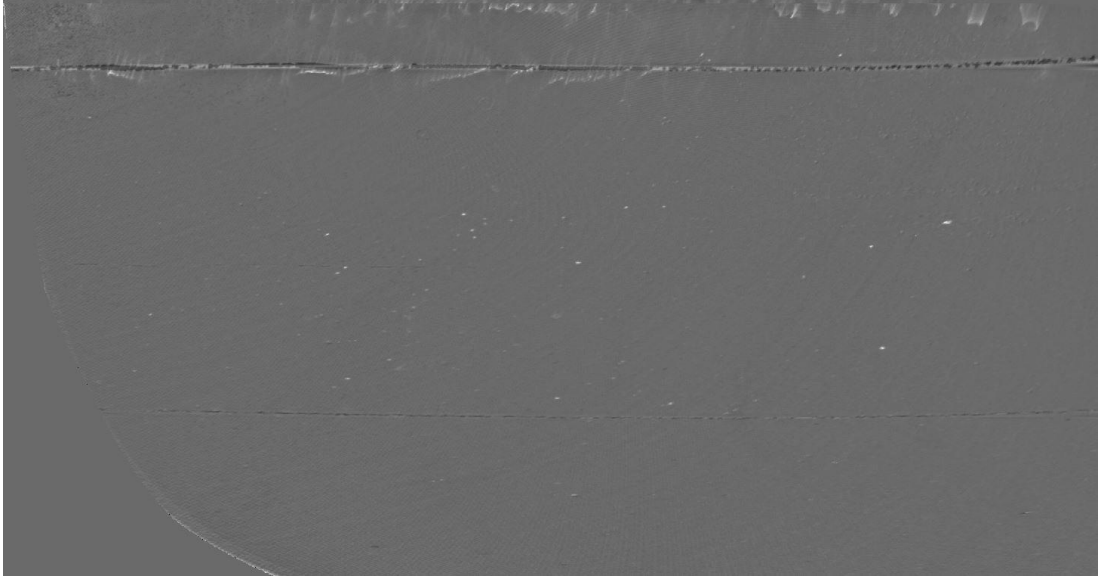


Şekil 6.18. Homografi ve ışıklılık dengelemesi sonucu

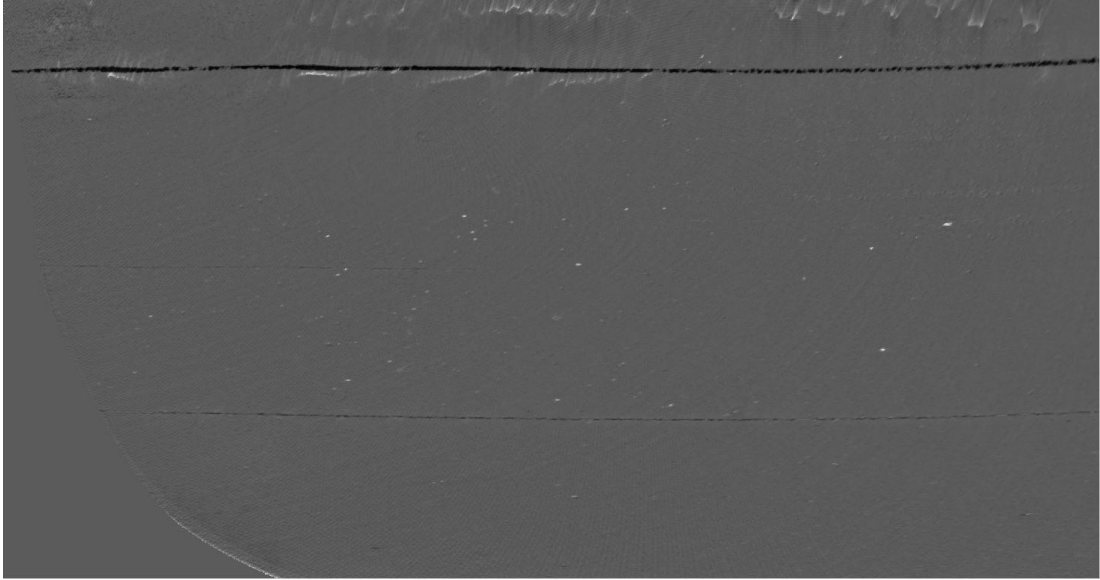


Şekil 6.19. Kartezyen-kutupsal koordinat dönüşümü sonucu açılmış imge

Açılmış imge üzerinde 5. dereceden gürbüz en küçük kareler yöntemi ile satır ve sütun için ayrı ayrı eğri uydurma yapılmıştır. Hatalı bölgelerin tespiti için orijinal ve eğri uydurulmuş verinin farkı satır eğri uydurma için Şekil 6.20’de, sütun eğri uydurma için Şekil 6.21’deki gibi oluşmaktadır. Fark imgeleri [0-255] arasında ölçeklenmişlerdir.



Şekil 6.20. Satır fark imgesi

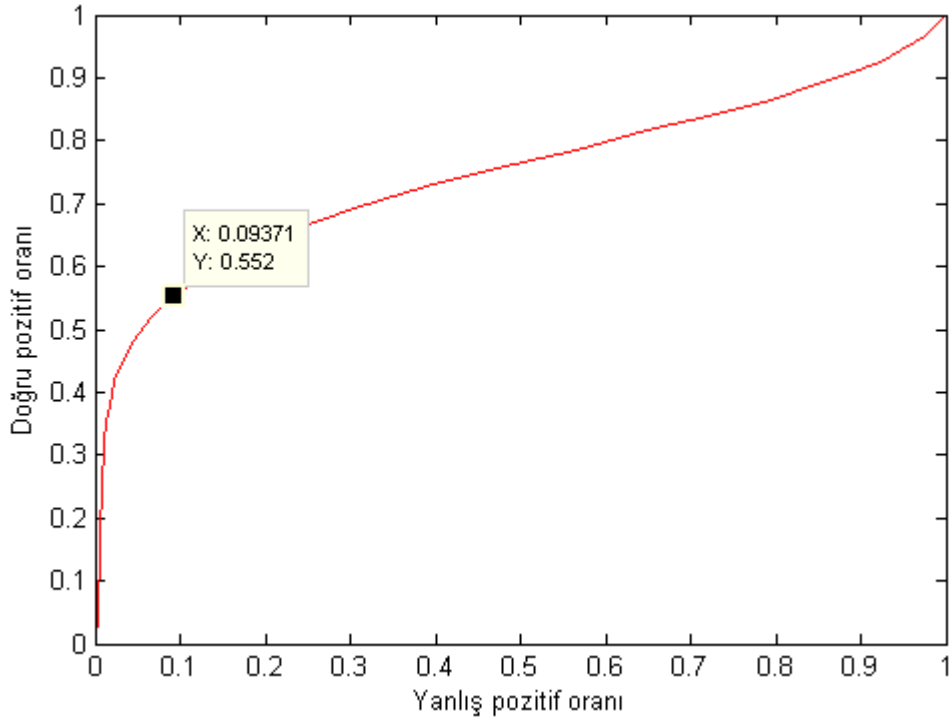


Şekil 6.21. Sütun fark imgesi

Satır eğri uydurma sonucunda oluşan fark matrisi için eşik -3 olarak tespit edilmiştir. Bu eşik değeri seçilirken amaçlanan bütün hatalı piksellerin tespit edilebilmesidir. Yani hatalı olmayıp hatalı olarak tespit edilen pikseller kabul edilmektedir. Şekil

6.22’de farklı eşik değerleri için yöntemin performansını gösteren ROC(Receiver Operating Characteristics) eğrisi gösterilmektedir. ROC eğrisi, gerçek pozitif oranının, yanlış pozitif oranını gösteren bir çizimdir. Gerçek pozitif oranı, hatalı piksellerin tespit edilebilme yeteneğidir. Yanlış pozitif oranı ise, hatasız piksellerin tespit edilebilme yeteneğidir.

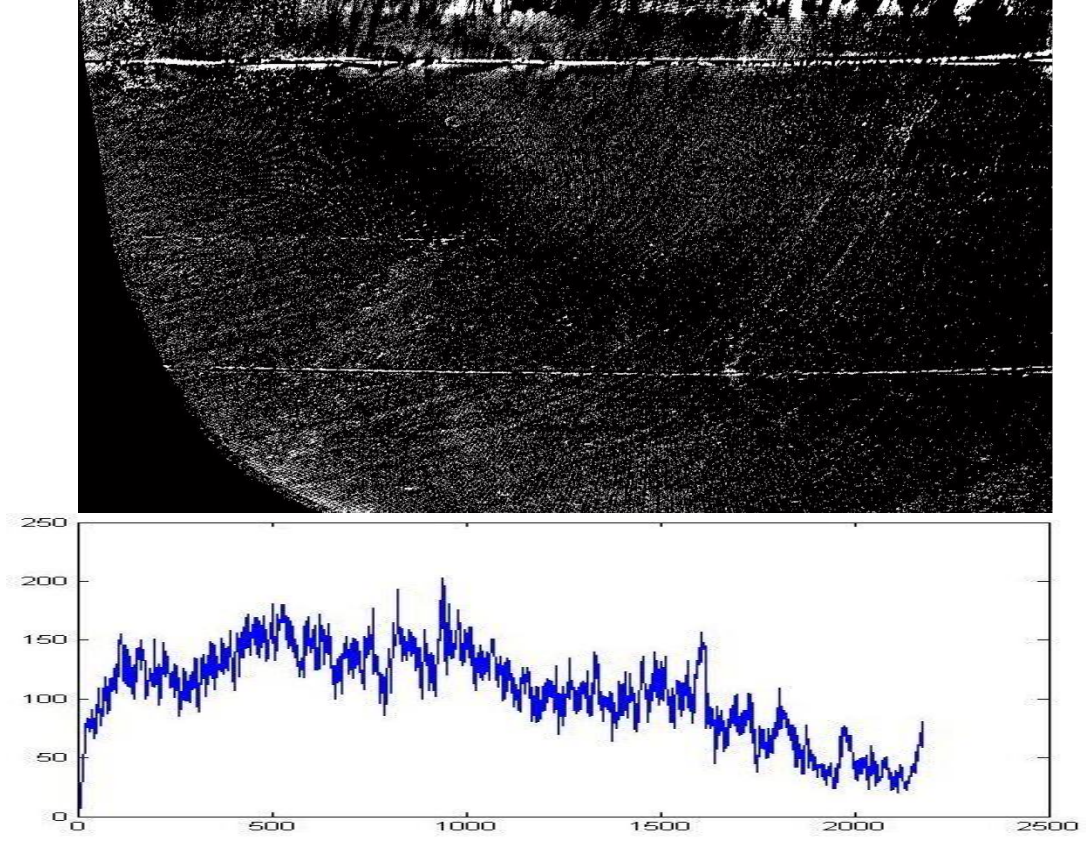
-3 eşiği için ROC eğrisi incelendiği zaman, doğru pozitif oranının yüksek yanlış pozitif oranının düşük olduğu bir nokta olduğu görülmektedir. Daha düşük yanlış pozitif oranı değerleri için başka bir eşik değeri seçilebilirdi, fakat önemli olan atalı piksellerin tespitini kaçırmamaktır. Bu nedenle iki oranın tespit işlemi için en ideal olduğu eşik değeri seçilmiştir.



Şekil 6.22. Farklı satır eşik değerleri için oluşturulan ROC eğrisi

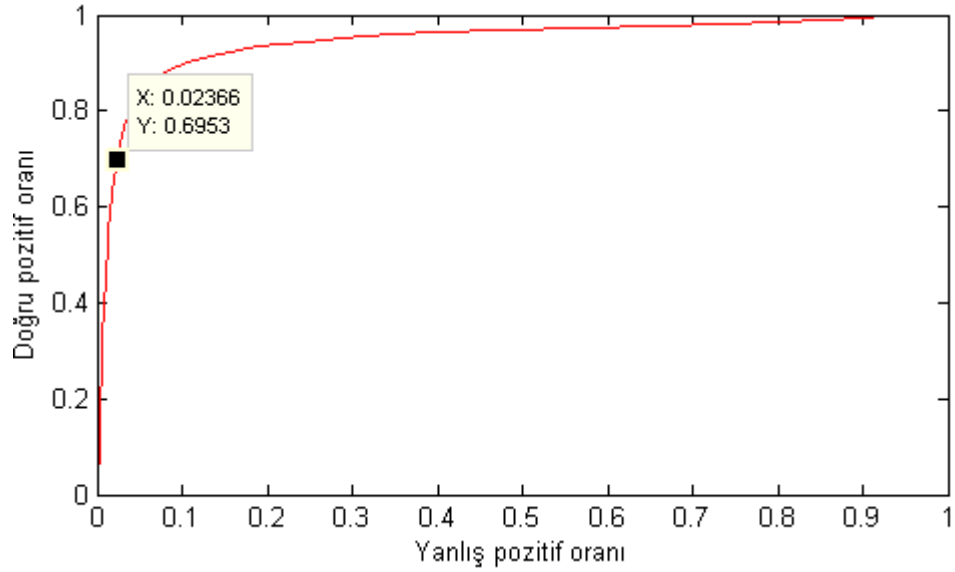
Bu eşikten küçük olan pikseller hatalı veri olarak değerlendirilirler. Hatalı olarak tespit edilen bu noktalar satır imgesinde işaretlenirler.

Şekil 6.23’te satır eğri uydurma sonucunda tespit edilen satır imgesi ve sütun toplam grafiği gösterilmektedir. Şekilden görüleceği gibi, grafikte ani değişimler yoktur. Bu nedenle sütun boyunca bir hata yoktur sonucu çıkartılmaktadır.



Şekil 6.23. Satır sonuç imgesi ve sütun toplam grafiği

Sütun eğri uydurma sonucunda oluşan fark matrisi için eşik -6 olarak tespit edilmiştir.

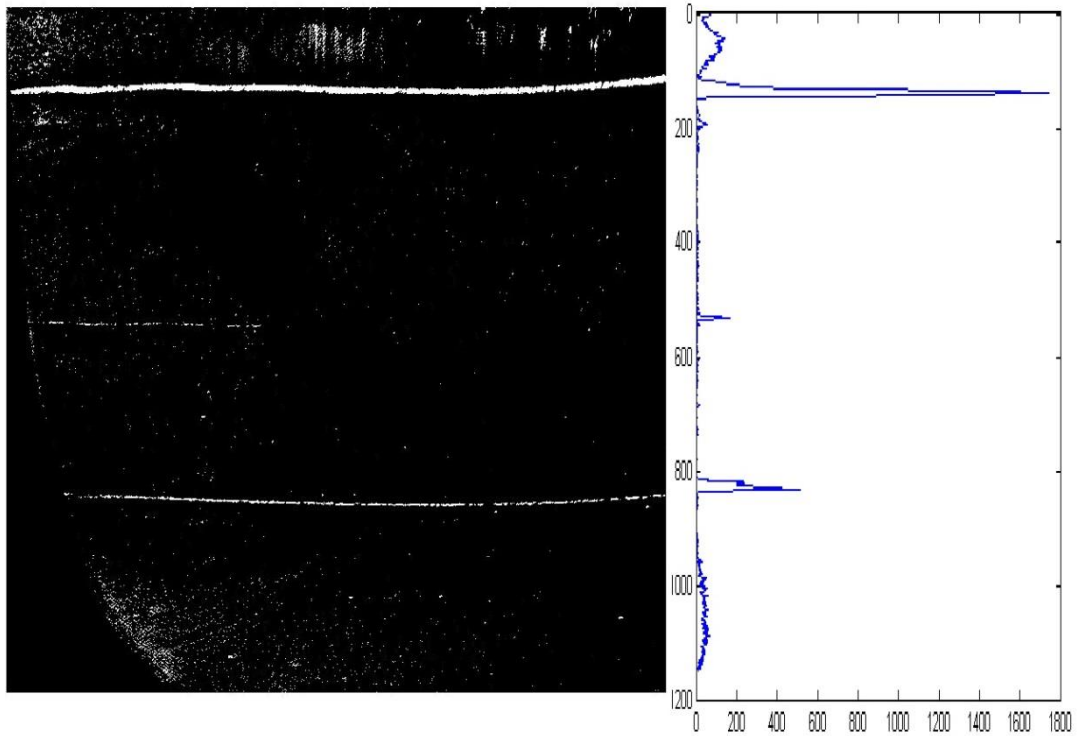


Şekil 6.24. Farklı sütun eşik değerleri için oluşturulan ROC eğrisi

Şekil 6.24'te sütun eşik değerleri için oluşturulan ROC grafiği gösterilmektedir. -6 eşik değeri için yüksek doğru pozitif oranına karşın düşük yanlış pozitif oranı gösterdiği görülmektedir.

Bu eşikten küçük olan pikseller hatalı veri olarak işaretlenerek sütun matrisi oluşturulmuştur. Sütun eğri uydurma sonucunda tespit edilen hatalı piksellerden oluşan sütun imgesi ve satır toplam grafiği Şekil 6.25'te gösterilmektedir.

Şekil 6.25'te açıkça görüldüğü gibi genel toplam grafiğinde tepe yapan noktalar vardır. Bu ani değişimlerin olduğu bölgeler hatalı piksellerin olduğu bölgelerdir. Grafiğin yatay eksenindeki değerler satır değerleridir. Böylece grafiğe bakarak hangi satırlar arasında hatalı pikseller olduğu anlaşılabilir ve bu hataların genişlikleri bulunabilmektedir.



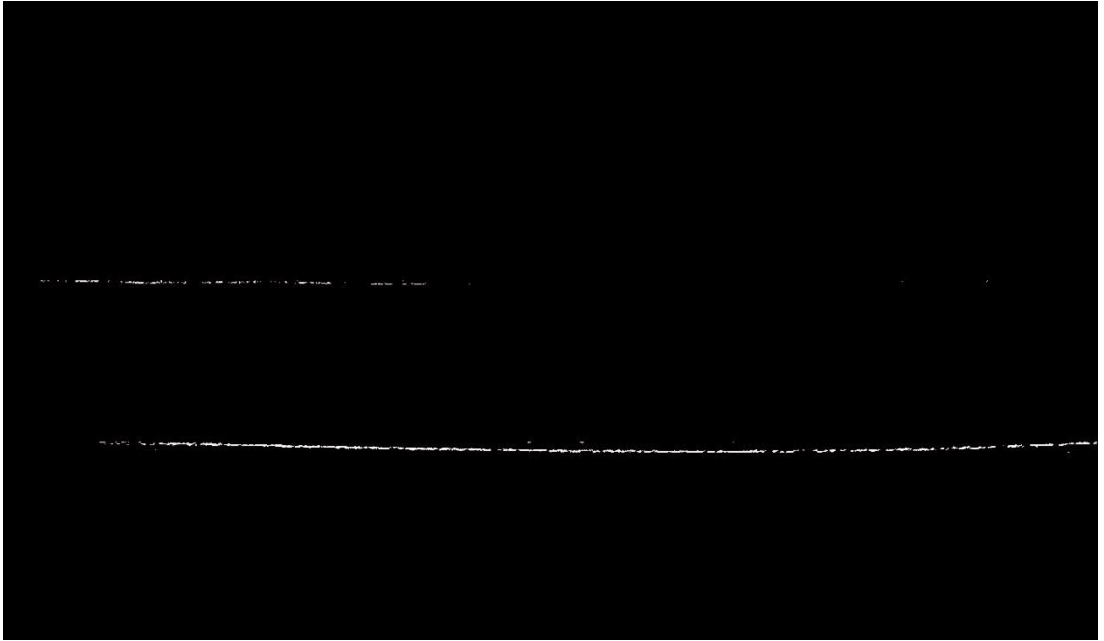
Şekil 6.25. Sütun sonuç imgesi ve satır toplam grafiği

Grafikte görülen satır genişlikleri hataların sınıflandırılmasında kullanılan özelliklerden bir tanesidir. Sınıflandırmada kullanılan diğer bir özellik ise hatalı olarak belirlenen satırlardaki piksellerin toplamının satır genişliğine oranıdır. Yani ortalama her satırdaki piksel sayısıdır.

İnce çizgisel hata satır genişliği eşiği 25 olarak belirlenmiştir. Ortalama piksel sayısı eşiği ise ince çizgisel hata için 70 olarak belirlenmiştir. Düşeyde 25 pikselden küçük bir genişlik kaplayan ve piksel sayısı 70'den büyük olan hatalar ince çizgisel hata olarak sınıflandırılmaktadırlar.

Kalın çizgisel hata için kullanılan satır genişliği ile ortalama piksel sayısı eşik değerleri değişim göstermektedir. Satır genişliği 25'den büyük 40'dan küçük, ortalama piksel sayısı 70'den büyük olan hatalar kalın çizgisel hata olarak sınıflandırılmaktadır.

Bu eşik değerlerine göre sütun tespit sonucu imgesinde, ince çizgisel hata olarak sınıflandırılan hatalı piksellerden oluşan sütun tespit imgesi Şekil 6.26'da gösterilmektedir.



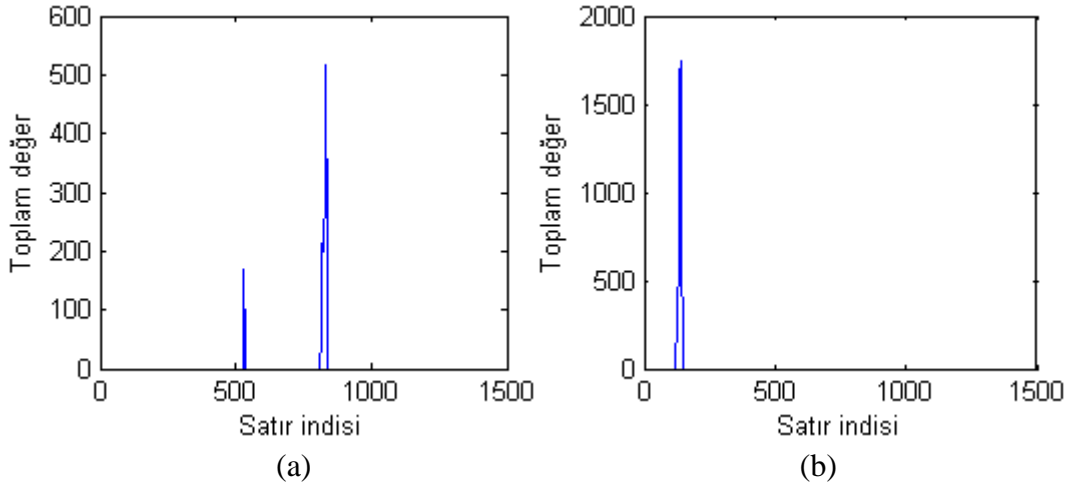
Şekil 6.26. İnce çizgisel hata tespit sonucu

Kalın çizgisel hata olarak sınıflandırılan hatalı piksellerden oluşan sütun tespit imgesi Şekil 6.27'de gösterilmektedir.



Şekil 6.27. Kalın çizgisel hata tespit sonucu

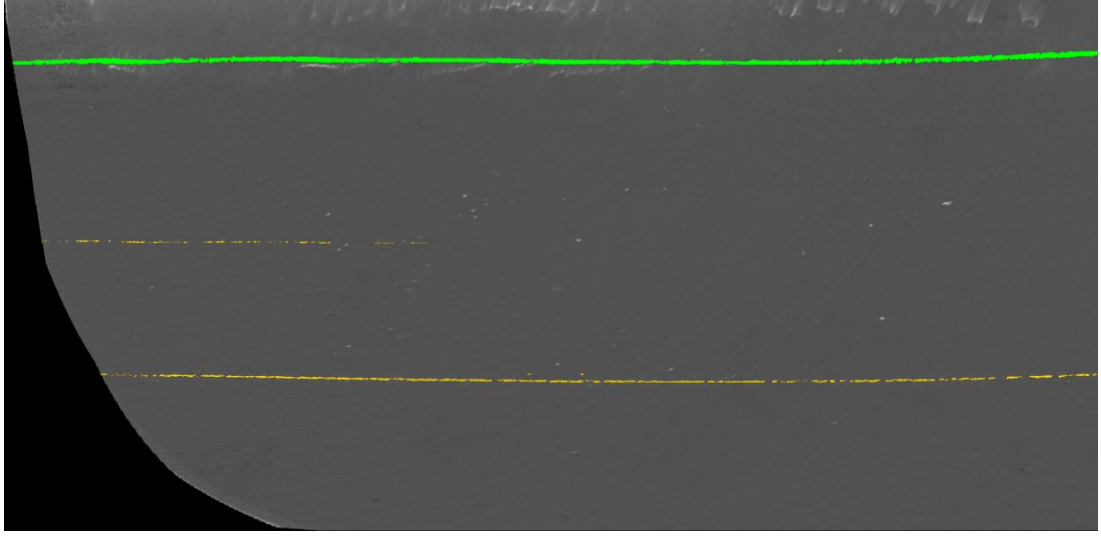
Tespit edilen ince çizgisel hataların ve kalın çizgisel hatanın satır toplam grafiği Şekil 6.28’de gösterilmektedir.



Şekil 6.28. (a) İnce çizgisel hataların satır toplam grafiği, (b) Kalın çizgisel hata satır toplam grafiği

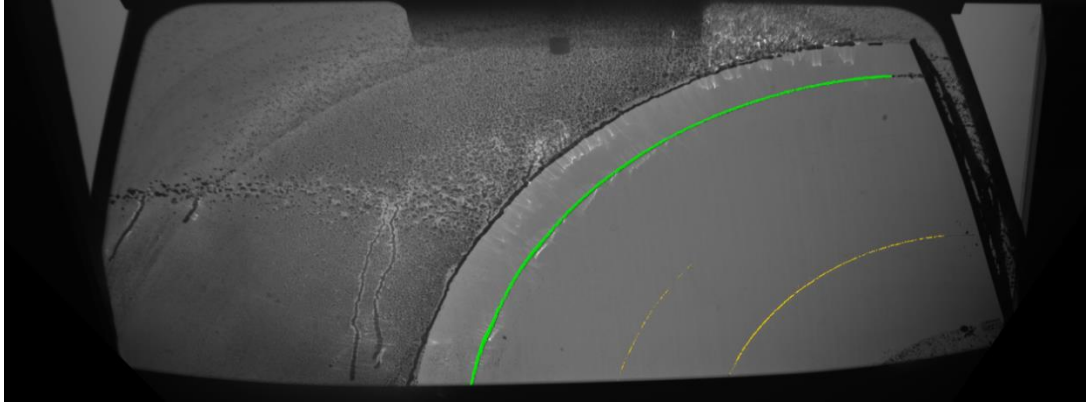
Şekil 6.23 ve Şekil 6.25’e bakıldığı zaman üst bölgedeki parlamaların da hata olarak tespit edildiği görülmektedir. Fakat sınıflandırma aşamasında bu noktalar gerekli şartları sağlamadığından hatalı bir tespit yapılmamaktadır.

Tespit edilip, sınıflandırılan tüm hatalar Şekil 6.29’da açılmış imge üzerinde gösterilmektedirler.



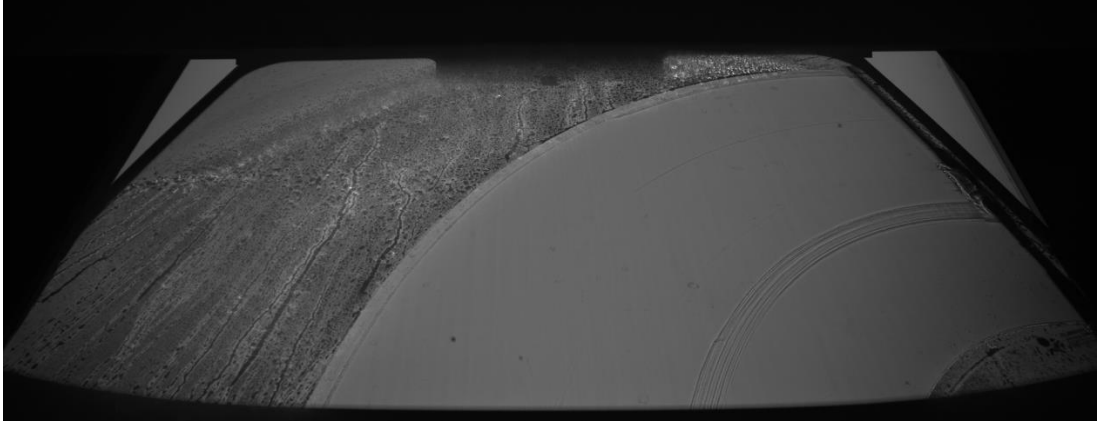
Şekil 6.29. Tespit sonucu

Şekil 6.30'da sınıflandırılan hatalar homografi imgesi üzerinde gösterilmektedir. Bu gösterim için ters kartezyen-kutupsal koordinat dönüşümü yapılması gerekmektedir. Kartezyen-kutupsal dönüşüm yaparken hangi koordinat değerinin nereye atandığı bilgisi saklanırsa ters dönüşüm yapılacak koordinat değerlerinin eski imgeden nereden alındığı tespit edilebilir. Açılmış imge üzerinde tespit edilen hatalı pikseller ters dönüşüm ile eski koordinatlarında işaretlenebilirler.

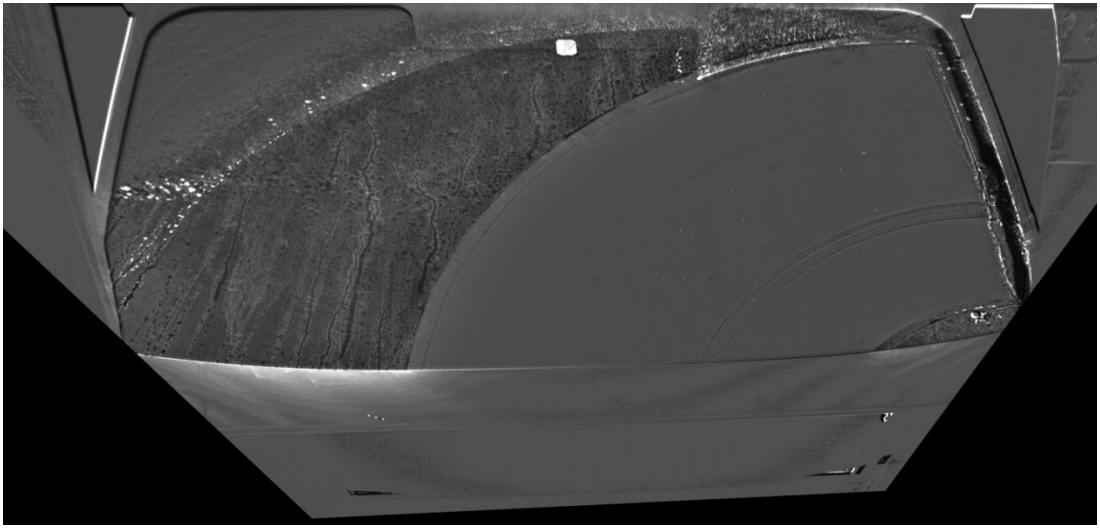


Şekil 6.30. Tespit sonucunun homografi imgesi üzerinde gösterilmesi

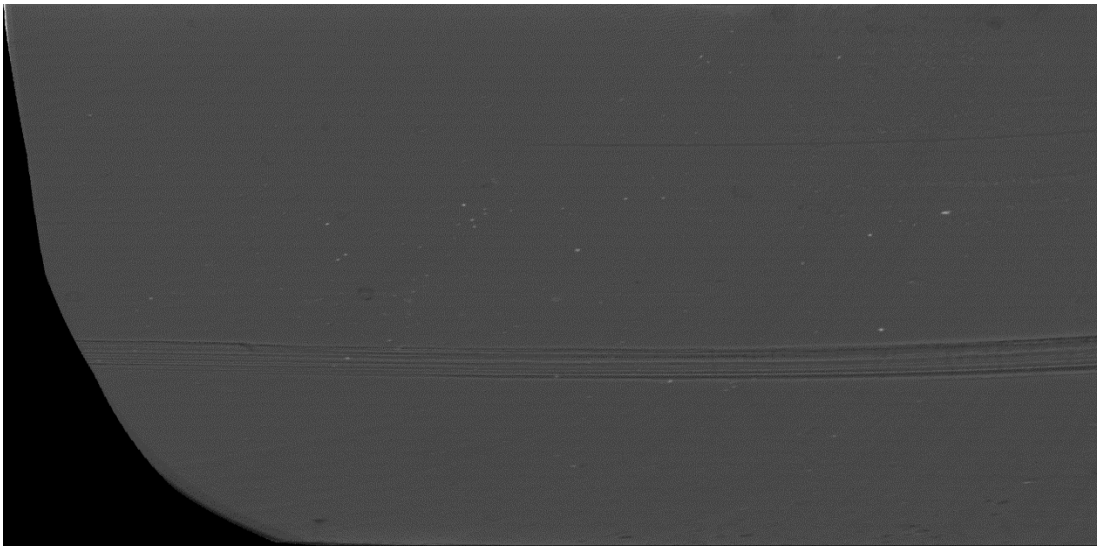
2. tespit imgesi olarak kullanılan imge, Şekil 6.31'de gösterilmektedir. Bu imgede bölgesel hata ve ince çizgisel hata olmak üzere iki farklı silecek hatası bulunmaktadır. Homografi ve ışıklılık dengelemesi sonucu tespit imgesi Şekil 6.32'de, homografi ve ışıklılık dengelemesi sonrasında kartezyen-kutupsal koordinat dönüşümü sonucu açılmış ve sıfır bölgeleri en aza indirgenmiş tespit imgesi Şekil 6.33'te gösterilmektedir.



Şekil 6.31. Bölgesel ve ince çizgisel hatalar içeren tespit imgesi

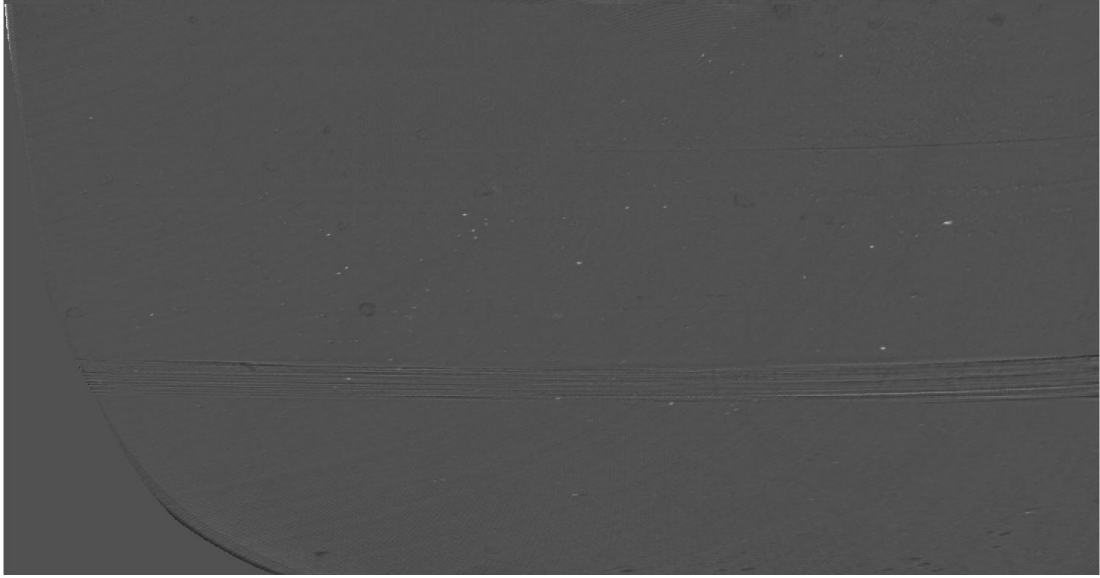


Şekil 6.32. Homografi ve ışıklılık dengelemesi sonucu

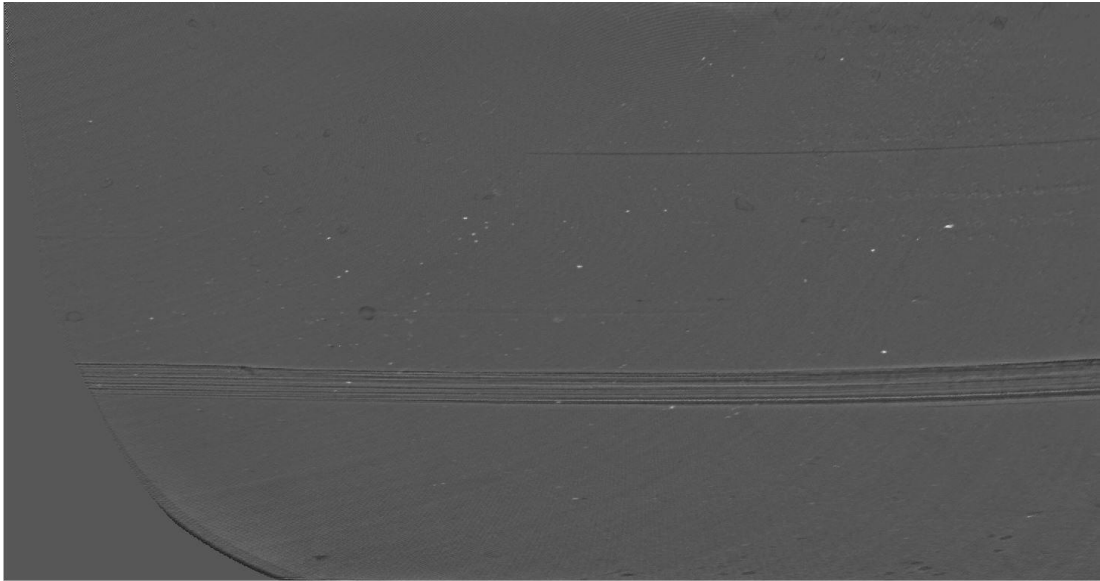


Şekil 6.33. Kartezyen-kutupsal koordinat dönüşümü sonucu açılmış imge

Hatalı bölgelerin tespiti için orijinal ve eğri uydurulmuş verinin farkı satır eğri uydurma için Şekil 6.34'te, sütun eğri uydurma için Şekil 6.35'teki gibi oluşmaktadır. Fark imgeleri [0-255] arasında ölçeklenmişlerdir.

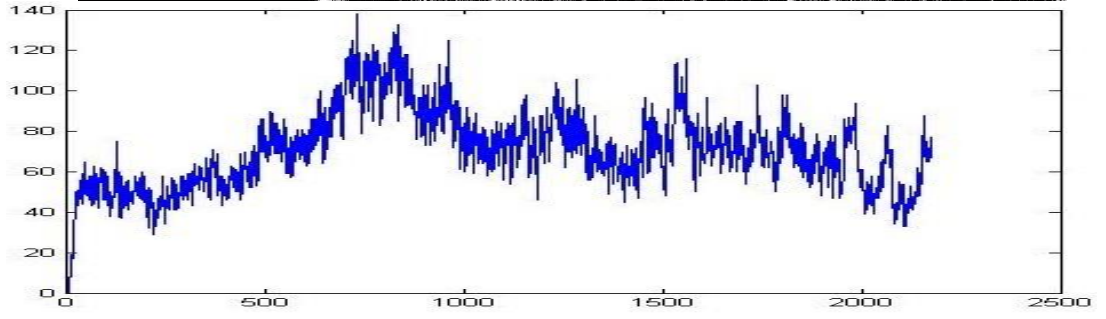
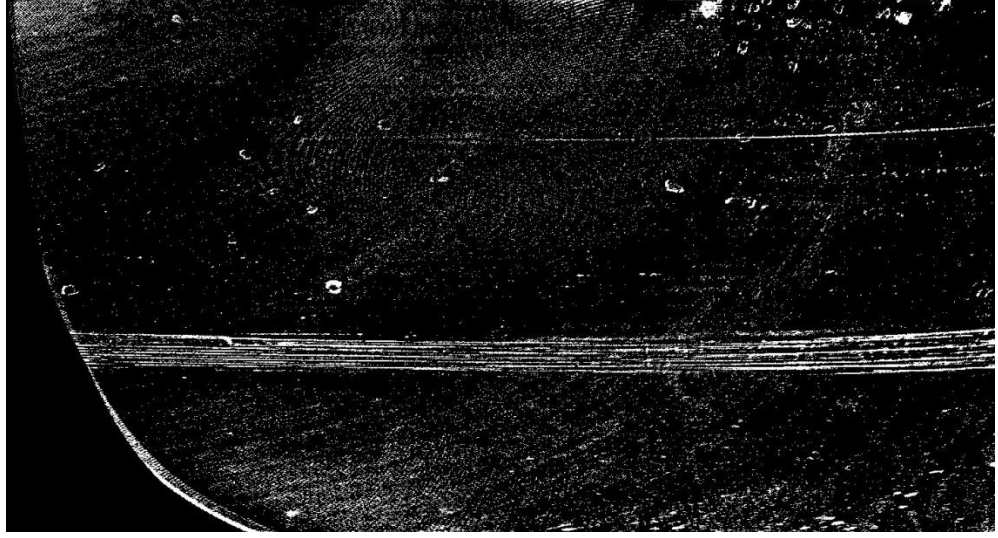


Şekil 6.34. Satır fark imgesi

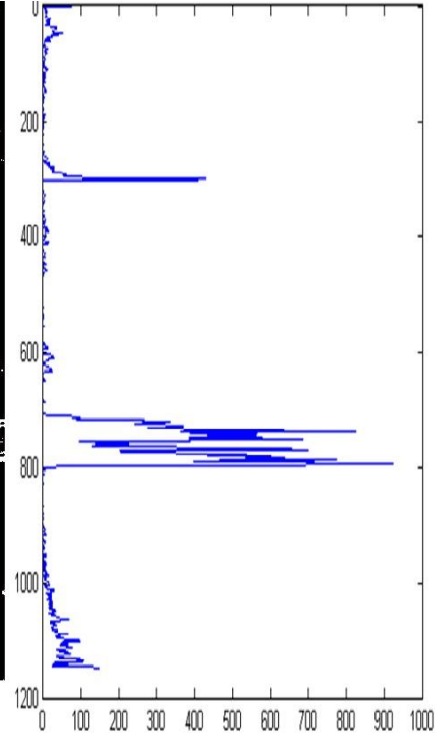
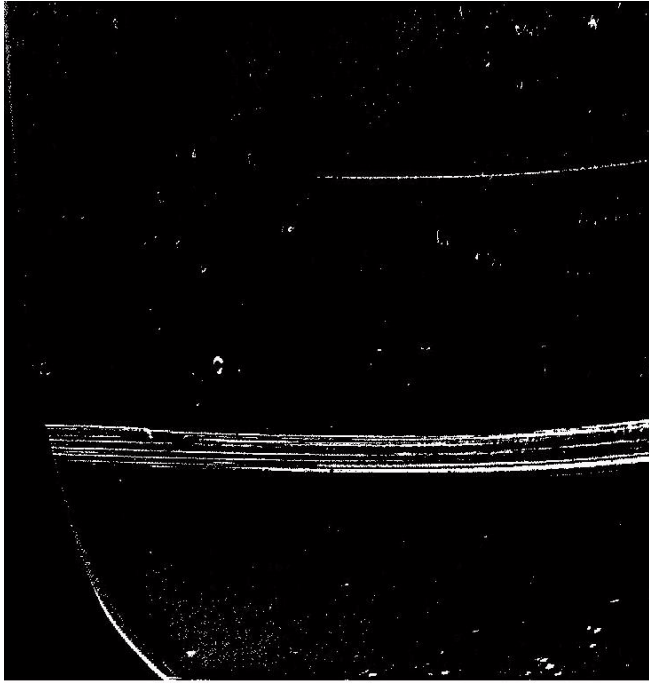


Şekil 6.35. Sütun fark imgesi

Satır eğri uydurma sonucunda oluşan fark matrisinde eşikten küçük olup, hatalı piksel olarak tespit edilen satır imgesi ve sütun toplam grafiği Şekil 6.36'da gösterilmektedir. Sütun eğri uydurma sonucunda oluşan fark matrisinde eşikten küçük olup, hatalı piksel olarak tespit edilen piksellerden oluşan sütun imgesi ve satır toplam grafiği Şekil 6.37'de gösterilmektedir.



Şekil 6.36. Satır sonuç imgesi ve sütun toplam grafiği



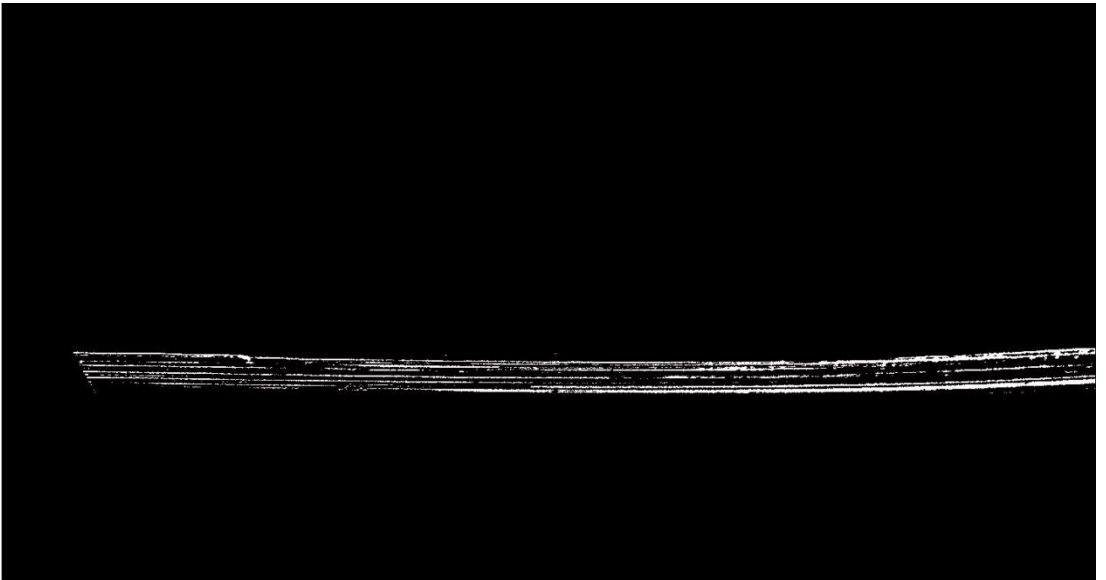
Şekil 6.37. Sütun sonuç imgesi ve satır toplam grafiği

Grafik incelendiği zaman ani geçişlerin olduğu noktalar fark edilmektedir. Bu bölgeler hatalı piksellerin olduğu satırları göstermektedir.

Satır toplam grafiğinde ilk ani geçişin yapıldığı satır değeri ince çizgisel hata olarak tespit edilmiştir. Şekil 6.38’de ince çizgisel hata tespit imgesi gösterilmektedir.



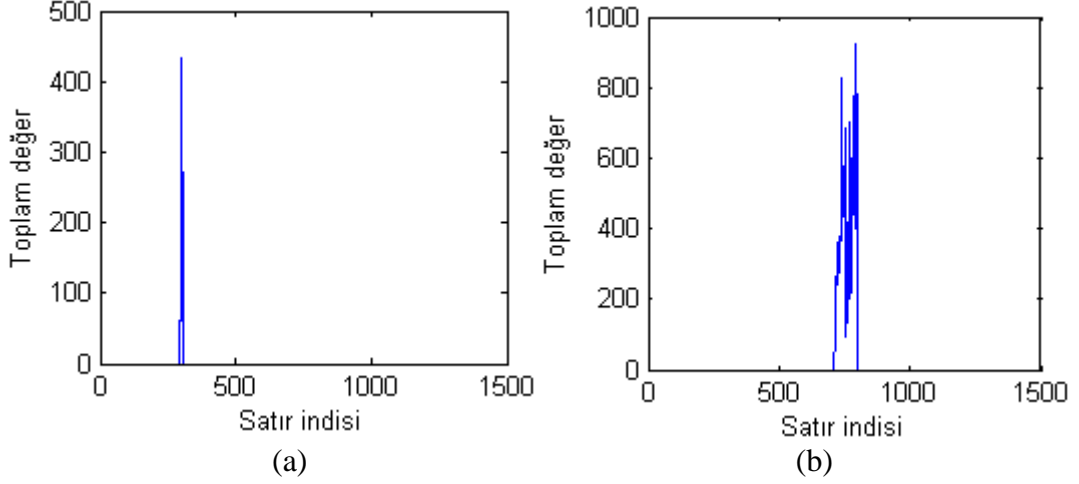
Şekil 6.38. İnce izgisel hata tespit sonucu



Şekil 6.39. Hata tespit sonucu

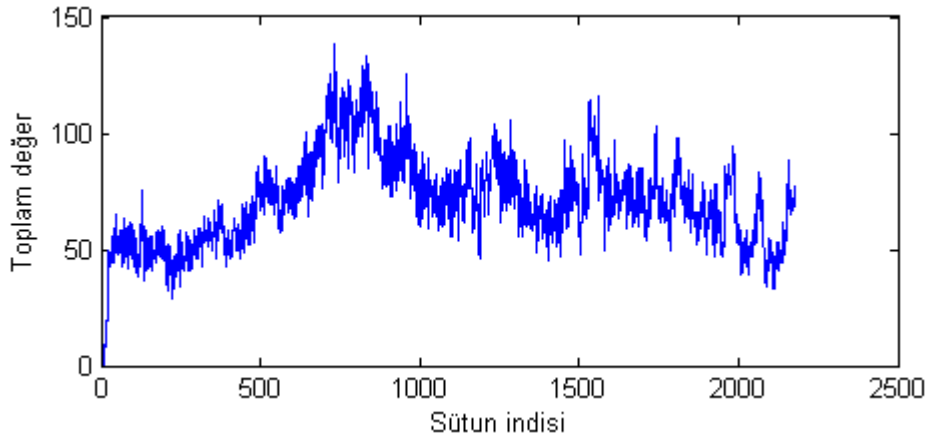
Satır toplam grafiğine bakıldığı zaman 700-800 satırları arasında geniş ve yoğun bir hata bulunduğu görülmektedir. Bu hata değeri itibariyle ince çizgisel hata ya da kalın çizgisel hata sınıfına girmemektedir.

Bu hataların dışında bulunan hatalardan satır genişliği eşiği 40'dan büyük ve ortalama piksel sayısı 100'den büyük olan hatalar bölgesel hata ya da tırlatma hatası olarak sınıflandırılırlar. Tespit edilen hataların satır toplam grafikleri Şekil 6.40'da gösterilmektedir.



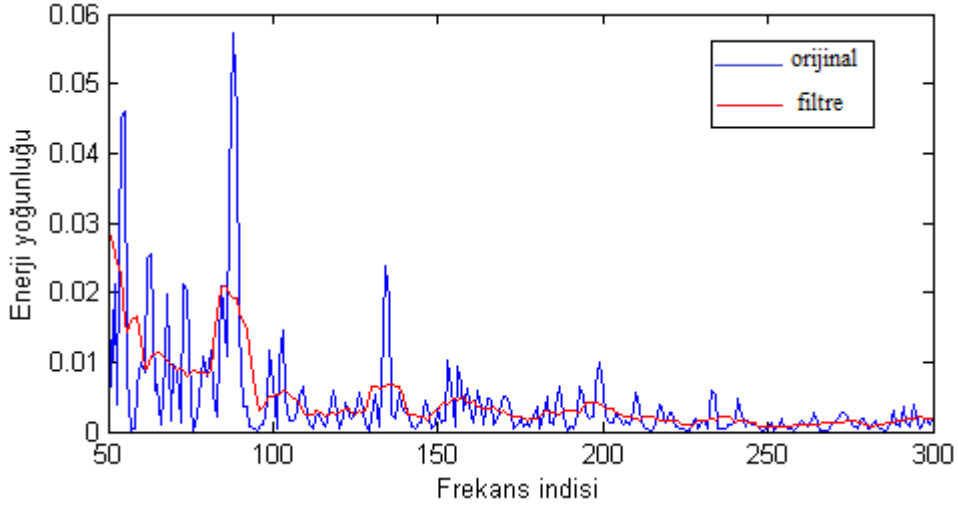
Şekil 6.40. (a) İnce çizgisel hataların satır toplam grafiği (b) Hata satır toplam grafiği

Sınıflandırılan hatanın bölgesel hata mı yoksa tırlatma hatası mı olduğunun tespit edilmesi gerekmektedir. Bu sınıflandırma için hatalı olarak tespit edilen satır aralığında satır eğri uydurma sonucundaki sütun toplamına bakmak gerekmektedir. Şekil 6.41'de gösterilen sütun toplam grafiğinde periyodik değişimler aranır. Sütun toplam grafiği ayrık Fourier dönüşümü ile frekans uzayında incelenerek ve enerjinin baskın olduğu frekans bileşeni tespit edilmektedir. Maksimum enerji genliği belirlenen eşikten düşükse bölgesel, yüksekse tırlatma hatası kararı verilir.



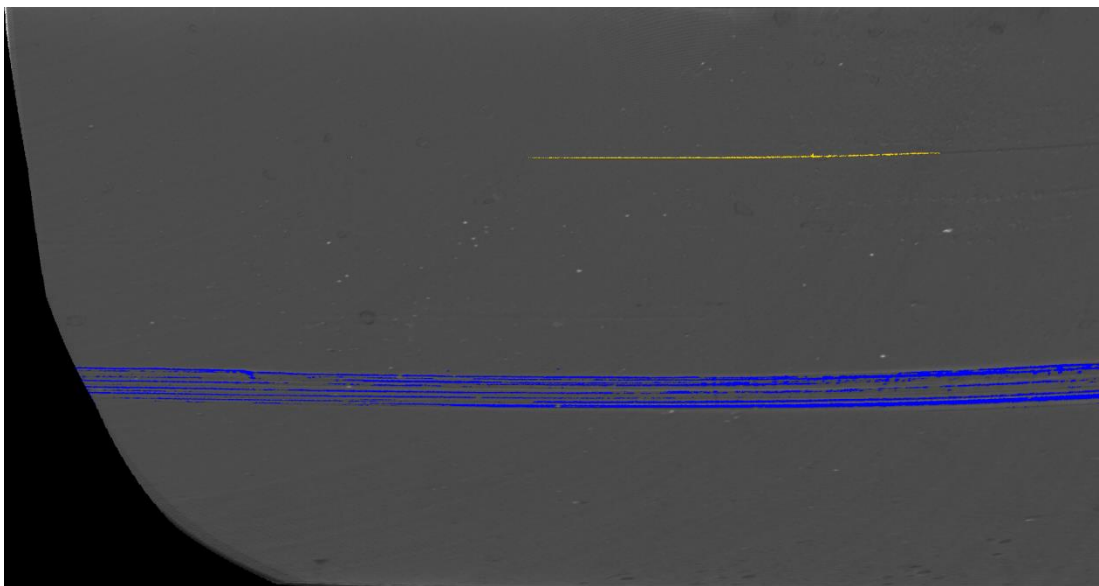
Şekil 6.41. Hata sütun toplam grafiği

Şekil 6.41’de gösterilen sütun toplam grafiğine ayrık Fourier dönüşümü uygulandığı zaman oluşan enerji spektral yoğunluğu ve filtrelenmiş enerji Şekil 6.42’de gösterilmektedir. Grafikten açıkça görüleceği üzere enerji spektral yoğunluğu yüksek genlik değerleri göstermemektedir. Bu da tespit edilen hatanın periyodik bir değişim göstermediğini, yani tırlatma hatası değil bölgesel hata olduğunu göstermektedir.

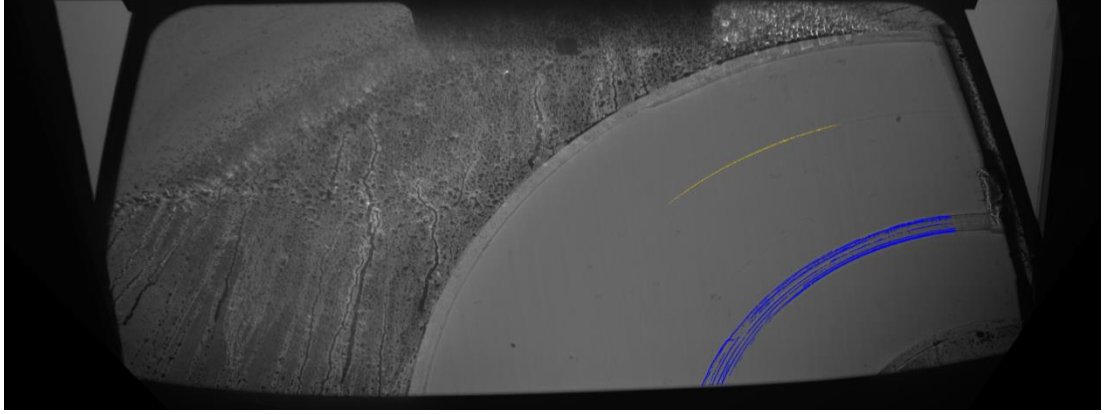


Şekil 6.42. Hata sütun toplam grafiğinin enerji spektral yoğunluğu ve filtrelenmiş enerjiler

Tespit edilip, sınıflandırılan tüm hatalar Şekil 6.43’te açılmış imge üzerinde gösterilmektedirler. Şekil 6.44’te sınıflandırılan hatalar homografi imgesi üzerinde gösterilmektedir.

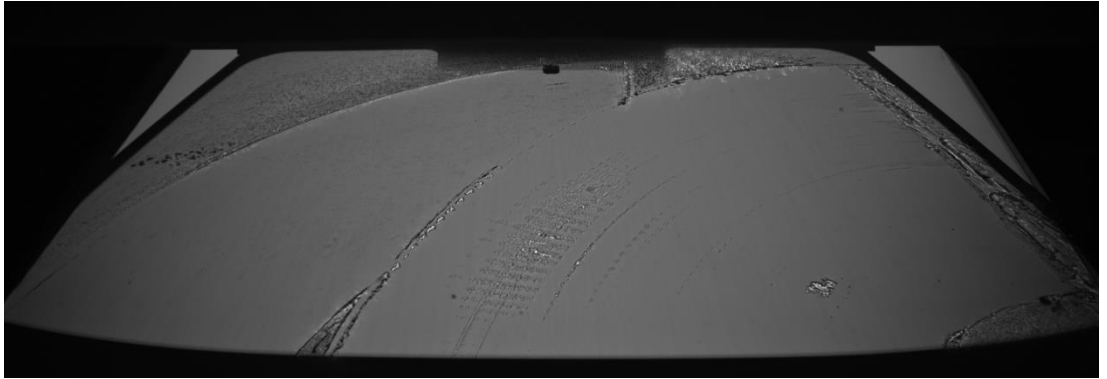


Şekil 6.43. Tespit sonucu

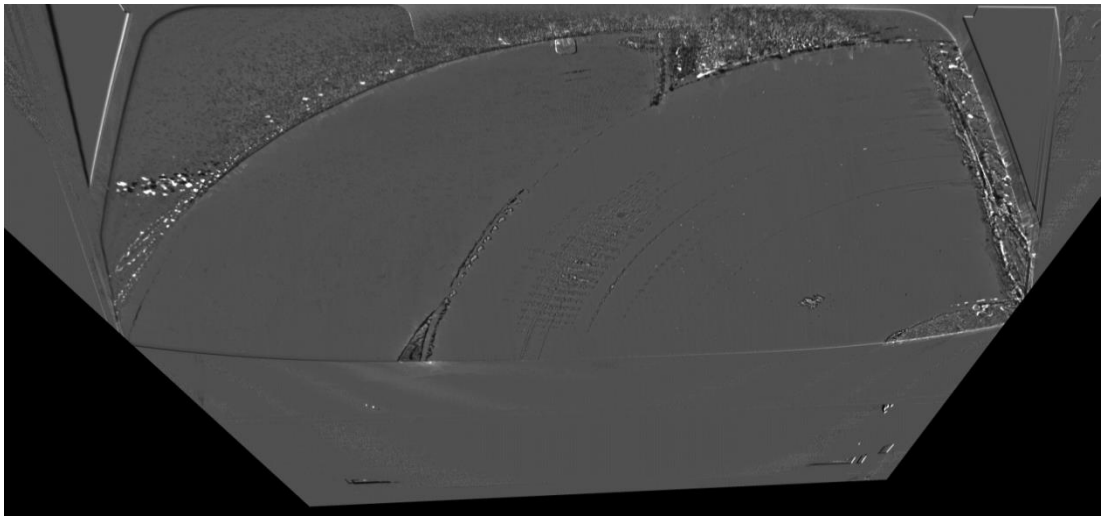


Şekil 6.44. Tespit sonucunun homografi imgesi üzerinde gösterilmesi

3. tespit imgesi olarak kullanılan imge, Şekil 6.45'te gösterilmektedir. Bu imgede ince çizgisel hata ve tırlatma hatası olmak üzere iki farklı silecek hatası bulunmaktadır. Tespit öncesi işlemlerden homografi ve ışıklılık dengelemesi sonucu tespit imgesi Şekil 6.46'da gösterilmektedir

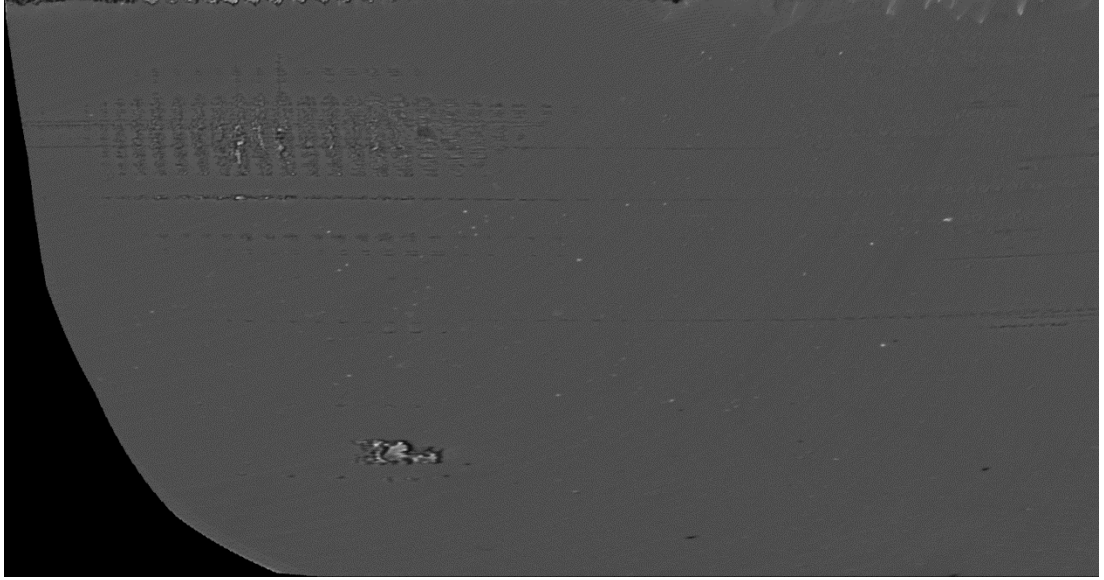


Şekil 6.45. İnce ve tırlatma hatası içeren tespit imgesi



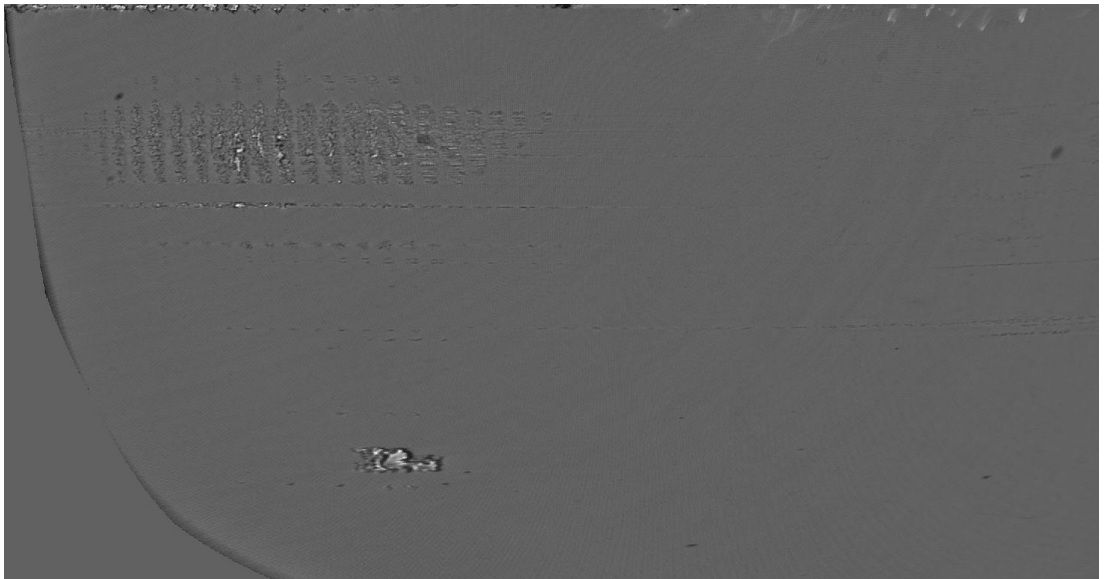
Şekil 6.46 . Homografi ve ışıklılık dengelemesi sonucu

Homografi ve ışıklılık dengelemesi sonrasında kartezyen-kutupsal koordinat dönüşümü sonucu açılmış ve sıfır bölgeleri en aza indirgenmiş tespit imgesi Şekil 6.47’de gösterilmektedir.

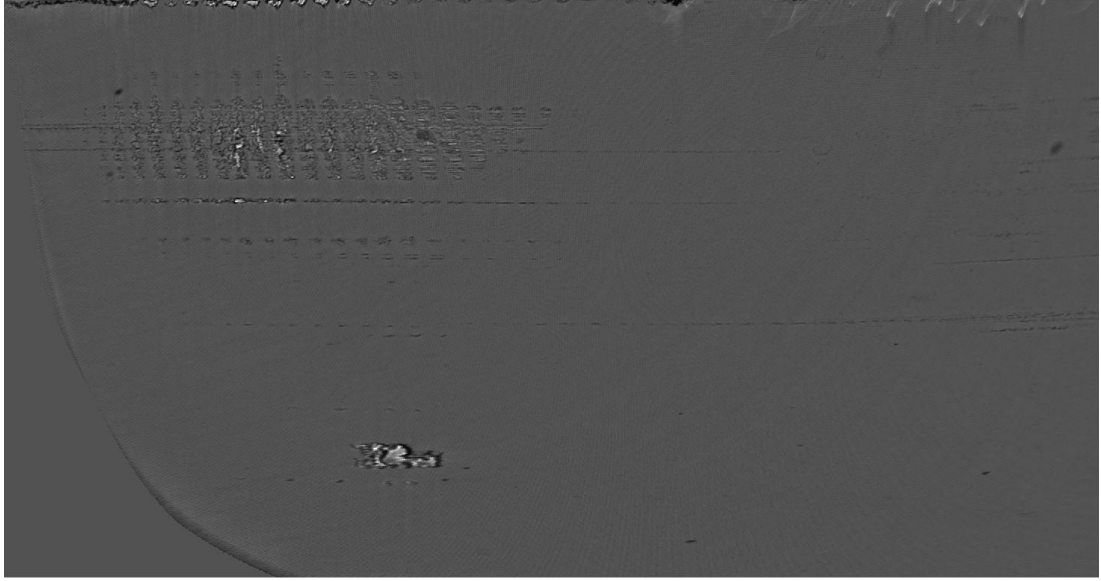


Şekil 6.47. Kartezyen-kutupsal koordinat dönüşümü sonucu açılmış imge

Hatalı bölgelerin tespiti için orijinal ve eğri uydurulmuş verinin farkı satır eğri uydurma için Şekil 6.48’de, sütun eğri uydurma için Şekil 6.49’daki gibi oluşmaktadır. Fark imgeleri [0-255] arasında ölçeklenmişlerdir.

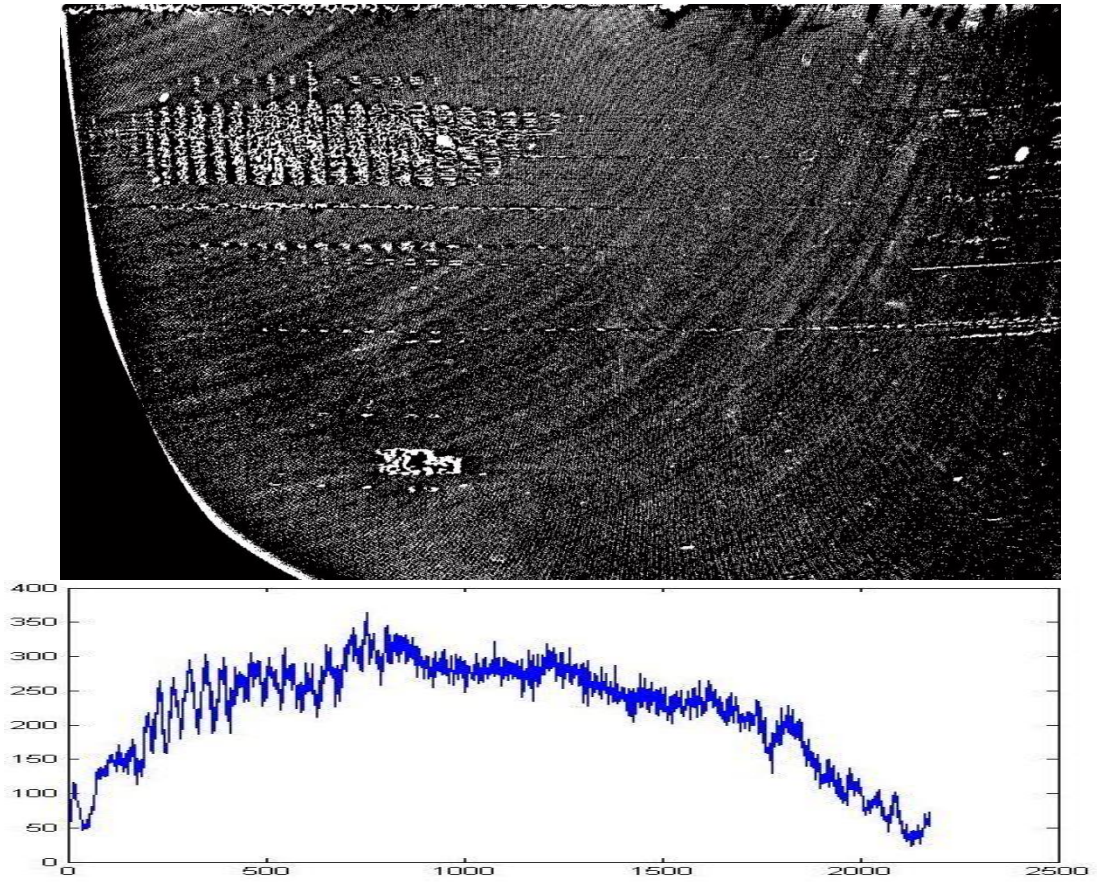


Şekil 6.48. Satır fark imgesi



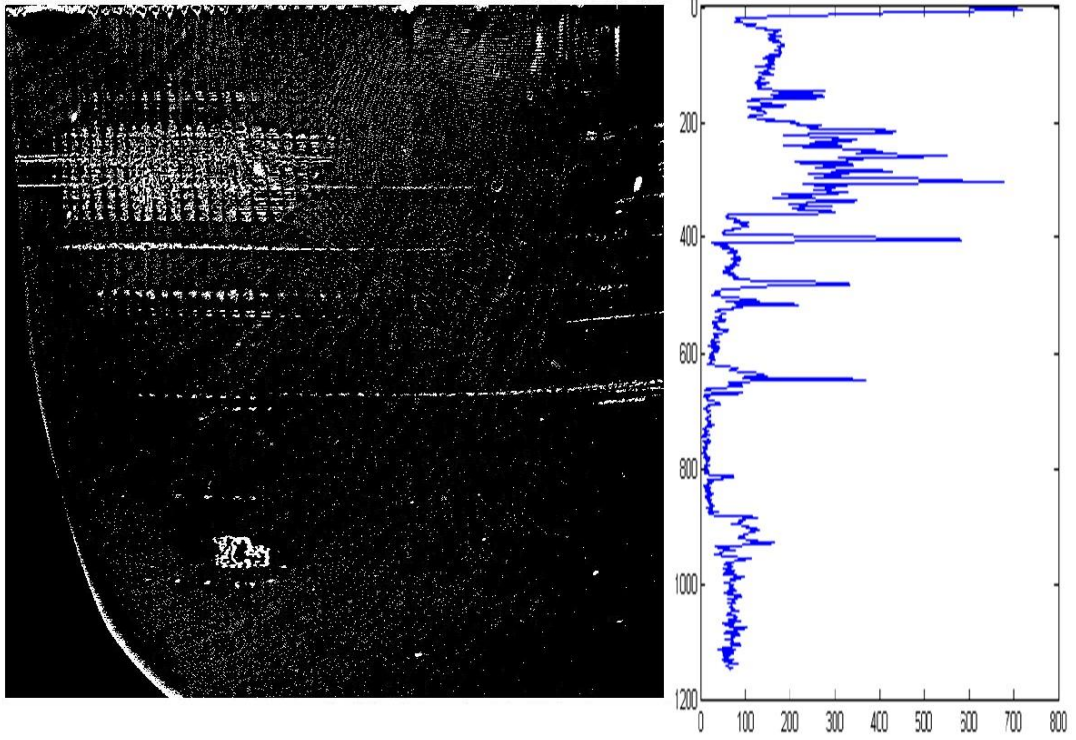
Şekil 6.49. Sütun fark imgesi

Şekil 6.50'de satır eğri uydurma sonucunda oluşan fark matrisinde eşikten küçük olup, hatalı piksel olarak tespit edilen piksellerden oluşan satır imgesi ve sütun toplam grafiği gösterilmektedir.



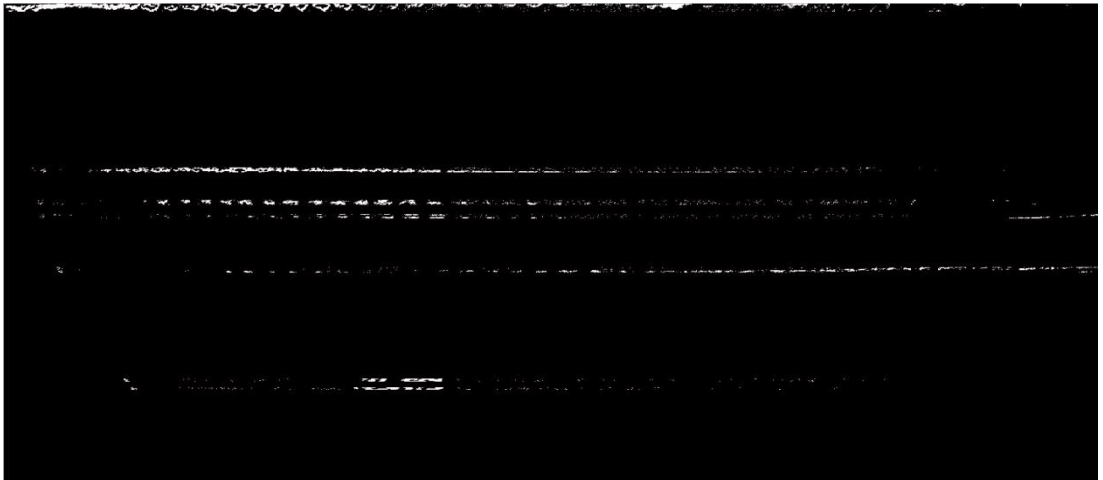
Şekil 6.50. Satır sonuç imgesi ve sütun toplam grafiği

Şekil 6.51’de sütun eğri uydurma sonucunda oluşan fark matrisinde eşikten küçük olup, hatalı piksel olarak tespit edilen piksellerden oluşan sütun imgesi ve satır toplam grafiği gösterilmektedir.



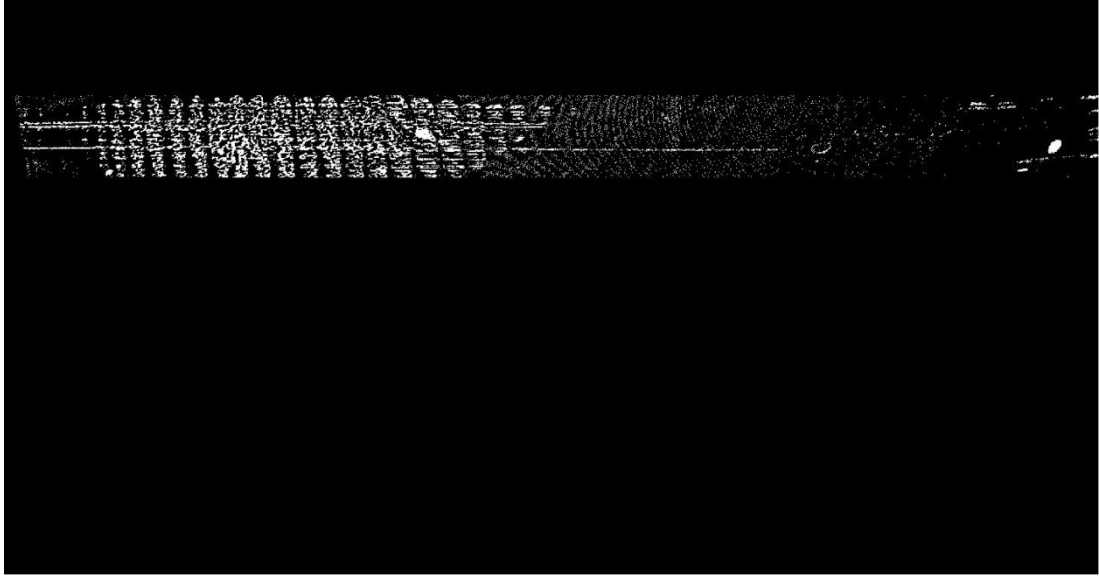
Şekil 6.51. Sütun sonuç imgesi ve satır toplam grafiği

Satır toplam grafiği incelendiğinde ani geçişlerin olduğu satırlardan büyük alan kaplamayanlar fark edilmektedir. Bu bölgeler ince çizgisel hata olarak tespit edilmiştir. Şekil 6.52’de ince çizgisel hata tespit imgesi gösterilmektedir.



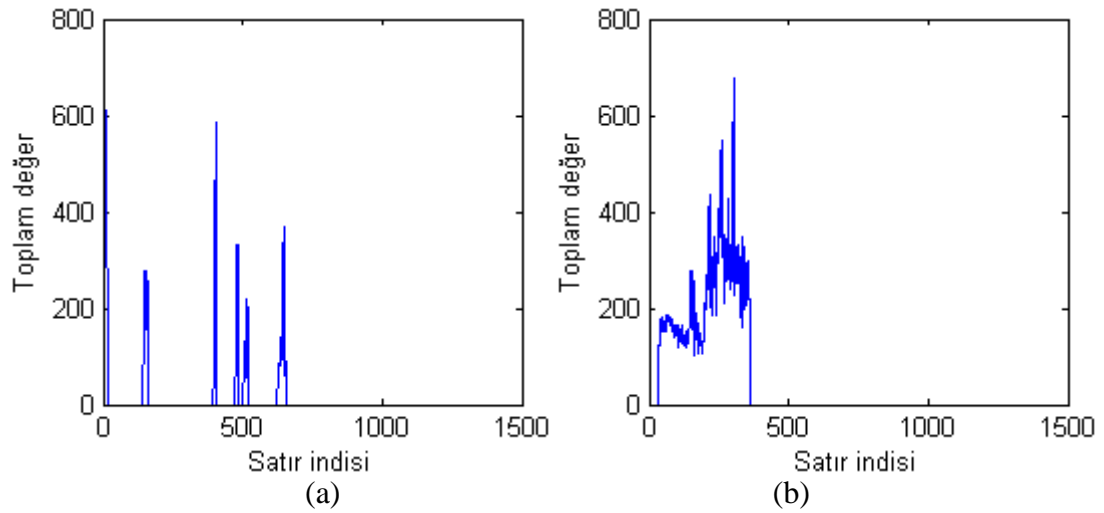
Şekil 6.52. İnce çizgisel hata tespit sonucu

Satır toplam grafiğinde geniş bir satır aralığı kaplayan hata olduğu görülmektedir. Bu hata bölgesel hata ya da tırlatma hatası sınıfında girmektedir. Şekil 6.53'te hata tespit imgesi gösterilmektedir.



Şekil 6.53. Hata tespit sonucu

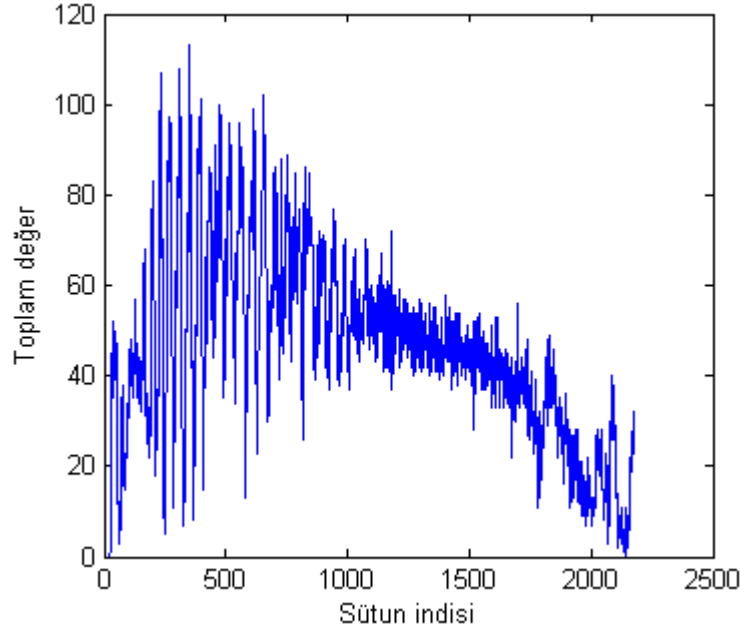
Tespit edilen hataların satır toplam grafikleri Şekil 6.54'te gösterilmektedir.



Şekil 6.54. (a) İnce çizgisel hataların satır toplam grafiği (b) Hata satır toplam grafiği

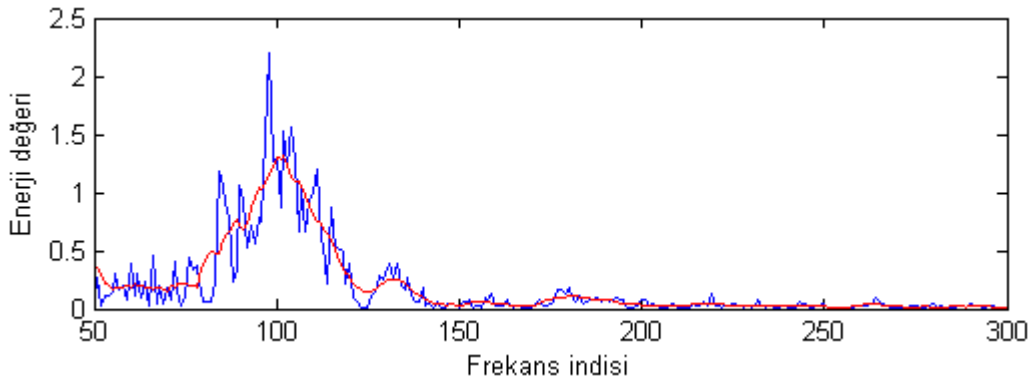
Daha önce de anlatıldığı gibi hangi hata sınıfına gireceğini bulmak için hatalı olarak tespit edilen satır aralığında satır eğri uydurma sonucundaki sütun toplamına bakmak gerekmektedir.

Şekil 6.55'te gösterilen sütun grafiğinde periyodik değişimler aranır. Sütun toplam grafiği ayrık Fourier dönüşümü ile frekans uzayında incelenerek ve enerjinin baskın olduğu frekans bileşeni tespit edilmektedir.



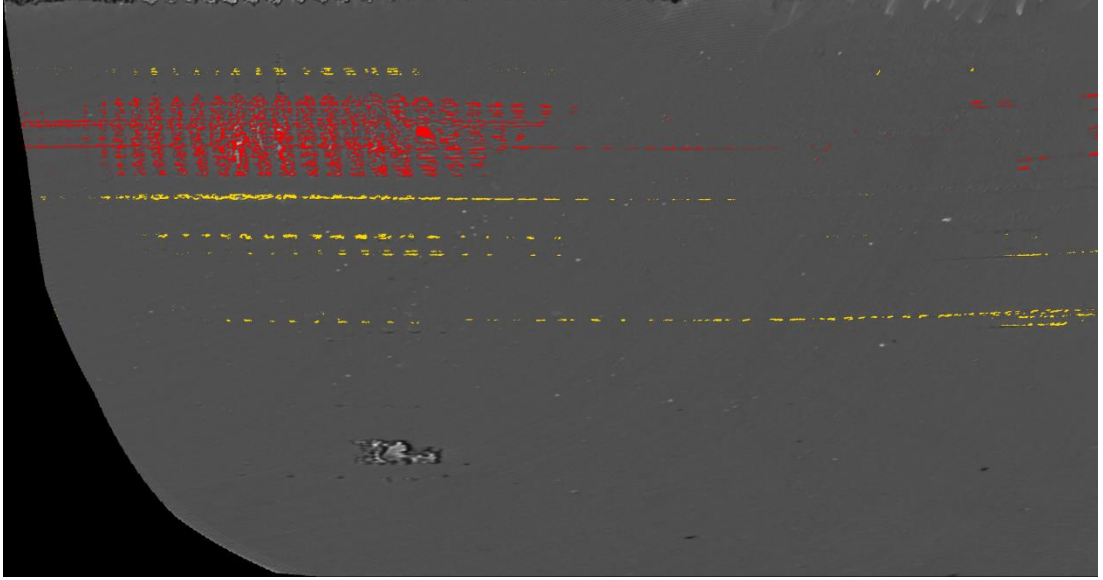
Şekil 6.55. Hata sütun toplam grafiği

Şekil 6.55'te gösterilen sütun toplam grafiğine ayrık Fourier dönüşümü uygulandığı zaman oluşan enerji spektral yoğunluğu ve filtrelenmiş enerji Şekil 6.56'da gösterilmektedir. Grafikten açıkça görüleceği üzere enerji spektral yoğunluğu yüksek genlik değerler bulunmaktadır. Bu da tespit edilen hatanın periyodik bir değişim gösterdiğini, yani tırlatma hatası olduğunu göstermektedir.

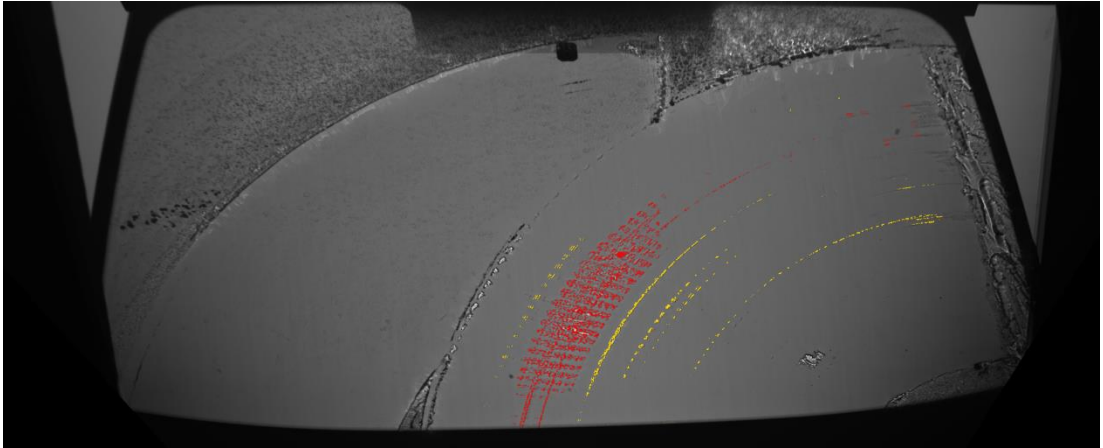


Şekil 6.56. Hata sütun toplam grafiğinin enerji spektral yoğunluğu ve filtrelenmiş enerjiler

Tespit edilip, sınıflandırılan tüm hatalar Şekil 6.57’de açılmış imge üzerinde gösterilmektedirler. Şekil 6.58’de sınıflandırılan hatalar homografi imgesi üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 6.57. Tespit sonucu

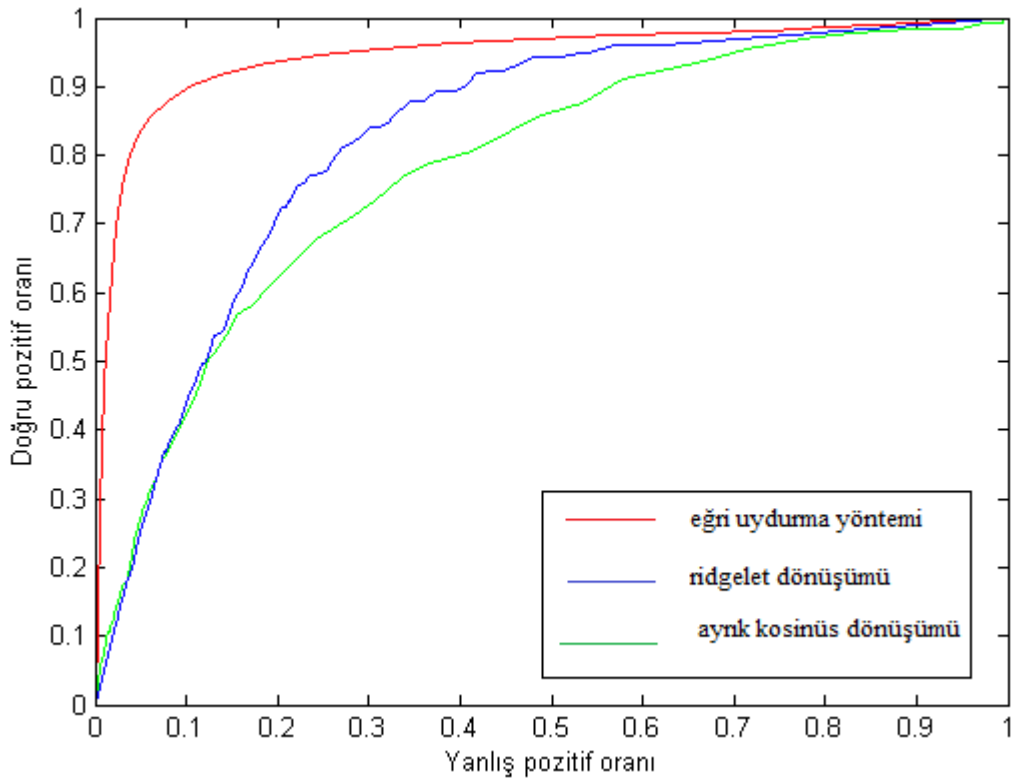


Şekil 6.58. Tespit sonucunun homografi imgesi üzerinde gösterilmesi

7.TESPİT YÖNTEMLERİNİN BAŞARIMLARININ NESNEL KARŞILAŞTIRILMASI

Tez kapsamında silecek hatalarının tespit edilebilmesi için iç farklı yöntem denenmiştir. Bunlar ayrık kosinüs dönüşümü ve ridgelet dönüşümü temelli hata tespit yöntemleri ve 5. dereceden gürbüz eğri uydurma temelli hata tespit yöntemidir. 5. ve 6. Bölümlerde bu yöntemler detaylı olarak incelenmiş ve test imgeleri için sonuçları paylaşılmıştır.

Tespit yöntemlerinin performansını karşılaştırmak için tüm tespit yöntemlerinin ROC grafikleri oluşturulmuştur. ROC eğrisi, belirli bir algılama yönteminin ne kadar etkili ya da başarılı olduğunu anlatmak için kullanılan bir yöntemdir. Şekil 7.1’de bu yöntemlerin ROC eğrileri gösterilmektedir.

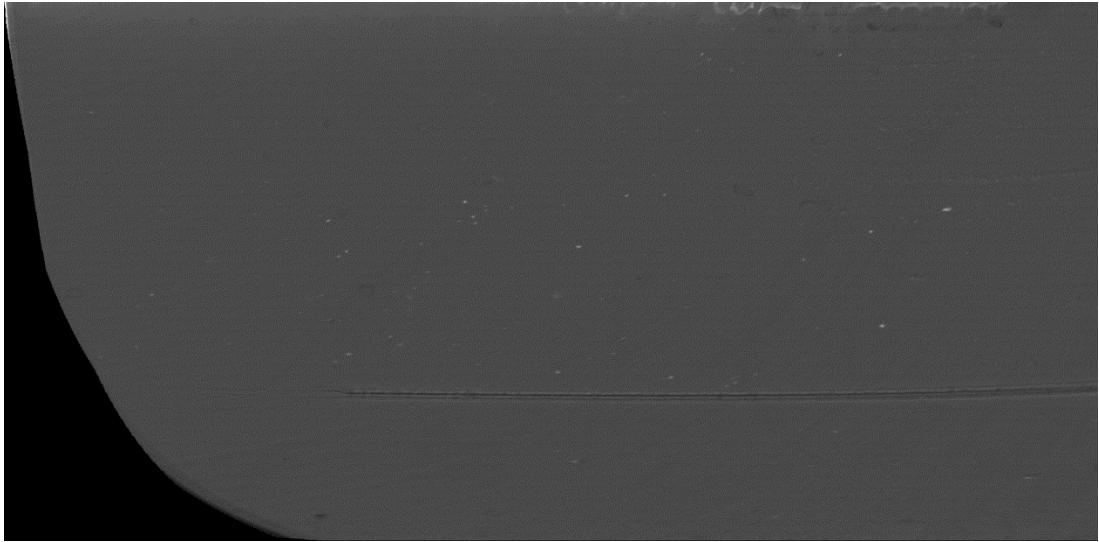


Şekil 7.1. Farklı tespit algoritmalarının ROC eğrileri

Test veri seti farklı tiplerde 3 hata imgesinden oluşmaktadır. İnce çizgisel hata , tırlatma hatası ve bölgesel hata içeren 3 farklı test imgesi kullanılmıştır. Bu farklı hatalar için yöntemlerin hata tespit sonuçları incelenmiş ve ROC eğrileri oluşturulmuştur. Her eşik değeri için hatalı piksellerin tespit oranı ve hatasız piksellerin yanlış tespit oranları hesaplanmış ve ROC eğrisi çizdirilmiştir.

ROC eğrileri incelendiğinde, diğer tespit yöntemleri ile karşılaştırıldığında önerilen eğri uydurma temelli yöntemin düşük yanlış tespit oranı için yüksek doğruluk oranı vererek daha iyi performans sağladığı görülmektedir. Ridgelet dönüşümü ve ayrık kosinüs dönüşümlerinde yüksek doğruluk oranları için yüksek yanlış tespit oranları verdiği görülmektedir.

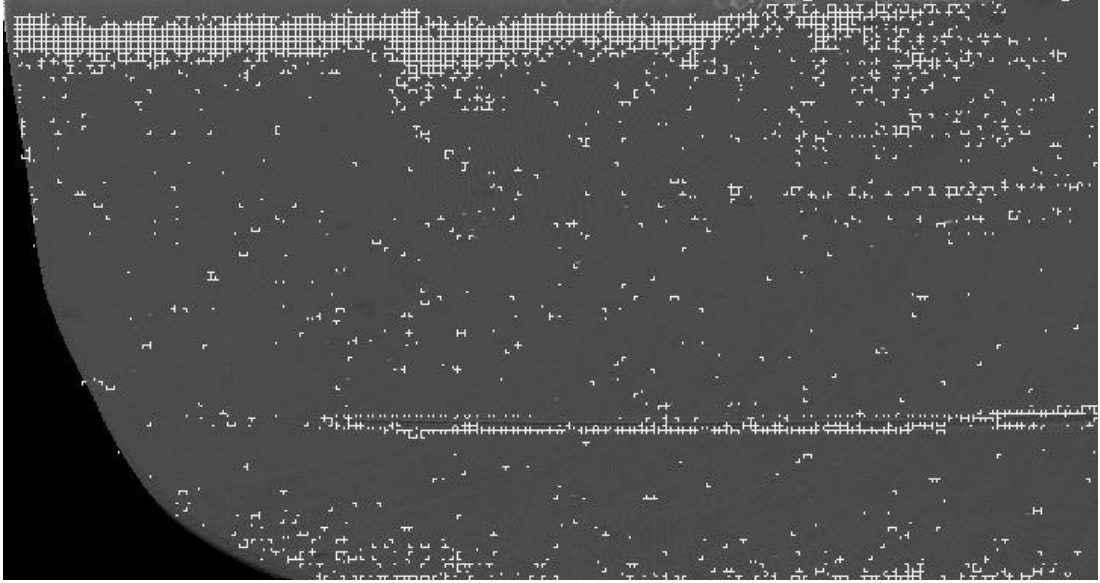
Bu bölümde bu üç tespit yönteminin aynı test imgeleri üzerindeki başarımları değerlendirilecektir.



Şekil 7.2. Test imgesi

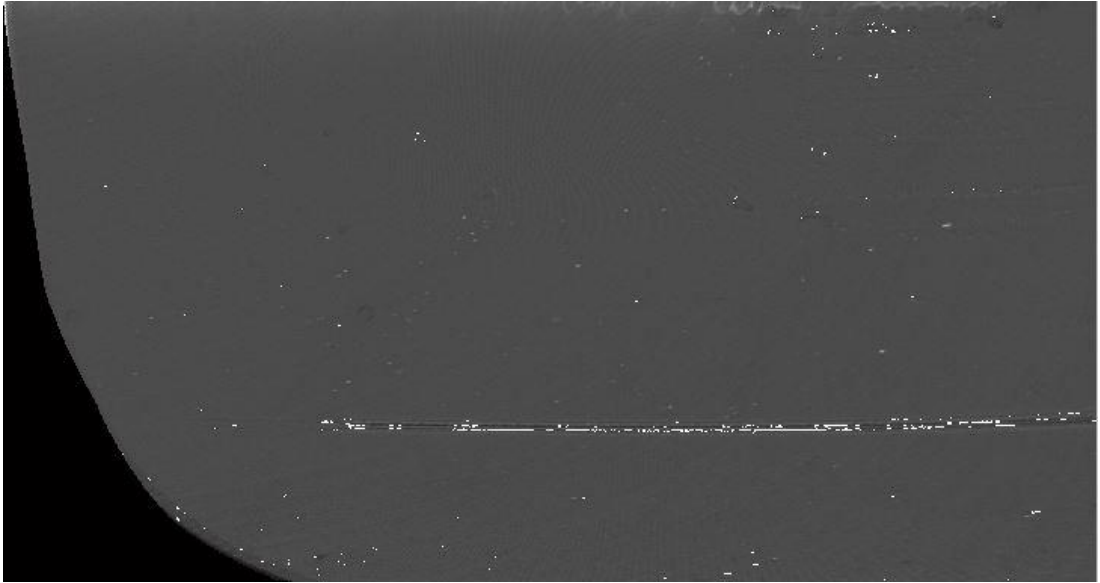
Şekil 7.2’de gösterilen test imgesi için 8, 16 ve 32’lik blok boyutları kullanılarak gerçekleştirilen ayrık kosinüs dönüşümü sonuçları elde edilmiştir. Piksel bazlı tespit işlemi için ışıklılık değeri eşikleri 50 ve 70 olarak belirlenmiştir.

8x8’lik blok boyutu kullanılarak yapılan ayrık kosinüs dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 7.3’te gösterilmektedir. Katsayılar toplam matrisinde piksel başına toplam katsayı oranı 10’dan büyük 10,9’dan küçük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



Şekil 7.3. 8x8 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

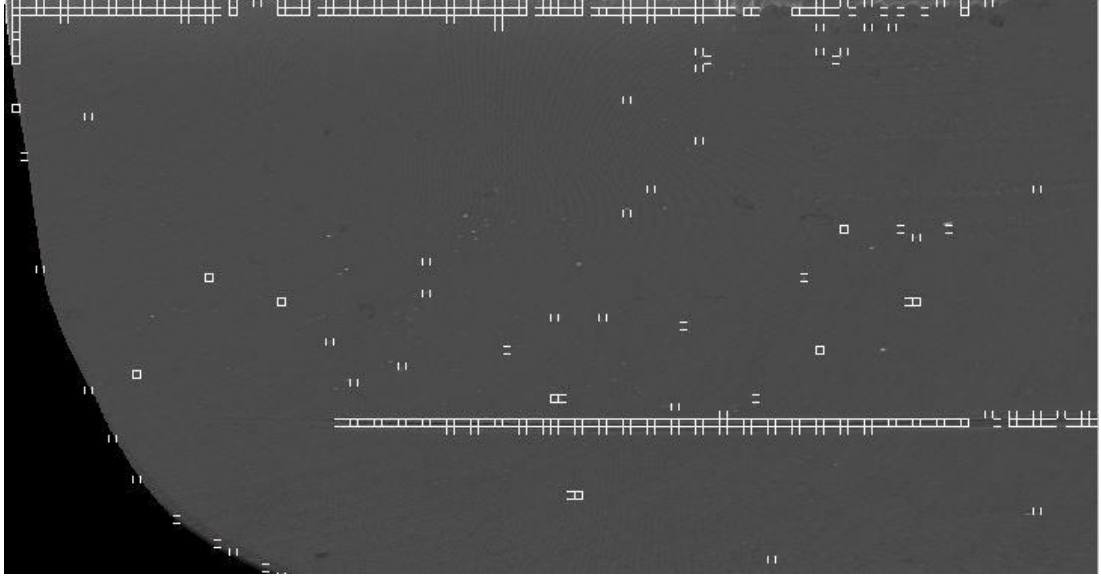
Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri 50'den büyük 70'den küçük olanlar hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 7.4'te piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



Şekil 7.4. 8x8 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

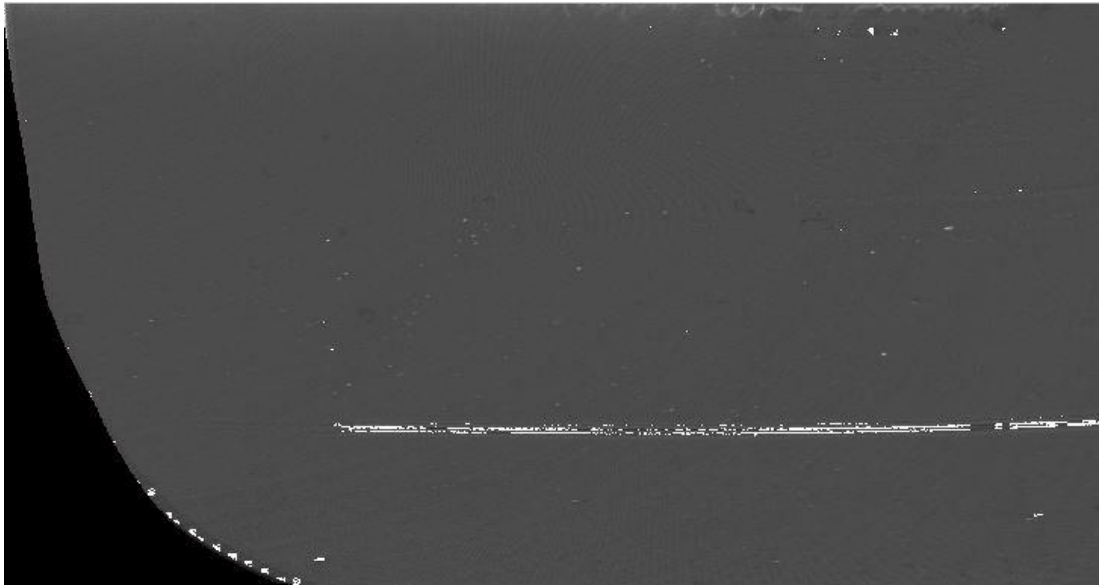
16x16'lık blok boyutu kullanılarak yapılan ayrık kosinüs dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 7.5'te gösterilmektedir.

Katsayılar toplam matrisinde piksel başına toplam katsayı oranı 5,8'den büyük 7,8'den küçük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



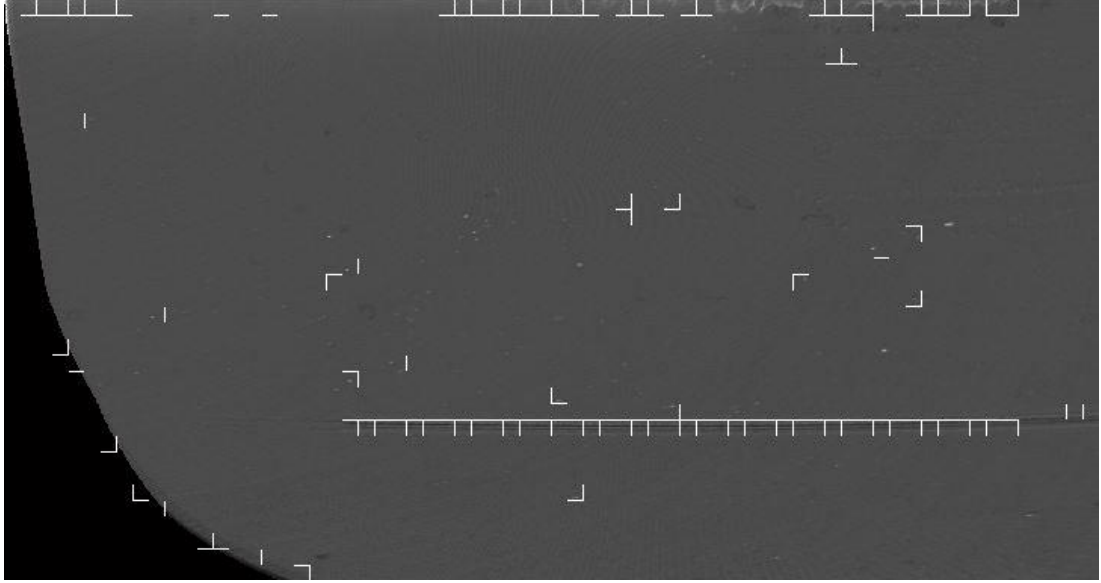
Şekil 7.5. 16x16 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri eşik değerlerini sağlayan pikseller hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 7.6'da piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



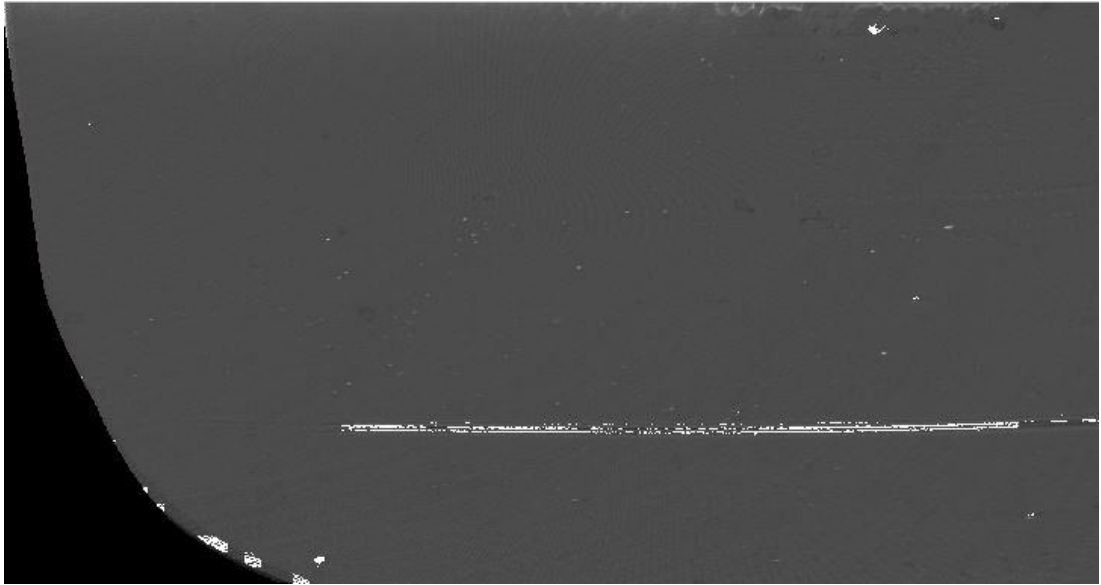
Şekil 7.6. 16x16 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

32x32'lik blok boyutu kullanılarak yapılan ayrık kosinüs dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 7.7'de gösterilmektedir. Katsayılar toplam matrisinde piksel başına toplam katsayı oranı 3,41'den büyük 4,39'dan küçük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



Şekil 7.7. 32x32 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri eşik değerlerini sağlayan pikseller hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 7.8’de piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.

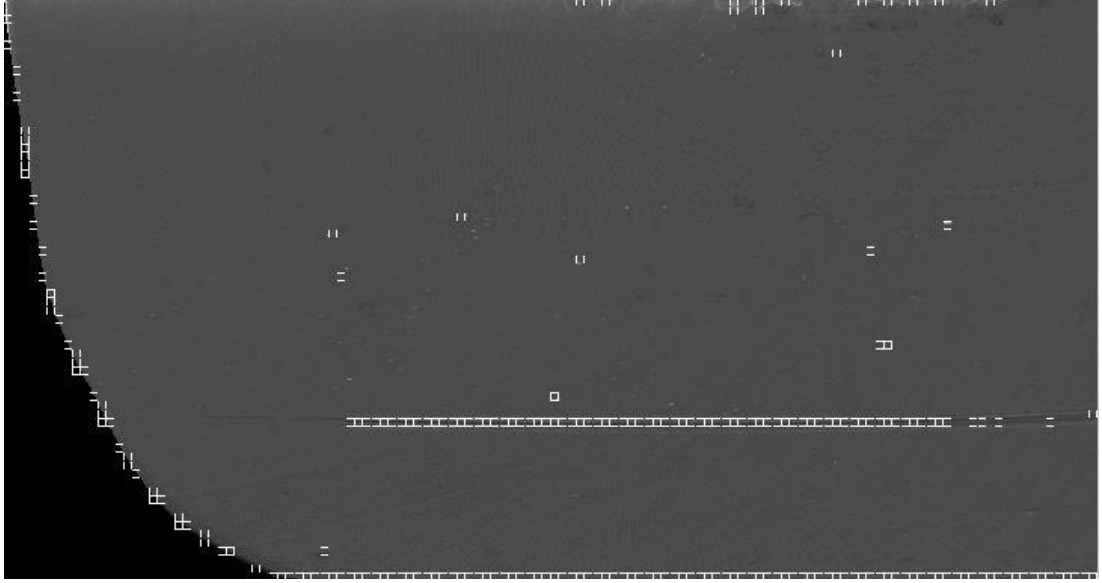


Şekil 7.8. 32x32 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

Şekil 7.2’de gösterilen test imgesi için 16, 36 ve 46’lık blok boyutları kullanılarak ridgelet dönüşümü yapıldı. Piksel bazlı tespit işlemi için ışıklılık değeri eşikleri 50 ve 70 olarak belirlenmiştir.

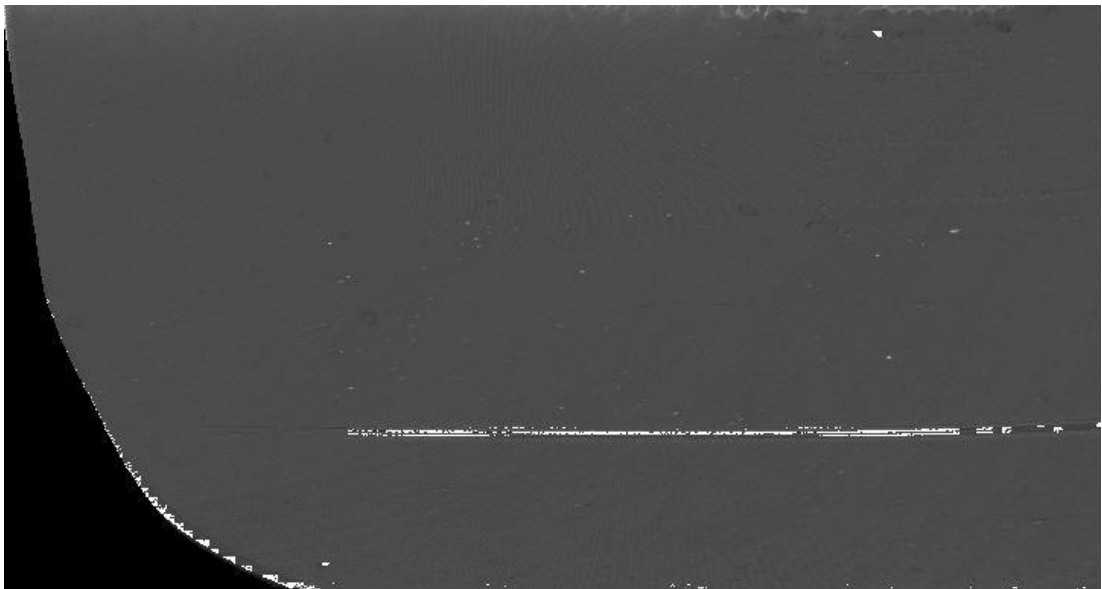
16x16'lık blok boyutu kullanılarak yapılan ridgelet dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 7.9'da gösterilmektedir.

Ridgelet dönüşüm sonucu hesaplanan blok enerjileri matrisinde piksel başına enerji oranı 390'dan büyük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



Şekil 7.9. 16x16 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

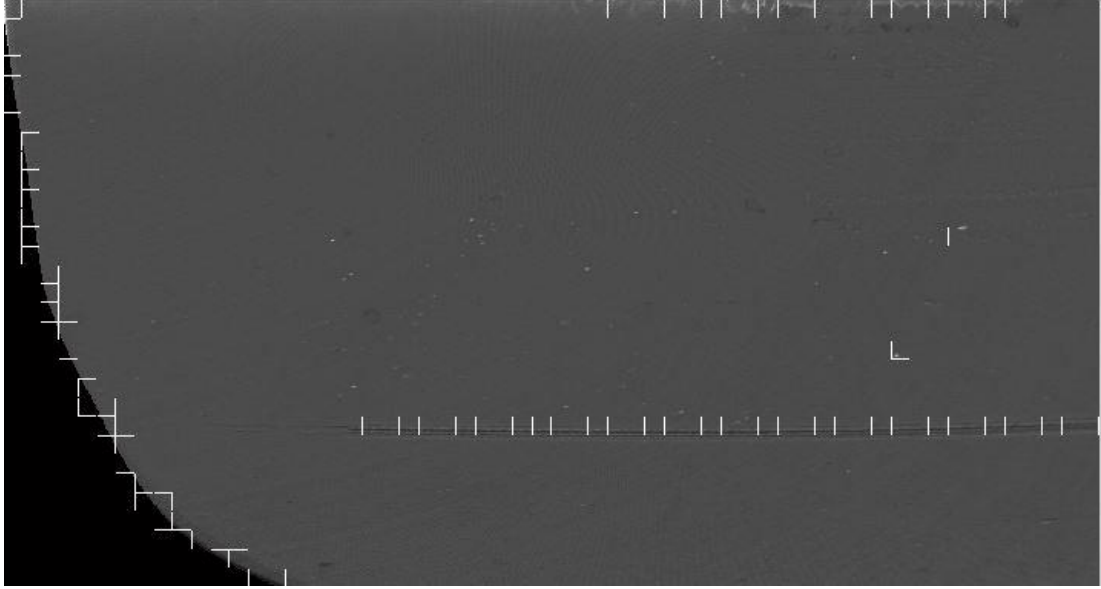
Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri 50'den büyük 70'den küçük olanlar hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 7.10'da piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



Şekil 7.10. 16x16 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

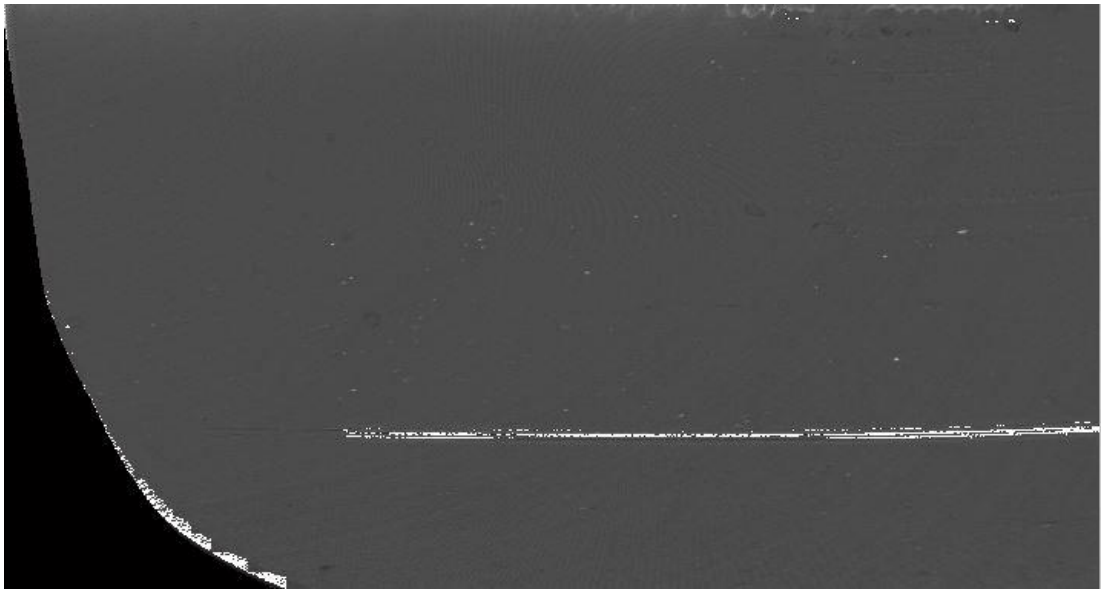
36x36'lık blok boyutu kullanılarak yapılan ridgelet dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 7.11'de gösterilmektedir.

Ridgelet dönüşüm sonucu hesaplanan blok enerjileri matrisinde piksel başına enerji oranı 308'den büyük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



Şekil 7.11. 36x36 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

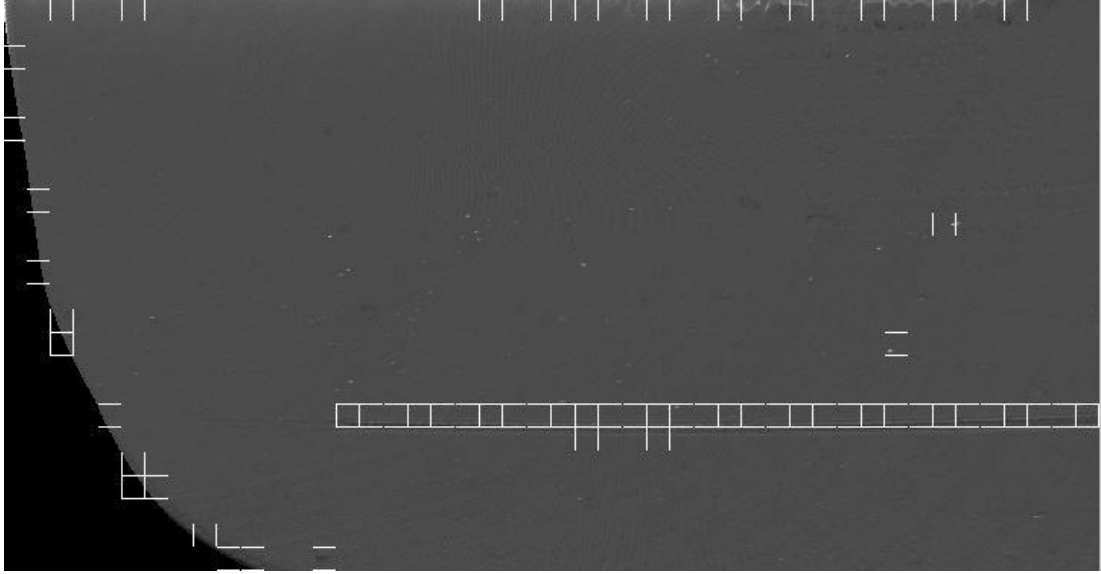
Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri eşik değerlerini sağlayan pikseller hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 7.12'de piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



Şekil 7.12. 36x36 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

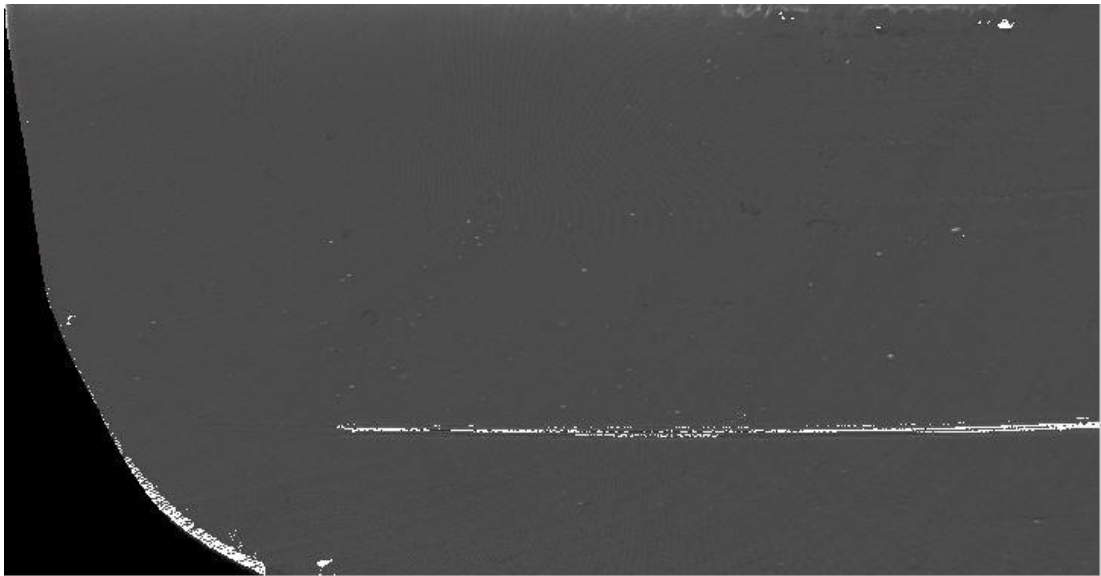
46x46'lık blok boyutu kullanılarak yapılan ridgelet dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 7.13'te gösterilmektedir.

Ridgelet dönüşüm sonucu hesaplanan blok enerjileri matrisinde piksel başına enerji oranı 189'dan büyük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



Şekil 7.13. 46x46 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

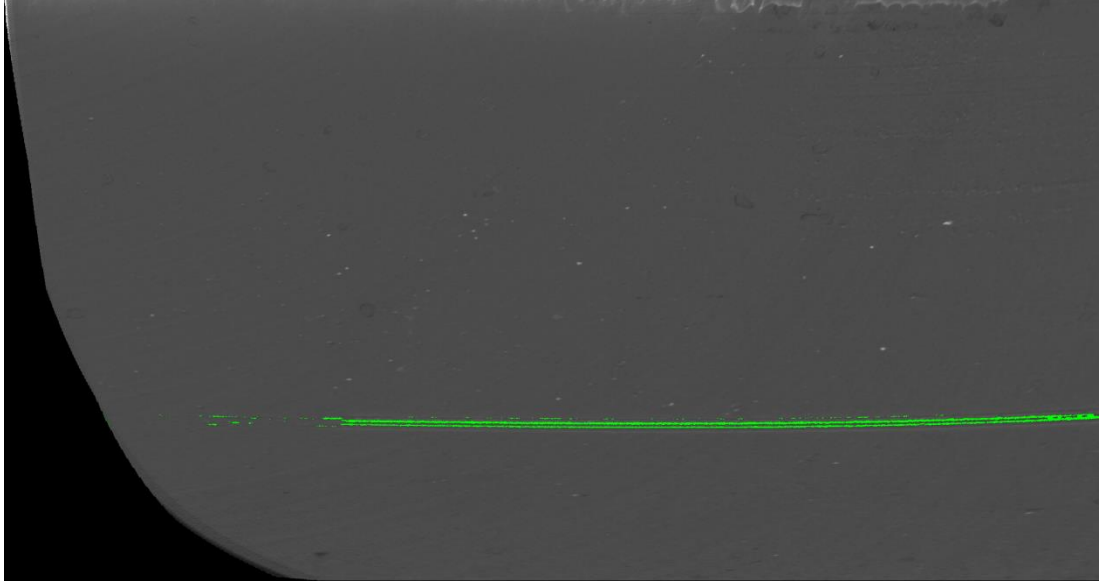
Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri eşik değerlerini sağlayan pikseller hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 7.14'te piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



Şekil 7.14. 46x46 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

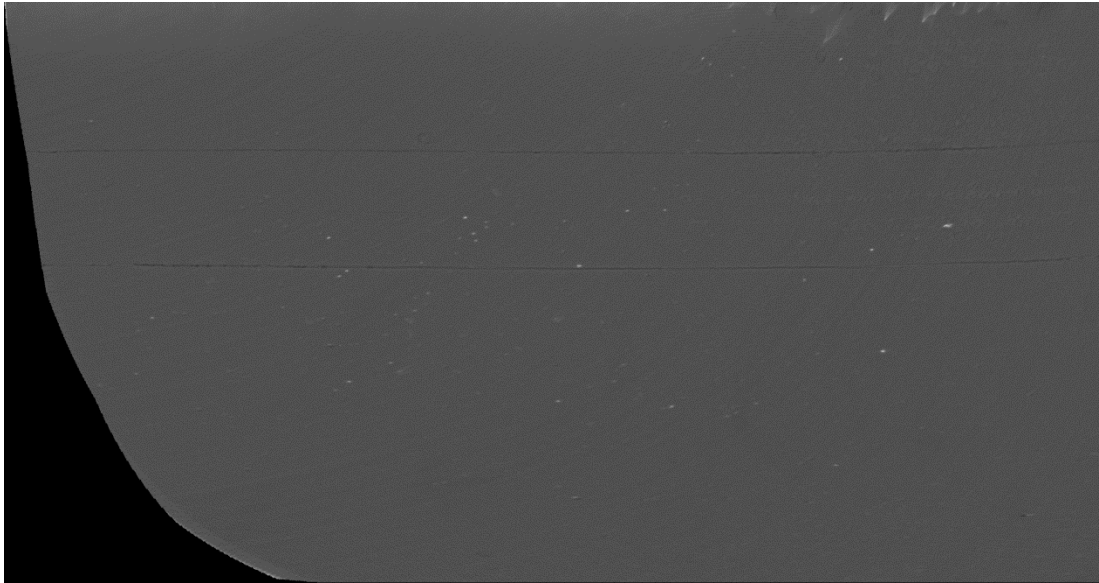
Sonuçlar incelendiği zaman açıkça görölmektedir ki çizgisel hataların tespitinin yapılabilmesi için eşik değeri aşağı çekilmiştir. Bu nedenle hatalı olmayan bölgeler de hatalı olarak tespit edilmiştir.

Tez kapsamında geliştirilen ışıklılık uzayında eğri uydurma temelli tespit algoritmasının sonucu Şekil 7.15'te verilmiştir.



Şekil 7.15. Eğri uydurma temelli tespit algoritması sonucu

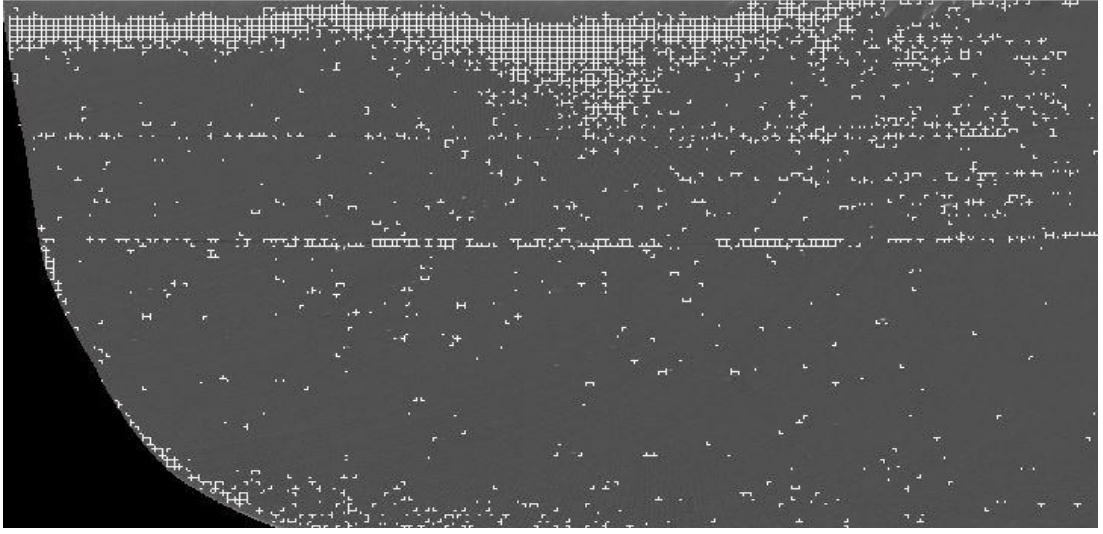
İkinci test imgesi olarak Şekil 7.16'da gösterilen imge kullanılmıştır.



Şekil 7.16. Test imgesi

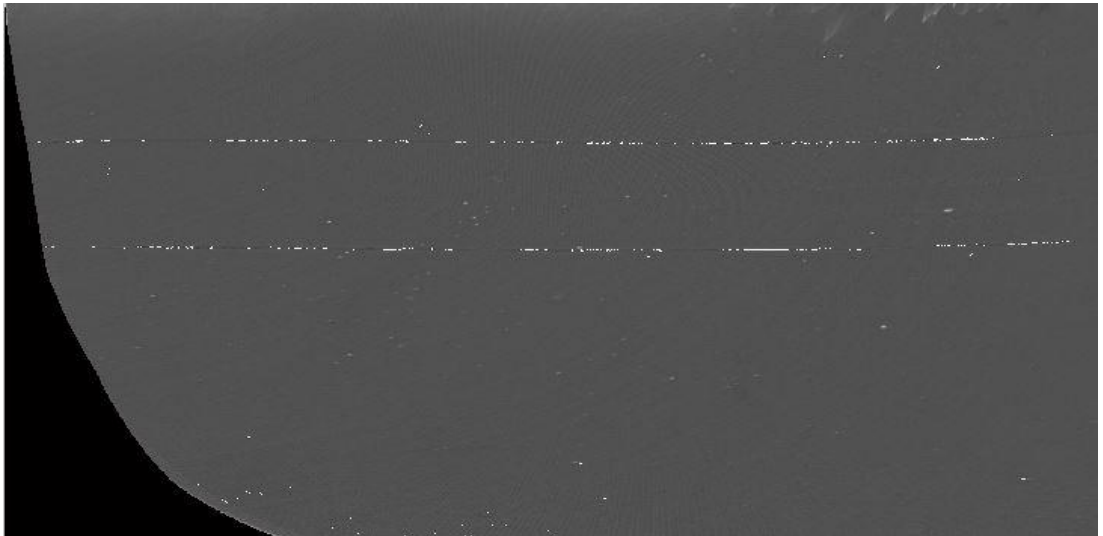
Ayrık kosinüs dönüşümü işleminde piksel bazlı tespit işlemi için ışıklılık değeri eşikleri 50 ve 75 olarak belirlenmiştir.

8x8'lik blok boyutu kullanılarak yapılan ayrık kosinüs dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 7.17'de gösterilmektedir. Katsayılar toplam matrisinde piksel başına toplam katsayı oranı 10,9'dan büyük 11,7'den küçük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



Şekil 7.17. 8x8 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

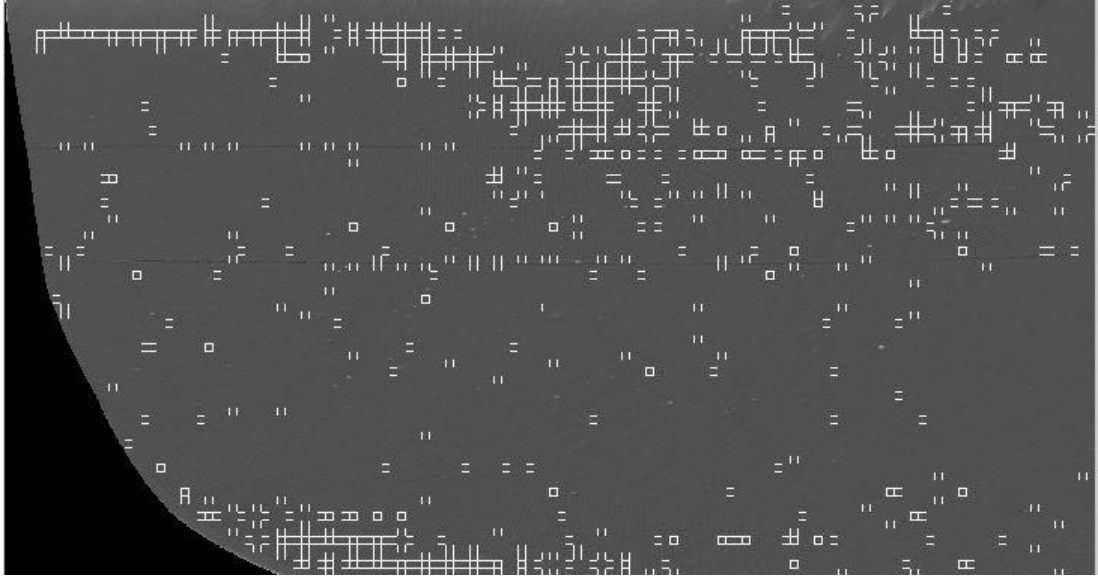
Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri 50'den büyük 75'den küçük olanlar hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 7.18'de piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



Şekil 7.18. 8x8 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

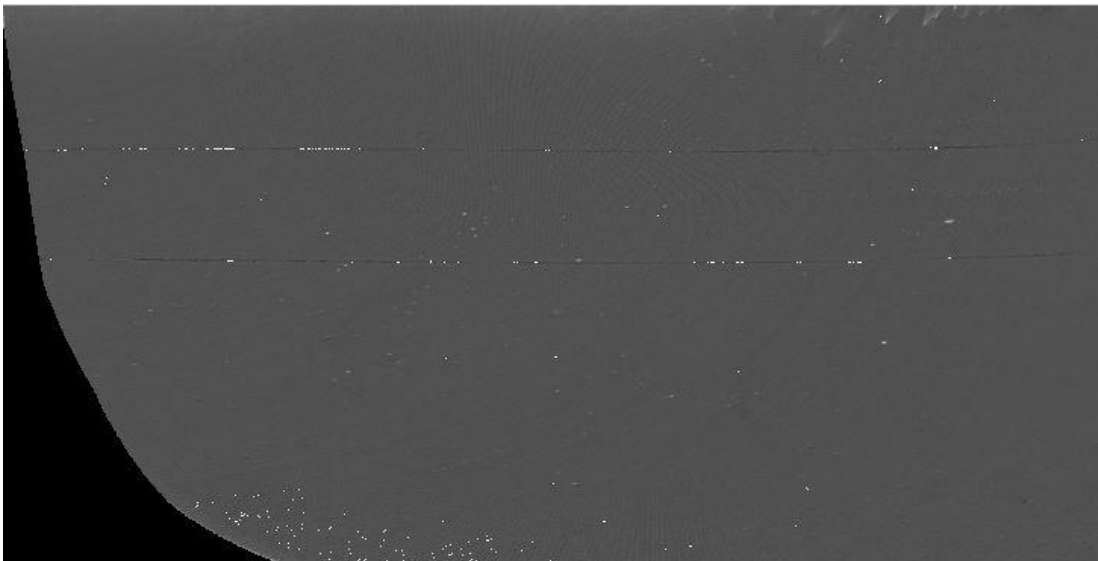
16x16'lık blok boyutu kullanılarak yapılan ayrık kosinüs dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 7.19'da gösterilmektedir.

Katsayılar toplam matrisinde piksel başına toplam katsayı oranı 5,6'dan büyük 5,8'den küçük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



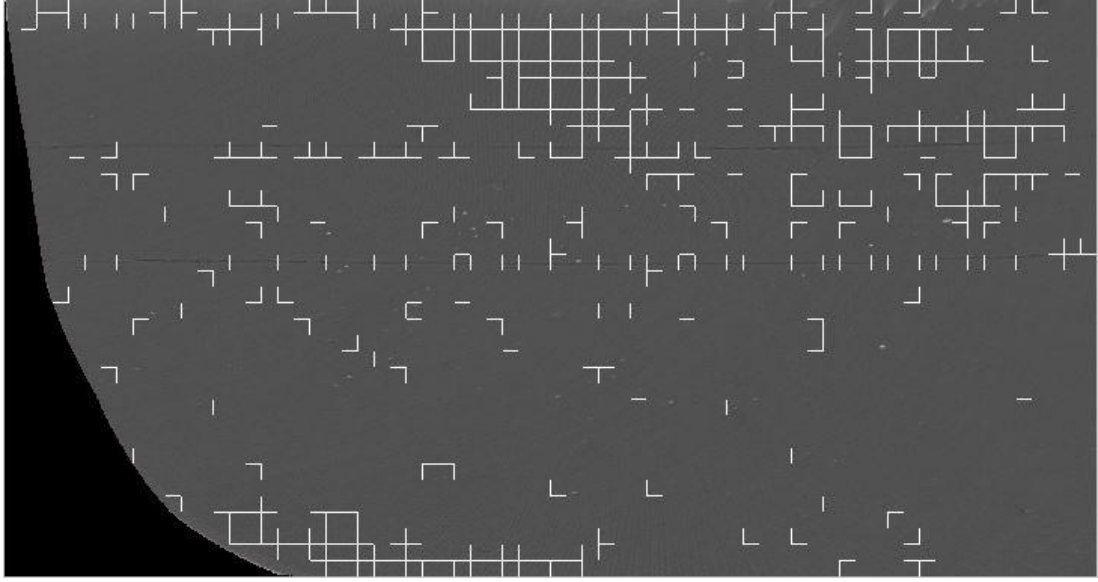
Şekil 7.19. 16x16 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri eşik değerlerini sağlayan pikseller hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 7.20'de piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



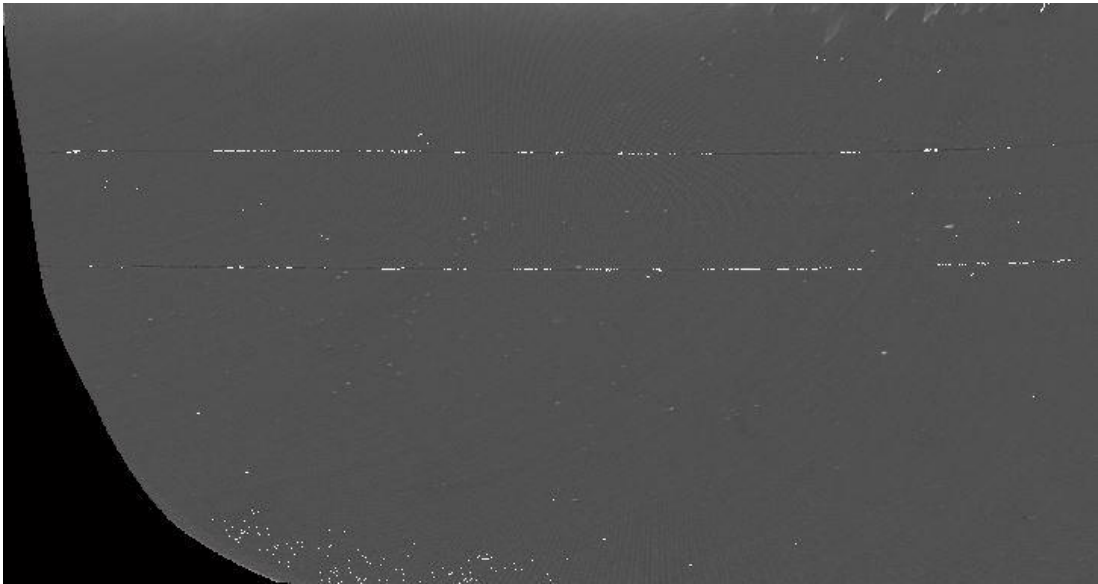
Şekil 7.20. 16x16 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

32x32'lik blok boyutu kullanılarak yapılan ayrık kosinüs dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 7.21'de gösterilmektedir. Katsayılar toplam matrisinde piksel başına toplam katsayı oranı 3,1'den büyük 3,4'ten küçük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



Şekil 7.21 32x32 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

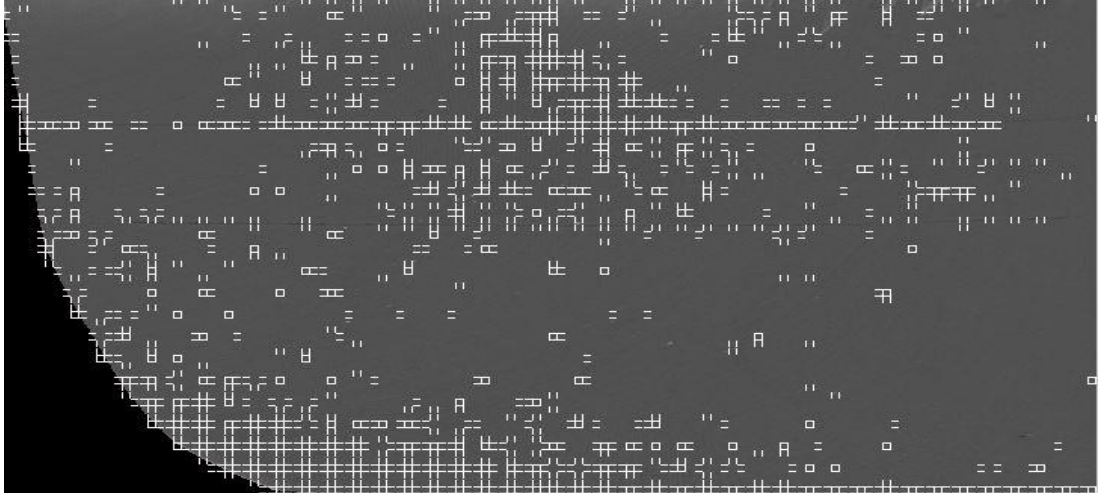
Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri eşik değerlerini sağlayan pikseller hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 7.22'de piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



Şekil 7.22 32x32 blok boyutlu ayrık kosinüs dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

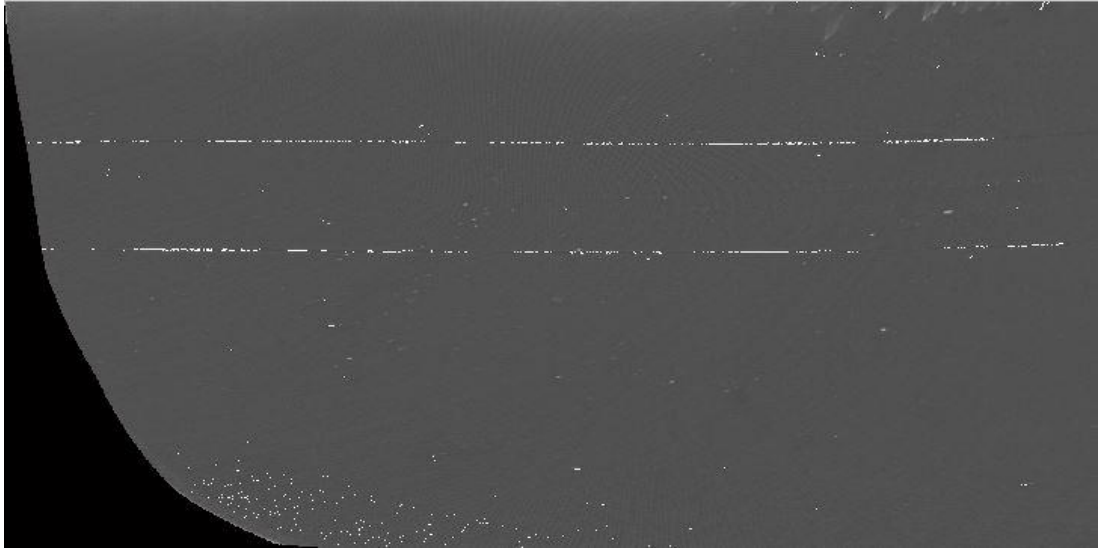
Şekil 7.16’da gösterilen test imgesi için gerçekleştirilen ridgelet dönüşümünde, piksel bazlı tespit işlemi için ışıklılık değeri eşikleri 50 ve 75 olarak belirlenmiştir.

16x16’lık blok boyutu kullanılarak yapılan ridgelet dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 7.23’te gösterilmektedir. Ridgelet dönüşüm sonucu hesaplanan blok enerjileri matrisinde piksel başına enerji oranı 390’dan büyük olanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



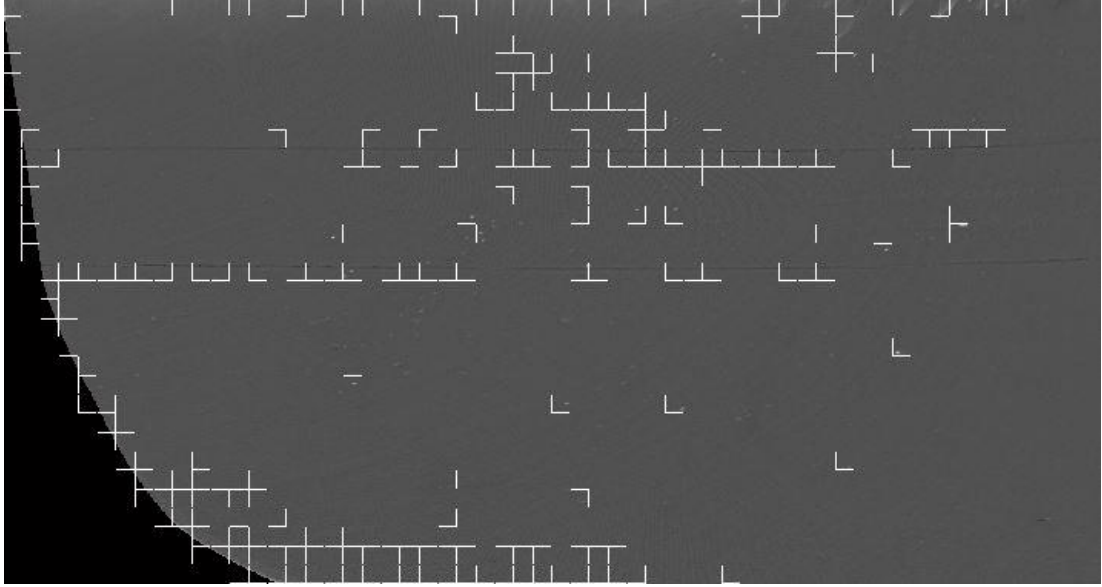
Şekil 7.23. 16x16 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri 50’den büyük 75’den küçük olanlar hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 7.24’te piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



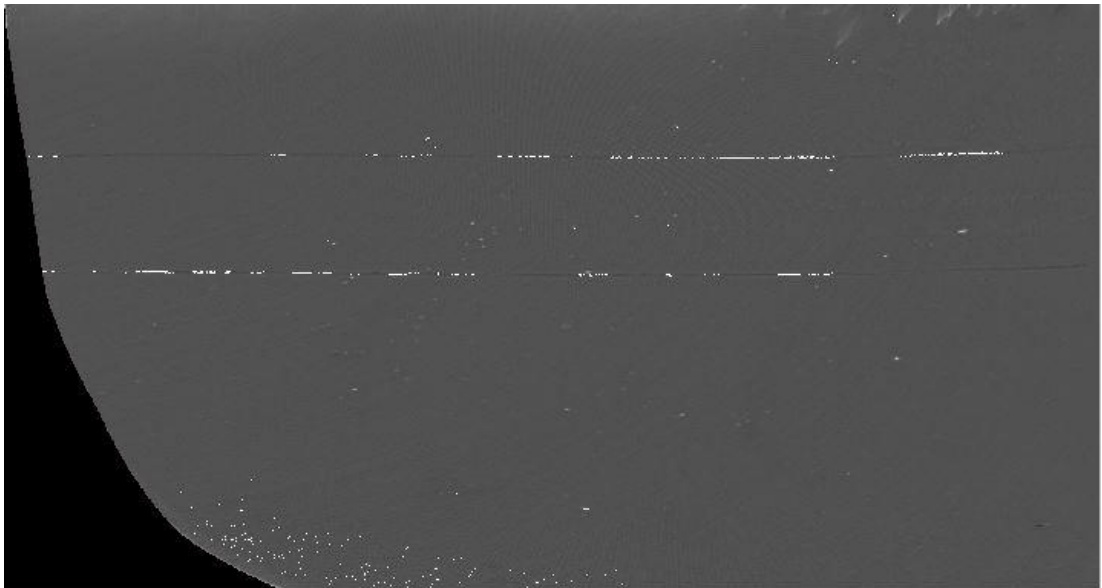
Şekil 7.24. 16x16 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

36x36'lık blok boyutu kullanılarak yapılan ridgelet dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 7.25'te gösterilmektedir. Ridgelet dönüşüm sonucu hesaplanan blok enerjileri matrisinde piksel başına enerji oranı 77'den büyük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



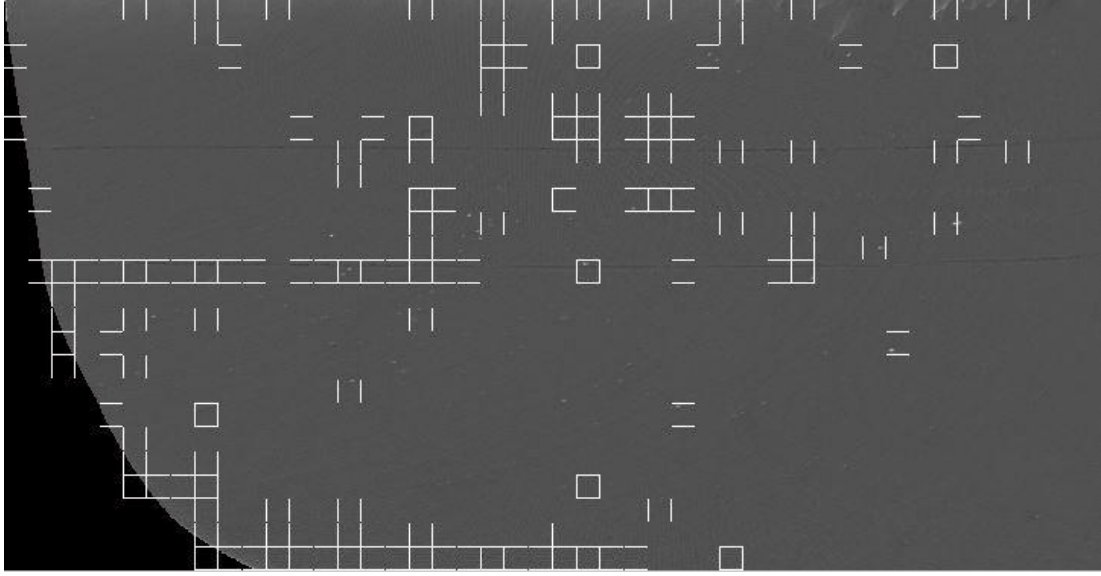
Şekil 7.25. 36x36 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri eşik değerlerini sağlayan pikseller hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 7.26'da piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



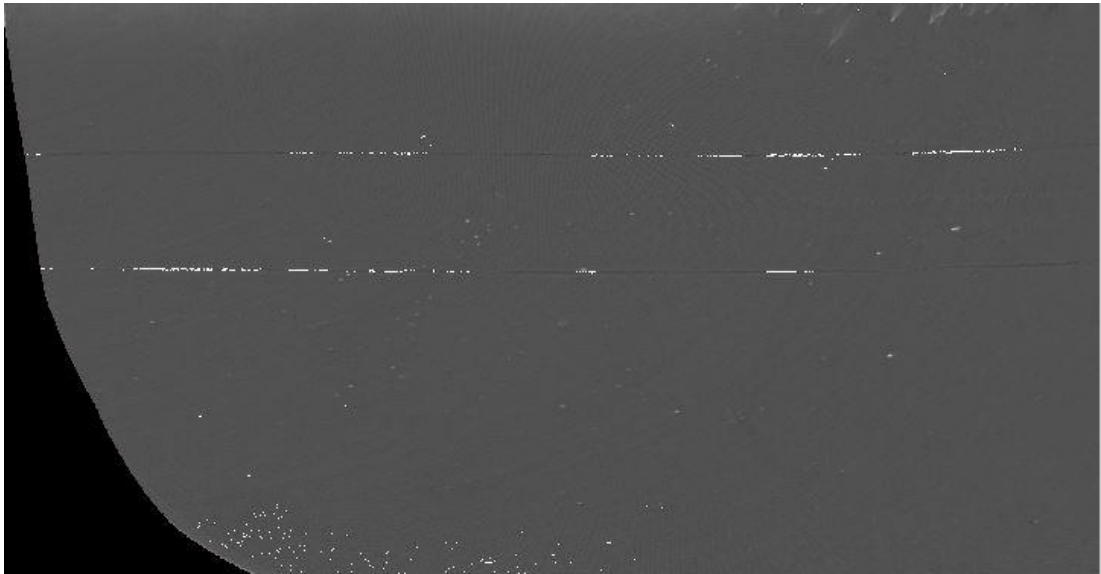
Şekil 7.26. 36x36 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

46x46'lık blok boyutu kullanılarak yapılan ridgelet dönüşüm sonucunda tespit edilen bloklar Şekil 7.27'de gösterilmektedir. Ridgelet dönüşüm sonucu hesaplanan blok enerjileri matrisinde piksel başına enerji oranı 70'den büyük olan elemanlar hatalı blok olarak işaretlenmiştir.



Şekil 7.27. 46x46 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen bloklar

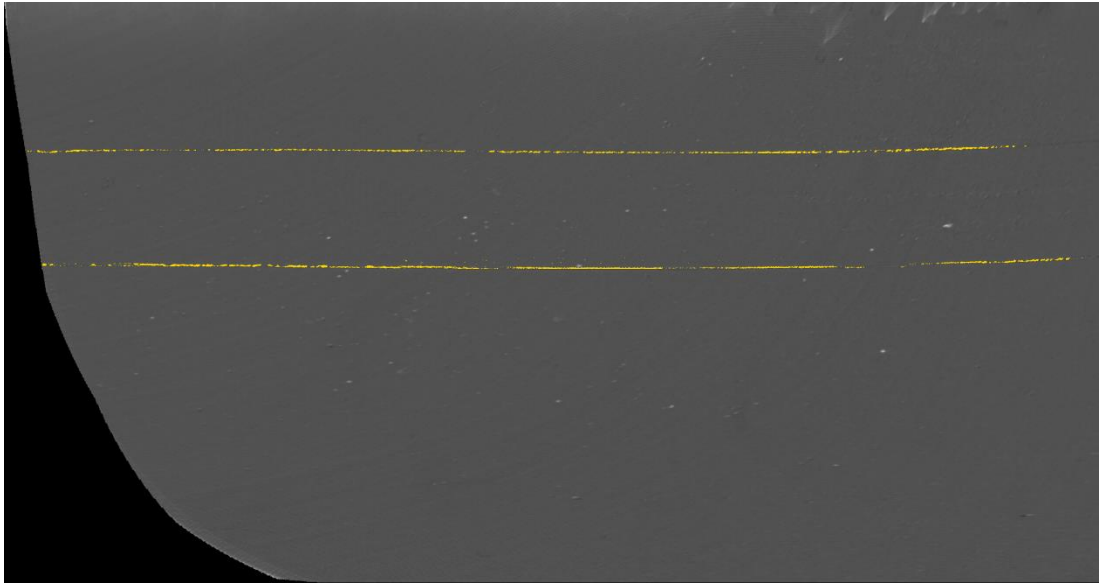
Tespit edilen bloklar içerisinde tüm pikseller taranarak ışıklılık değeri eşik değerlerini sağlayan pikseller hatalı pikseller olarak işaretlenmiştir. Şekil 7.28'de piksel bazlı tespit sonucu gösterilmektedir.



Şekil 7.28. 46x46 blok boyutlu ridgelet dönüşümü sonucu tespit edilen pikseller

Sonuçlar incelendiği zaman ince çizgisel hatanın tespitinde iki yönteminde çok başarılı olmadığı görülmektedir. Hatalı olmayan pikseller de hatalı olarak tespit edilmiştir.

Tez kapsamında geliştirilen ışıklılık uzayında eğri uydurma temelli tespit algoritmasının sonucu Şekil 7.29'da verilmiştir. Bu tespit sonucunun da ayrık kosinüs dönüşümü ve ridgelet dönüşümü sonuçlarından daha doğru sonuç verdiği görülmektedir.



Şekil 7.29. Eğri uydurma temelli tespit algoritması sonucu

Tez kapsamında gerçekleştirilen yöntem literatürdeki farklı yöntemlerle karşılaştırıldığında tespit sonuçlarının daha başarılı olduğu görülmektedir. Karşılaştırma sonucunda farklı hataların doğru tespit oranlarının diğer yöntemlere göre oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Silecek silme kalitesi ve değerlendirmesi konusunda literatür taraması yapılarak daha önce bu konuda bir çalışma yapılmadığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu tez çalışması kapsamında geliştirilen yöntemler bu konuda yapılan ilk çalışmalardır ve silecek kalitesinin ölçümü değerlendirilmesi konusunda objektif sonuçlar sunmaktadır.

Bu tez kapsamında, silecek silme kalitesinin ölçümü ve değerlendirilmesi için görüntü işleme temelli bir sistem geliştirilmiştir. Silecek bozukluklarından kaynaklanan hatalı bölgeleri tespiti ve analizi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Kameradan alınan görüntülerde görüntü işleme ile tespit işlemlerine hazır hale getirilmişler. Bu ön işlemler ile ortam değerlerinin tespit işlemleri üzerindeki etkisi azaltılmaya çalışılmıştır.

Bu tez kapsamında, literatürde doku analizi için kullanılan çeşitli yöntemler araştırılmış ve bu yöntemler silecek hatası tespiti için denenmiştir. Bu amaçla ayırık kosinüs dönüşümü ve ridgelet dönüşümü tespit imgelerine uygulanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Bu tez kapsamında, 5. dereceden gürbüz eğri uydurma temelli hata tespit yöntemi geliştirilmiştir. Tespit edilen hatalar uluslararası normlara göre sınıflandırılarak, silecek kalite değerlendirilmesi konusunda objektif sonuçlar elde edilmiştir. Önerilen yöntem farklı silecek hataları içeren görüntüler için test edilmiş ve deneysel sonuçlar ile tespit performansının başarılı olduğunu gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.peugeotmarket.com/PEUGEOT-206-ON-SILECEK-FREZE-MEKANIZMASI,PR-2161.html> (Ziyaret tarihi: 30 Aralık 2013).
- [2] <http://www.alliedvisiontec.com/us/products/cameras/gigabit-ethernet/prosilica-ge/ge4900.html> (Ziyaret tarihi: 10 Haziran 2013).
- [3] <http://www.dpreview.com/news/2009/9/14/carlzeiss18mm> (Ziyaret tarihi: 20 Aralık 2013).
- [4] http://www.casio-intl.com/tr/tr/projector/standard/xj_m250/spec/ (Ziyaret tarihi: 28 Aralık 2013).
- [5] http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/ (Ziyaret tarihi: 19 Haziran 2013).
- [6] <http://e-bergi.com/2011/Ocak/goruntu-donusumleri/> (Ziyaret tarihi: 19 Haziran 2013).
- [7] Chernov N., *Circular and linear regression fitting circles and lines by least squares*, A Cahpman & Hall Book., New York, 2011.
- [8] Sezgin M., Sankur B., Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation, *Journal of Electronic Imaging*, 2004, **13**, 146-165.
- [9] Cheng Z., Zhang T., Yan L., Thresholding using two-dimensional histogram based on local entropy, *2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (CAR)*, Wuhan, China, 6 - 7 March 2010.
- [10] Gabarra E., Tabbone A., Combining global and local threshold to binarize document of images, *Pattern recognition and image analysis, Lecture Notes in Computer Science*, 2005, **3523**, 173-186.
- [11] Bourjandi M., Image Segmentation using thresholding by local fuzzy entropy-based competitive fuzzy edge detection, *Second International Conference on Computer and Electrical Engineering (ICCEE 2009)*, Dubai, United Arab Emirates, 28-30 December 2009.
- [12] Savakis A., Adaptive document image thresholding using foreground and background clustering, *International Conference on Image Processing (ICIP 98)*, Chicago, Illinois, 4-7 October 1998.

- [13] Besari A. R. A., Zamri R., Rahman K. A. A., Palil M. D. M., Prabuwno A. S., Surface defect characterization in polishing process using contour dispersion, *International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition (SOCPAR '09)*, Malaysia, 4-7 December 2009.
- [14] Tolba A. S. , Khan H. A., Raafat H. M., Automated visual inspection of flat surface products using feature fusion, *IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT)*, Ajman, United Arab Emirates, 14-17 December 2009.
- [15] Chao S-M., Tsai D-M., Li W-C., Chiu W-Y., A generalized anisotropic diffusion for defect detection in low-contrast surfaces, *20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2010)*, Istanbul, Turkey, 23-26 August 2010.
- [16] Borselli A., Colla V., Vannucci M., Veroli M., A fuzzy inference system applied to defect detection in flat steel production, *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ 2010)*, Barcelona, Spain, 18-23 July 2010.
- [17] Chan C., Grantham K.H., Fabric defect detection by fourier analysis, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2000, **36**, 1267-1276.
- [18] Kumar A., Computer-Vision-Based Fabric Defect Detection: A Survey, *IEEE Transactions on Industry Electronics*, 2008, **55**, 348–363.
- [19] Kumar A., Pang K. H., Defect detection in textured materials using gabor filters, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2002, **38**, 425–440.
- [20] Lambert G., Bock F., Wavelet methods for texture defect detection, *IEEE International Conference on Image Processing*, California, USA, 26-29 October 1997.
- [21] Rebhi A., Abid S., Texture defect detection with combined local homogeneity analysis and discrete cosine transform, *Electronics, Communications and Photonics Conference (SIEPC)*, Riyadh, United Arab Emirates, 27-30 April 2013.
- [22] Rust A. G., Bolouri H., Zhengjun P., Image redundancy reduction for neural network classification using discrete cosine transforms, *Proceedings of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference*, Como, Italy, 24-27 July 2000.
- [23] Özparlak L., Avcıbaş İ., Sonlu ridgelet dönüşümü ile sayısal imgelerde adli kamt toplama, *IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference*, Antalya ,Turkey, 9-11 April 2009.
- [24] Zhang W-H., Liu T-Y., Polysilicon slice dislocation defects segmentation and area statistics based on curve fitting, *2013 Fourth International Conference on Digital Manufacturing and Automation (ICDMA)*, Qingdao, China, 29-30 June 2013.

- [25] Guo-sheng X., The applicaion of curve fitting fechnique in fabric defect detection, *2nd International Conference on Signal Processing Systems (ICSPPS)*, Dalian, China, 5-7 July 2010.
- [26] Watson A. B., Image compression using the discrete cosine transform, *Mathematica journal*, 1994, **4**, 81–88.
- [27] http://www.cadcamcmm.com/wpcontent/uploads/downloads/2012/11/egri_uyd_uma.pdf (Ziyaret tarihi: 4 Mayıs 2013)
- [28] <http://www.mathworks.com/help/> (Ziyaret tarihi: 15 Kasım 2013).

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 2007 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 2011 yılında Elektronik ve Haberleşme Mühendisi olarak mezun oldu. 2011 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2011 yılının ikinci döneminde geçiş yaptığı Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitime devam etmektedir. Lisans eğitimi sırasında Prof. Dr. Sarp Ertürk ile birlikte MSP430 ile kablosuz haberleşme uygulaması üzerine çalıştı.