

**DEMİRYOLLARINDA RAY PROFİL ANALİZİ İÇİN
ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜ İŞLEME**

Gülşah KARADUMAN

**Yüksek Lisans Tezi
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Erhan AKIN
TEMMUZ-2013**

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEMİRYOLLARINDA RAY PROFİL ANALİZİ İÇİN
ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜ İŞLEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülşah KARADUMAN

(091129108)

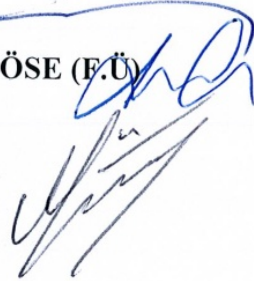
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Temmuz 2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Temmuz 2013

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erhan AKIN (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE (F.Ü)

Doç. Dr. Arif GÜLTEN (F.Ü)



ÖNSÖZ

Bu tezde, ray profil analizi ile raylarda meydana gelen veya gelebilecek aşınma ve bozulmaları tespit eden, görüntü işleme teknikleri, lazer teknolojileri ve akıllı hesaplama teknikleri kullanan algoritmalar gerçekleştirilmiştir. Yaptığım bu tez çalışmasıyla çok büyük bütçeler gerektiren ray profil analizine eldeki imkanları kullanarak geliştirilmeye açık yöntemler geliştirdiğimi düşünmekteyim. Yaptığım çalışmanın konuyla ilgilenenlere bir yön vermesini dileyerek donanımsal olarak çalışmalarımı maddi açıdan destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

Akademik hayatım boyunca bilgi ve önerileriyle beni yönlendiren, maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen danışman hocam, Prof. Dr. Erhan AKIN' a, akademik çalışmayı bana öğreten, tüm çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen, her vazgeçtiğimde beni motive edip yeniden ayaklandıran hocam, Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE' ye teşekkür ederim.

Dualarıyla ve destekleriyle benim ayakta kalmamı sağlayan aileme, hayatın her alanında sırtımı dayadığım, her türlü sıkıntıda yardımını esirgemeyen, iyi ve kötü günlerimi paylaştığım sevgili eşime teşekkür ederim.

Gülşah KARADUMAN

ELAĞIĞ – 2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Demiryolu Hattına Dair Bazı Kavramlar	5
1.2. Literatür Özeti.....	8
1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı	14
1.4. Tezin Yapısı.....	15
2. DEMİRYOLLARINDA RAY PROFİL ANALİZİ.....	17
2.1. Ray Aşınmaları	18
2.2. Ray Kırılmaları	20
2.3. Raylarda Apletlik (Oyulma) Arızaları.....	21
2.4. Raylarda Ondülasyon Arızaları.....	22
2.5. Raylarda Headcheck Arızaları.....	22
3. DEMİRYOLLARINDA TEMASSIZ DURUM İZLEME.....	23
4. GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI RAY PROFİL ÖLÇÜM ALGORİTMASI.....	27
4.1. Önerilen Yöntem.....	27
4.2. Deneysel Sonuçlar.....	32
4.3. Bölüm Değerlendirmesi.....	35

5. RAY PROFİL ÖLÇÜMÜ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI DENEYSEL BULANIK TEŞHİS ALGORİTMASI	37
5.1. Önerilen Yaklaşım	38
5.2. Görüntü İşleme ve Filtreleme	38
5.3. Kullanılan Bulanık Sistemin Tasarımı	41
5.4. Deneysel Sonuçlar	43
5.5. Bölüm Değerlendirmesi	46
6. RAY ARIZALARININ TEŞHİSİ İÇİN DENEYSEL BİR YAKLAŞIM.....	49
6.1. Önerilen Yöntem	49
6.2. Deneysel Sonuçlar	54
6.3. Bölüm Değerlendirmesi	57
7. SONUÇLAR.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ	67

ÖZET

Kullanım sıklığı ve tren hızlarının artmasına bağlı olarak, demiryollarında güvenlik ve konfor raylı taşımacılık için her geçen gün daha fazla önem taşımaktadır. Güvenliğin sağlanması, işletme maliyeti ve bakım masraflarının düşürülmesi için yol ve raylardaki bozulmaların teşhis edilmesi gerekir. Demiryollarında raylara ait hata tespiti için temaslı ölçüm teknikleri kullanılmaktadır. Temaslı algılama sistemlerinin düşük hassasiyeti ve doğruluk seviyesi günümüz modern demiryolu gereksinimlerini karşılayamadığından demiryollarında gelişmiş teknolojiler ile beraber temassız algılama teknikleri kullanılmaktadır.

Bu tezde kamera ve lazer teknolojileri kullanılarak ve üç boyutlu görüntü işleme algoritmaları geliştirilerek temassız ray profil ölçümü yapılmaktadır. Lazer kamera ile raydan alınan görüntüler işlenerek arızalı bölgelerin tespit edilmesi, yine lazer kamera ile alınan mesafe ve koordinat verileri ile arızanın olup olmadığı garantilenmektedir. Lazer teknolojileri ile elde edilen mesafe ve koordinat verileri ile lazer ışınların rayın şekline göre kırılması kamera ile elde edilen iki boyutlu görüntüye üçüncü bir boyut kazandırmaktadır. Bu şekilde raya ait derinlik bilgisi elde edilmektedir. Gerçekleştirilen uygulamalarda görüntüye dair gürültüler gaussian ve medyan filtreleme teknikleri uygulanarak yok edilmektedir. Gürültüden arındırılan görüntülerden faydalı veri elde edebilmek için Watershed dönüşümü gibi dönüşümler, Roberts, Canny, Prewitt gibi kenar çıkarma teknikleri ve Boundary Detection gibi sınır algılama teknikleri uygulanmaktadır. Derinlik verileri ve görüntü verileri bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi akıllı hesaplama teknikleri ile sınıflandırılmaktadır. Geleneksel izleme ve kontrol yöntemlerine karşılık rayların temassız izlenmesi, böylece izlemeden dolayı herhangi bir aşınmanın olmaması için görüntü işleme tekniği tabanlı ray profil analizi yapılmaktadır. Günümüz koşullarında bir ray hattının sadece ölçüm işlemine harcanan maliyetlerin çok yüksek olduğu düşünüldüğünde daha düşük maliyetlerle ray profil analizi yapılacağına dair bir başlangıç adımı sağlanmaktadır. Bu tez ile demiryollarındaki ölçüm sistemleri konusunda bilgi birikiminin oluşması, başka tezler ve çalışmalara yön vermesi, son derece pahalı olan demiryolu ölçüm sistemlerinde maliyetlerin düşürülmesi kısmen de olsa sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ray Profil Analizi, Görüntü İşleme, Temassız Bakım, Akıllı Hesaplama Teknikleri, Demiryolları

SUMMARY

Three Dimensional Image Processing for Analysis of Rail Profile In The Railways

Depending on increase of speed of trains and frequency of use, security at railways and comfortable rail transport has importance each passing day. It is required to identify the impairment of road and rails to provide security and decrease operating cost and maintenance cost. Contact measurement techniques are used for error detection on railways tracks. Because low level of sensitivity and accuracy of the contact sensing systems do not meet the requirements of today's modern railway, the non-contact sensing techniques are used in conjunction with advanced technologies at the railways.

In this thesis, the cameras and laser technologies are used, and a three-dimensional image processing algorithms are developed and measurement of non-contact rail profile is made. The images taken from rail is processed with the laser camera, and this guarantees detection of faulty regions, and whether or not there is fault with distance and coordinate data taken with laser camera. The distance obtained with laser technology and refraction of laser beams according to the shape of rail with coordinate data gains third dimension to the two dimensions obtained with camera. The depth knowledge of rail is obtained in this way. The noises for image in realized applications are applied Gaussian and median filtering techniques and are eliminated. For obtainment of beneficial data from images purified from noise, conversions like Watershed conversion apply Edge detection methods such as Roberts, Canny, Prewitt, and Boundary detection techniques such as Boundary Detection are applied. Depth data and image data are classified with intelligent computing techniques such as fuzzy logic and artificial neural networks.

In this thesis, the image processing technique based ray profile analysis is made for non-contact monitoring of the rails despite the traditional methods of monitoring and control methods. When considering high spent costs for the measurement of rail line in today's climate, an initial step in making rail profile analysis with lower costs is provided in this thesis. This thesis provides the formation of knowledge about measurement systems in rail, guides dissertations and other studies, and at least partly reduces costs which are extremely expensive in railway measurement systems.

Keywords: Rail Profile Analysis, Image Processing, Non-contact maintenance, Intelligent Computing Techniques, Railways

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. El ile Ölçüm için Ray Profil Ölçüm Aleti	2
Şekil 1.2. Yenilikçi Yaklaşımların Genel Çatısı	3
Şekil 1.3. Rayın Bölümleri.....	5
Şekil 1.4. Rayın Geometrik Yapısı.....	5
Şekil 1.5. Balast ve Travers.....	6
Şekil 1.6. Makas	7
Şekil 1.7. Kurp.....	7
Şekil 1.8. Ray Aşınmasının Ölçümü İçin Önerilen Yöntemin Blok Diyagramı	8
Şekil 1.9. Algılama Sistemi.....	11
Şekil 2.1. Ray Aşınmasının Pozitif Boyutu	20
Şekil 2.2. Ray Kırılması.....	21
Şekil 2.3. Raylarda Apletlik Arızası.....	21
Şekil 2.4. Ondülasyon Arızası.....	22
Şekil 3.1. Temaslı Ultrasonik Ölçüm Aracı.....	23
Şekil 3.2. Temassız Ölçüm Aracı.....	24
Şekil 4.1. Önerilen Yöntemin Blok Diyagramı.....	28
Şekil 4.2. Lazer Metre ile Mesafe Verisi Elde Etme	29
Şekil 4.3. Tasarlanan YSA'nın Yapısı.....	29
Şekil 4.4. Görüntü İşleme Adımları.....	30
Şekil 4.5. Görüntünün Bölgelere Ayrılmış Hali.....	30
Şekil 4.6. Giriş Değişkenleri İçin Üyelik Fonksiyonları	31
Şekil 4.7. Bulanık Sınıflandırıcının Çıkışı(y) İçin Üyelik Fonksiyonları.....	31
Şekil 4.8. Lazer Metre ile Sağlam Bir Ray ve Arızalı Bir Raydan Elde Edilen Mesafe Verileri	33
Şekil 4.9. Mesafe Verilerine Ait Açılış Bilgileri	33
Şekil 4.10. Yapay Sinir Ağının Eğitim Performansı	34
Şekil 4.11. YSA'nın Test Verilerine Ürettiği Çıkış.....	34
Şekil 4.12. Bulanık Sınıflandırıcının Ürettiği Çıkış	35
Şekil 5.1. Önerilen Yöntemin Blok Diyagramı.....	38
Şekil 5.2. Açılış ve Mesafe Verilerinin Elde Edilmesinin Gösterimi	38
Şekil 5.3. Görüntü İşleme Adımları.....	39
Şekil 5.4. Çizgi Görüntüsünden y Koordinatlarının Elde Edilmesi	40
Şekil 5.5. Üyelik Fonksiyonları.....	42
Şekil 5.6. Deneysel Düzenek.....	43
Şekil 5.7. Çizgi Görüntüsüne Ait y Koordinat Değerleri.....	44
Şekil 5.8. Ölçülen Mesafe Değerleri.....	44
Şekil 5.9. Ölçüm Yapılan Açılış Değerleri.....	45
Şekil 5.10. Bulanık Sistemin Çıkışı.....	45
Şekil 5.11. Ray Profil Çıkarımı için Kullanılan Yaklaşım	46
Şekil 5.12. Deney Düzenek.....	47
Şekil 6.1. Önerilen Yöntemin Blok Diyagramı.....	50
Şekil 6.2. Rayın Lazer Işınlarla Taranması.....	50

Şekil 6.3. Önerilen Yöntem İçin Geliştirilen Deney Düzenekinin Blok Diyagramı.....	55
Şekil 6.4. Ray Görüntüsüne Uygulanan Görüntü İşleme Teknikleri Sonucu Rayın Yeni Görüntüsü	56
Şekil 6.5. Her Bir Görüntüye Ait Siyah Piksel Sayısını İçeren Veriler.....	57
Şekil 6.6. Lazer Tarayıcılı Kamera.....	57
Şekil 6.7. Demiryolu Cari Hattından Görüntü Alınması	58
Şekil 7.1. Ray Profil Ölçüm Sisteminin Genel Blok Diyagramı.....	60

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Profillerine Göre Rayların Sınıflandırılması.....	6
Tablo 1.2. Ray Profil Analiz Yöntemlerinin Literatür Sınıflandırması	13
Tablo 4.1. Kural Tablosu	32
Tablo 5.1. Bulanık Sistem İçin Kural Tablosu	42
Tablo 5.2. Literatürdeki Çalışmalar ile Önerilen Yaklaşımın Karşılaştırılması	48
Tablo 6.1. Özellik Çıkarımı İçin Algoritma	54
Tablo 7.1. Yöntemlerin Karşılaştırılması	60

KISALTMALAR

UIC : Dünya Demiryolları Birliği
YSA : Yapay Sinir Ağları
TCDD : Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları

1. GİRİŞ

Demiryolları yük taşıma alanlarının büyük olması, güvenli olması, yönetiminin kolay olması, çevreye daha az zarar vermesi sebebiyle Türkiye’ de ve dünyada önemli ulaşım yollarını oluşturmaktadır. Özellikle hızlı trenler gün geçtikçe yaygınlaşmakta ve bu yaygınlaşma ulaşımında güvenliğin önemini oldukça arttırmaktadır. Günümüzde hızı 350 km’ ye kadar ulaşabilen hızlı trenler düşünülürse demiryollarının en önemli bileşenleri olan raylarda oluşabilecek bir bozulma hem maddi hem de manevi büyük zararlara sebep verebilecektir [1]. Bu sebeple rayların izlenmesi, denetimi ve bakımı oldukça önemlidir. Rayların periyodik olarak kontrolü demiryolu işletmelerine güvenlik garantisi ve düşük bakım maliyeti sağlayacaktır.

Demiryolu ulaşımı bakımından dünya standartlarının oldukça gerisinde olan ülkemizde yaklaşık 11.000 km demiryolu hattı bulunmaktadır. Ülkemizdeki demiryollarının uzunluğunun önümüzdeki 25 yıl içerisinde 11.000 km’den 25.000 km’ye çıkarılması planlanmaktadır. Bu değerler demiryollarının gün geçtikçe daha da önem kazanacağını göstermektedir. Demiryollarının önemi arttıkça ve kullanımı yaygınlaştıkça demiryollarında güvenlik çok daha önemli olacaktır [2]. Raylar demiryollarının en önemli bileşenlerini oluşturmaktadır. Demiryollarında tren tekerleklerinin sürtünmelerinden kaynaklı olarak raylarda aşınmalar olmaktadır. Bu aşınmaların zaman içerisinde artması ulaşım güvenliği tehlikesine, ray-tekerlek ilişkisinin bozulmasına, yoldan çıkma kazalarının oluşmasına, ray-tekerlek ilişkisinde demir-demir sürtünmesinin artması ile ciddi enerji kayıplarının meydana gelmesine ve sürtünme kaynaklı titreşim ve gürültü artışlarına sebep olmaktadır [3]. Ciddi maliyetlere sebep olan bu durumların önüne geçerek gerekli bakım ve onarımın yapılmasının sağlanması için periyodik olarak ray profil analizlerinin yapılması gereklidir. Demiryolu hatlarının hem periyodik bakımlarının yapılması için hem de hatlarda oluşacak aşınma, bozulma ve arızaların erkenden tespiti için rayların sürekli ölçülmesi gerekmektedir. Arızaların erkenden tespit edilmesi düşük bakım maliyeti sağlayacak ve güvenliği ve konforu garanti edecektir [4]. Bu açıdan rayların kontrolü için gerekli ölçüm sistemlerinin geliştirilmesi ve gerçekleştirilmesi son derece önemlidir.

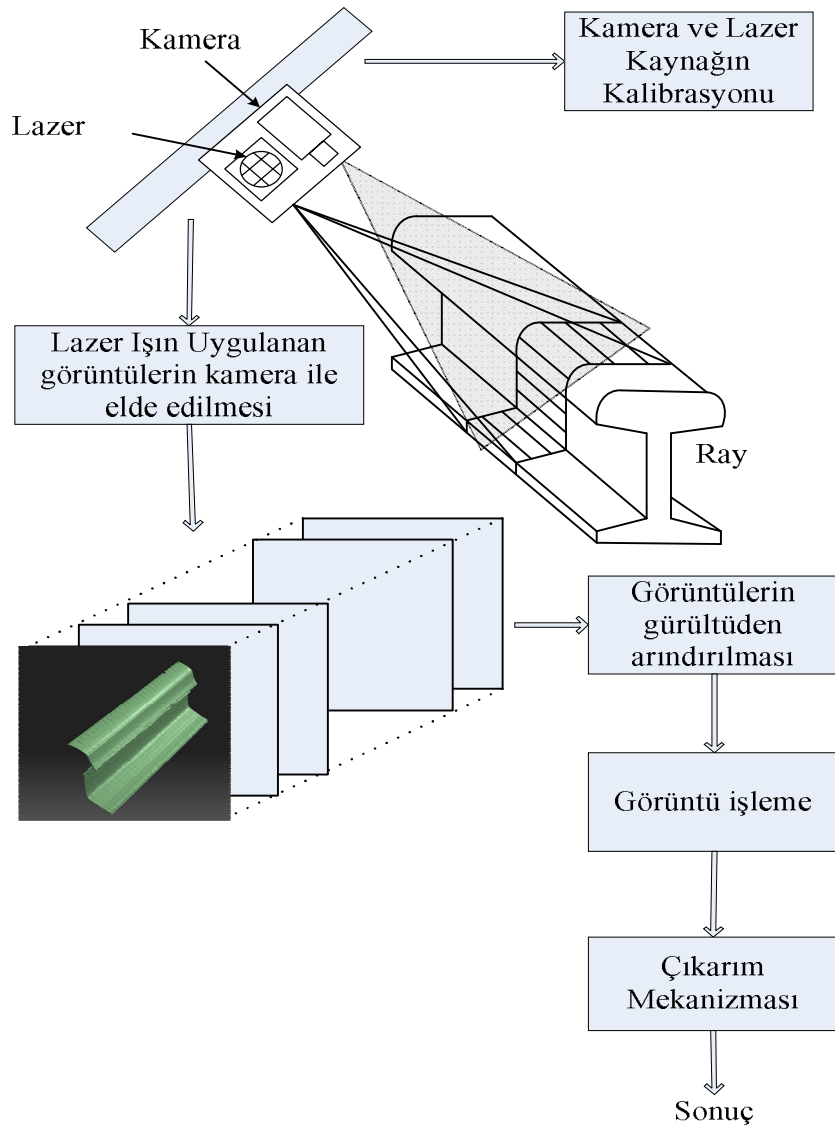
Rayların kontrolü demiryollarının bakımında büyük önem arz etmekte ve düzenli olarak yapılması gerekmektedir [5]. Geleneksel yöntemlerle rayların izlenmesi ve denetimi bir uzmanın rayları kontrol etmesiyle gerçekleştirilmektedir. Uzmanın ray boyunca bir araçla veya yürüyerek rayları gözleri ile izlemesi şeklinde gerçekleştirilen bu yöntemde uzman rayın aşınıp aşınmadığına veya arızanın olup olmadığına kendi kriterleri çerçevesinde karar vermektedir. Bu yöntemde rayların kontrolü uzmanın görebildiği ile sınırlı olmakta ve uzmanın kriterlerine göre değişim göstermektedir. Bunun yanında insan kaynağı gerektirmekte ve yavaş olmaktadır. Günümüzde bile kullanılan başka bir geleneksel yöntem ise Robel-A, Robel-B veya SKM olarak adlandırılan ray profil ölçüm aletleri ile rayların ölçülmesidir. Bu alet Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. El ile ölçüm için ray profil ölçüm aleti [6].

Bu alet ile raylardaki yanal ve düşey aşınmalar tespit edilmektedir. Bu alet ile ölçüm yapabilmek için aletin raya uygun şekilde yerleştirilmesi ve rayın altındaki balastların temizlenmesi gerekmektedir. Bu ölçüm yöntemi her alandaki ray için gerçekleştirilememektedir. Aynı zamanda bu yöntemde insan kaynağı gerektirmekte ve yavaş olmaktadır. Bir diğer geleneksel yöntemde ise raylar temaslı yöntemlerle kontrol edilmektedir. Raylara temas eden mekanik cihazlar ray boyunca hareket ettirilmektedir. Mekanik cihazların ray ile sürtünmesinden dolayı oluşan şekillere bakılarak ray arızalarına dair grafikler elde edilmektedir. Bu yöntem doğru sonuç vermekte ve hızlı olmaktadır. Fakat bu yöntemin dezavantajı raylar kontrol edilirken temastan kaynaklanan zararlardır. Raya temas eden mekanik cihazlar sağlam olan rayı aşındırabilmekte veya az arızalı rayın arızasını arttırabilmektedir [7]. Geleneksel yöntemlerin bu dezavantajlarından dolayı son yıllarda demiryollarının denetimi görüntü işleme ve lazer teknolojileri kullanılarak

gerçekleştirilmektedir. Bu teknolojiler manüel değildir bu yüzden daha sağlam ve güvenilirdir. İnsan kaynağı gerektirmemektedir. Bu teknolojiler raya temas etmediğinden raya zarar vermemektedir. Daha önemlisi yüksek hızda temassız bakım yapılabilir. Yenilikçi yaklaşım olan lazer teknolojileri ile henüz başlamakta olan ray bozulmaları ve deformasyonlar erkenden algılanmaktadır [8]. Yenilikçi temassız yaklaşımların genel çatısı için bir blok diyagram Şekil 1.2’de verilmektedir.



Şekil 1.2. Yenilikçi yaklaşımların genel çatısı

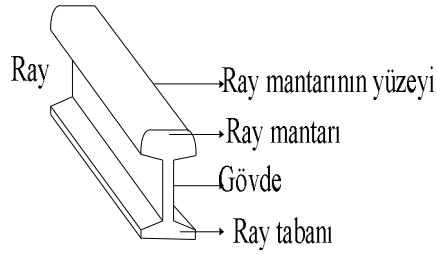
Yenilikçi yaklaşım uygulamalarında görüntü işleme ve lazer teknolojileri kullanılmaktadır. Raya tutulan lazer kaynaktan raya yansıyan lazer ışınlar kırılarak rayın şeklini almaktadır. Rayda oluşmuş herhangi bir aşınma veya bozulma bu lazer ışınların kırılmasını etkilemektedir. Böylece raydaki arıza tespit edilebilmektedir. Raya yansıyan lazer ışınların kırılarak rayın şeklini aldığı görüntüler kamera yardımı ile elde edilmektedir. Bu yüzden kamera ile lazer kaynağın kalibre olması gerekir. Bu teknolojileri kullanan uygulamalardaki en önemli adımlardan biri kamera ile lazer kaynağın kalibrasyonudur. Kamera, rayın lazer ışın yansıtılmış bölgesini görebilecek şekilde belli bir açı ile kalibre edilmektedir.

Kalibre edilen sistem ile elde edilen görüntüler bir veri tabanında tutulmaktadır. Veri tabanında tutulan görüntüler, tren hareketinden, kamera veya lazer kaynağın titreşiminden veya çevresel faktörlerden kaynaklanan gürültülerden arındırılmaktadır. Gürültüden arındırılan görüntüler, kenar çıkarma, filtreleme, sınır algılama ve benzeri gibi görüntü işleme teknikleri ile işlenmektedir. İşlenen görüntülerden özellik çıkarımı yapılarak görüntüler sınıflandırılmaktadır. Bazı uygulamalarda alınan görüntüler direk veri tabanlarında saklanırken bazı uygulamalarda ise görüntü işlenerek ve boyutu küçültülerek saklanmaktadır. Bir başka uygulama da ise görüntüler işlenmekte, işlenmiş görüntüden özellik çıkarılmakta ve bu özellikler saklanmaktadır. Böylece veri tabanında saklanan verinin boyutu küçültülerek daha fazla veri saklanabilmekte ve daha az hafıza alanı kullanılmaktadır.

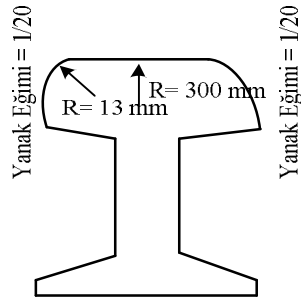
Bazı uygulamalarda raydan alınan görüntülerin yanı sıra lazer metreler kullanılarak kamera ile ray arasındaki uzaklık ile rayın derinlik bilgisi elde edilmektedir. Lazer metreler, lazer ile mesafe ölçmeye yarayan cihazlardır. Lazer ışınlarının yardımı ile mesafeleri ölçmektedir. Raya odaklanan ışıklar lazer metre tarafından yayılmaktadır. Lazer metre raya yansıyan lazer ışınlarının kaynağa tekrar yansması için gerekli zamanı hesaplamaktadır. Işık hızının 300.000 km/sn olarak bilinmesi lazer ışınları ile mesafe ölçmeyi kolaylaştırmaktadır. Raya yansıtılan lazer ışınlar raya çarpıp tekrar kaynağa dönmekte ve bu süre lazer metre ile elde edilmektedir. Bu şekilde $yol = hız \times zaman$ formülü ile ray ve lazer metre arasındaki mesafe ölçülebilmektedir. Eğer rayda herhangi bir aşınma veya bozulma varsa bu değer sağlam raya göre daha büyük olacaktır. Sağlam raydan alınan mesafe değerleri ile ölçülen mesafe değerleri karşılaştırılarak ölçülen rayda arıza olup olmadığı tespit edilebilmektedir.

1.1. Demiryolu Hattına Dair Bazı Kavramlar

Ray, demiryolu araçlarının üzerinde rahat hareket etmelerini sağlamak ve demiryolu araçlarının ağırlık ve etkilerini traverslere iletmek için döşenmiş, kimyasal bileşimi demir, karbon, silis, manganez, fosfor ve kükürt olan çubuklara denmektedir [9]. Raylar mantar, gövde ve taban olarak adlandırılan üç bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler Şekil 1.3’ de gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Rayın bölümleri[10].



Şekil 1.4. Rayın geometrik yapısı

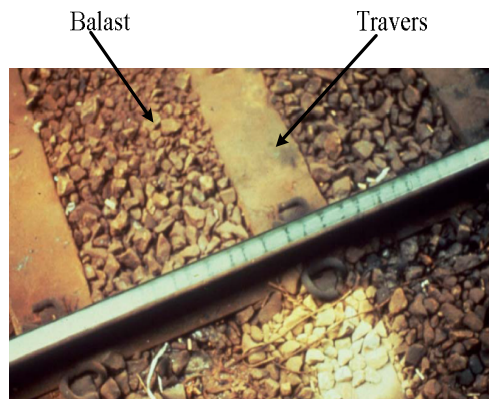
Rayın geometrik yapısı Şekil 1.4’ te verildiği gibidir. Rayın bombelik yarıçapı 200-500 mm arasında değişmektedir. Mantar yanaklarının eğimi de sağlam bir ray için 1/20 olmalıdır. Ray mantarının üst köşelerinin yarıçapı 13 mm’dir. Raylar UIC standartlarına göre bir metresinin ağırlığına göre isimlendirilmektedir. Günümüzde kullanılan ray tipleri ve geometrik özellikleri Tablo 1.1’ de verilmektedir.

Tablo 1.1. Profillerine göre ray sınıflandırılması

Rayın İsmi		Ağırlığı	Taban Genişliği	Yüksekliği	Mantar Genişliği	Gövde Kalınlığı
Eski	Yeni	(Kg/m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
S39	S39	39.52	120	138	62	12
S46	S46	46.303	134	145	64	15
S49	49 E1	49.050	125	148	67	14
S49	49 E1	49.43	125	149	67	14
UIC50	50 E4	50.46	125	152	70	15
UIC54	54 E1	54.770	125	154	67	16
S 54	54 E3	54.54	125	154	67	16
UIC60	60 E1	60.34	150	172	72	16,5

Conta, rayların birbirlerine bağlandığı yolun ek yerlerine denmektedir.

Travers, raydan gelen yükleri daha geniş bir yüzeye yayarak balasta ileten, yolun açıklığını koruyan ve yolu yan etkilere karşı ekseninde tutan rayın altına döşenmiş yol üst yapı malzemesidir [4]. Traversler; demir, ahşap, beton ve plastik olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır. Şekil 1.5’ te travers gösterilmektedir.

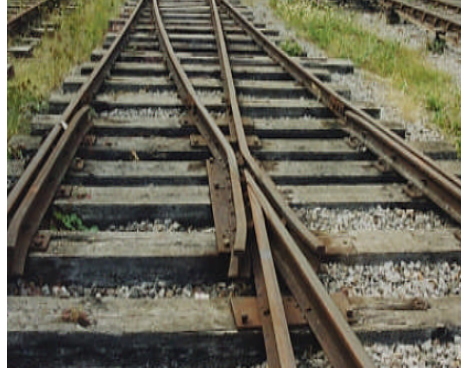


Şekil 1.5. Balast ve Travers

Balast, platformun üstüne döşenen, traverslerin aralarını dolduran ve traverse yataklık eden sert ve sağlam taşlardan 30-60 mm ölçülerinde kırılmış keskin köşeli, kübik şekilli malzemelerdir [11]. Balastlar, traversten gelen yükleri platform üzerinde daha geniş alana

homojen olarak yaymaktadır. Yolun esnekliğini sağlamaktadırlar [12]. Yolu ekseninde tutmakta ve yolu ottan korumaktadırlar [13]. Yağmur sularını süzerek dışarı atar ve platformu çamurdan korurlar. Şekil 1.5’ te balast gösterilmektedir.

Makas, raylı sistem yolu üzerinde hareket eden demiryolu araçlarının diğer bir yola geçmesini sağlayan yol değiştirme aparatlarına denmektedir [8]. Şekil 1.6’ da makas gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Makas

Kurp, farklı doğrultudaki doğru yolları birleştiren yolun eğri kısımlarına kurp denmektedir. Yolun farklı doğrultudaki doğru kesimlerini birleştirmek için kullanılmaktadır. Daire parçalarından oluşan kurplar, seyahat güvenliği ve yolcu konforu için oldukça önemlidir [23]. Şekil 1.7’ de kurp gösterilmektedir.



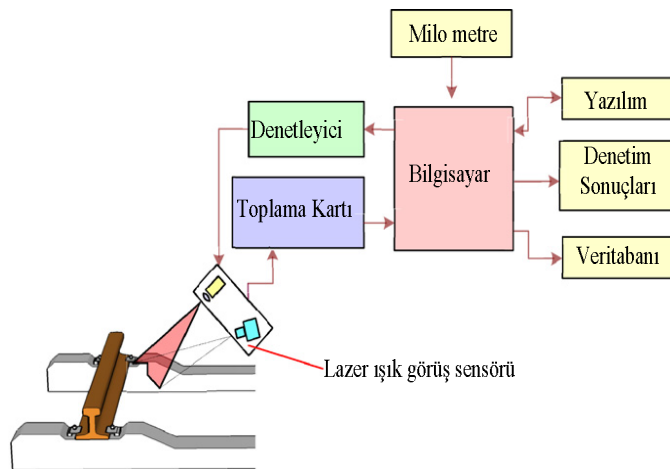
Şekil 1.7. Kurp [66].

Dever, kurplarda belirli bir hızda giden araçları savurmak isteyen merkezkaç kuvvetini zararsız hale getirmek için dış rayın iç raya oranla belirli bir miktar yükseltilmesine denir [34].

Ekartman, döşenmiş iki rayın, ray mantarı iç yanakları arasında kalan yatay mesafeye denmektedir. TCDD’ de bu açıklık 1435 mm’ dir [8]. Bu değer UIC (Dünya Demiryolları Birliği) standartlarınca belirlenmiş bir değerdir.

1.2. Literatür Özeti

Temassız ray profil ölçümü için literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı bu bölümde özetlenmektedir. Liu ve diğerleri [6] lazer ışınlarına dayalı basit ve hızlı bir ray aşınma yöntemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistemin blok diyagramı Şekil 1.8’ de gösterilmektedir. Bu sistem sadece bir lazer ışık görüş sensörü, ticari bir bilgisayar ve genel bir görüntü toplama cihazına ihtiyaç duymaktadır. 350 km/h hızında hareket eden bir tren ile iki ölçüm arasındaki mesafe 190 mm civarında olmaktadır. Sistemi çalışan, gerçek bir tren üzerinde test etmişler ve ölçüm sonuçlarını elle ölçüm yapılan özel bir ölçüm cihazı ile elde edilen aşınma miktarları ile karşılaştırmışlardır. Sistemin yatay ve dikey aşınmalardaki hata miktarlarını sırasıyla 0.34 ve 0.30 mm olarak elde etmişlerdir.

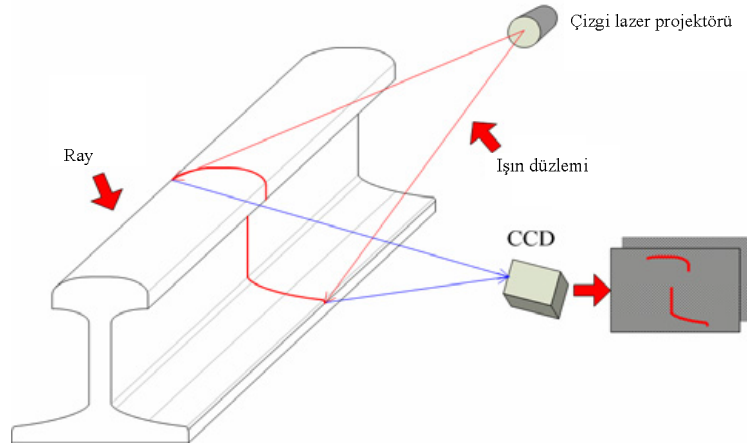


Şekil 1.8. Ray aşınmasının ölçümü için önerilen yöntemin blok diyagramı [6].

Marino ve diğerleri [28] demiryollarının bakımı için rayların sleeperlara tutturulduğu vidaları otomatik olarak algılayan gerçek zamanlı bir görüntülü denetleme sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem ile eksik vidalar ve ray bozulmaları tespit edilmektedir. FPGA teknolojisi ile rayın video görüntüleri kullanılarak iki vida arasındaki mesafe ölçülerek vida algılama bloğu yapay sinir ağı ile gerçekleştirilmektedir [28]. Aynı zamanda rayın tamamı sağlam ray profili ile karşılaştırılıp raydaki bozuklukları algılama bloğu gerçekleştirilmektedir [28]. Alippi ve diğerleri [31] demiryollarında ray profil ölçümü için gerçek zamanlı bileşik görüntü işleme algoritması geliştirmiştir. Lazer tarayıcı CCD kamera ile raydan alınan görüntüdeki ray profilini içeren alan, algoritmik ön işleme ile elde edilip yapay sinir ağı teknikleri kullanılarak ray profili yeniden yapılandırılmaktadır [31]. Alippi ve diğerleri [30] demiryollarında ray profilinin gerçek zamanlı analizi için gömülü bir sistem metodolojisi önermektedir. Bir lazer kaynak ve iki CCD kamera içeren bir algılama sistemi ile rayın 2 boyutlu görüntüsü elde edilmekte ve bu görüntüye ön işleme uygulanarak alan seçimi yapılmaktadır. Seçilen alana korelasyon filtresi uygulanarak profil çıkarılıp alt piksel arıtımı gerçekleştirilmektedir. Hayashi ve diğerleri [10], demiryollarında taşıt ve raylardaki arızaları algılayan gerçek zamanlı bir sistem geliştirmiştir. Rayda oluşan aşınmaları dalgacık dönüşümü ve çoklu çözünürlük analizi ile tespit etmektedir. Faiz ve diğerleri [32], UK demiryollarında ray profilinin durum izleme bilgisini analiz etmiştir. 2 CCD kamera ve 1 lazer kaynak ile ray izlenmekte ve ray profilindeki bozulan bölgeler tespit edilmektedir. İzlenerek elde edilen ray profil değerleri standart sapma ve ayırık aşılma kullanılarak standart ray profili ile karşılaştırılıp tespit edilen arıza sınıflandırılmaktadır. Zhipping ve diğerleri [33], Pekin-Tianjin şehirlerarası yüksek hızlı tren yolu için ray profil düzensizliğinin dalgacık dönüşümünü geliştirmiştir. Farklı periyodik bileşenlerden alınan ray bozukluğunun nedenleri ve yeri, dalgacık dönüşümü ve güç spektrum yoğunluğu analizi kullanılarak belirlenebilmektedir. Dalgacık analizinin sonuçları demiryollarında rayların yapım kalitesini değerlendirebilmekte ve ray bakımına rehberlik edebilmektedir. Shi ve diğerleri [42], temassız ölçüm tekniklerine dayanan demiryollarında hat açıklığını algılayan bilgi sisteminin yönetimi üzerine çalışmıştır. Temassız ölçüm için bir lazer tarayıcı ve kamera kullanılmaktadır. Sistemin kalibrasyonu için ayrı bir sistem geliştirmiştir ve deney sonuçlarına göre hat açıklığını algılama sisteminin hızlı ve doğru çalıştığı görülmüştür. Wang ve diğerleri [44], ray mantarının yüzeyindeki bozulmaları algılamak için ‘Bulanık Görüntülerde Gaussian Netleştirme’ adı verilen bir ön işleme algoritması geliştirmiştir.

Öğrenen kısmi diferansiyel denklem kullanmıştır ve sistem 25 filtreleme öğrenmiştir. Deney sonuçlarına göre öğrenen kısmi diferansiyel denklemin ray mantarının yüzeyindeki bozulmaların algılanması için en etkili ön işleme yöntemi olduğu görülmüştür. Li [21], ray mantarındaki ayırık yüzey bozulmaları için gerçek zamanlı bir görüntülü denetim sistemi gerçekleştirmiştir. Bu sistemde var olan görüntü alma sistemi ile bir ray görüntüsü alınmaktadır. Alınan ray görüntüsünden ray çıkarım algoritması ile alt imgeler elde edilmektedir. Alt imgelerin kontrastı doğrusal olmayan ve aydınlatmadan bağımsız yerel normalizasyon yöntemi ile artırılmaktadır. Böylece bozulmalar, gürültüye karşı dayanıklı olan ve çok hızlı çalışan projeksiyon profiline dayanan bozulma lokalizasyonu ile algılanmaktadır. Trinh ve diğerleri [40], rayın önemli bir bileşeni olan bağlantı elemanlarındaki bozulmaları veya kusurları algılayan gerçek zamanlı görüntü işleme tabanlı bir ray denetim sistemi geliştirmiştir. Bu sistem ile algılanan nesneler, GPS bilgisi ve uzaklık ölçümünden elde edilen hız bilgisi ile tüm kamera görüntülerinden elde edilen video akışı birleştirilerek fiziksel ray nesnelerini eşleştirmek için kamera görüntüleri ve video frame'leri karşılaştırılarak yerleştirilmektedir. Bu bileşenler algılanıp yerleştirildikten sonra ikinci seviye ray bozulmalarının algılanması için ileri veri entegrasyonu ve analizi yapılmaktadır. Jie ve diğerleri [10], ray mantarındaki bozulmaları algılamak için ray görüntüsüne bir ön işleme algoritması uyguladıktan sonra gri seviyeli histogram eğrisinin geometrik analizini yaparak bozulmaları tespit etmektedir. Oukhellou ve diğerleri [24], demiryollarında altyapı denetim sistemi için duyurga bilgisi ve yapısal bilginin birlikte kullanılmasına dayanan melez bir teşhis sistemi önermişlerdir. Bu yaklaşımı demiryolu alt yapısında kırık ray tespitini içeren bir uygulama üzerinde göstermektedirler. Bir alt yapı veri tabanından çıkarılan ön bilgi yardımı ile bir Bayesian ağı, önceki kararları temel alan gerçek veya sahte bozukluk sınıflarının üyeliklerinin olasılıklarını anlamak için tasarlanmışlardır. Gerçekleştirdikleri sistem özellikle zor işletim şartlarında ray kırılmalarını algılayabilmektedir. Van ve diğerleri [25], raylardaki aşınma ve kırılmaları modelleyen kapsamlı bir yaklaşım önermişlerdir. Demiryollarındaki arızaların azaltılarak güvenliğin artırılması bütün demiryolu şirketlerinin hedefidir. Bu sebeple uygulanan başlıca yöntemler test tekniğine dayanmaktadır. Fakat test tekniği zaman alıcı ve pahalıdır aynı zamanda tüm parametreleri ve olası durumları kapsayamaz. Sayısal yaklaşımlarla sanal modelleme bu sebeple iyi bir fikir olabilmektedir. Zumpano [26] ve diğerleri raylardaki yapısal yüzey arızalarının belirlemek için yeni bir hasar tespit tekniği sunmuşlardır. Bu çalışmada yapının dinamik davranışlarındaki hasarların varlığından dolayı oluşan

farklılıkların belirlenmesiyle dalga yayılım olaylarını kullanmaktadırlar. Geliştirilen hasar tespit yöntemi üç adımda gerçekleştirilmektedir. İlk adımda yapıdaki hasar varlığı değerlendirilmektedir. İkinci adımda yansıyan dalgaların varış zamanı, sürekli dalgacık dönüşü kullanılarak tahmin edilmektedir. Daha sonra tespit algoritması hasarın yerini tespit etmek için bir ışın izleme algoritması yoluyla mümkün olmaktadır. Sonuçlar önerilen yöntemin hasar konumunu bulmak için başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak beklendiği gibi lokalizasyon kullanılan frekans aralığından büyük ölçüde etkilenmektedir. Jin [8] ve diğerleri görüntü anlamaya dayanan ray aşınmasını denetleyen temassız bir sistem geliştirmişlerdir. Sistemde Şekil 1.9’ daki gibi bir algılama sistemi bulunmaktadır. Algılama sistemi ile elde edilen ve rayın şeklini alan lazer ışın görüntüsü teorik ray standartları karşılaştırılarak aşınma ölçülmektedir.



Şekil 1.9. Algılama Sistemi [8].

Mandriota [48] ve diğerleri ray bozulmalarını algılamak için filtreleme tabanlı özellik seçim algoritması geliştirmişlerdir. Bu çalışma ile üç filtreleme yaklaşımı arasında deneysel karşılaştırma yapılmıştır. Bu filtreleme yöntemleri Gabor, dalgacık ve Gabor dalgacık yöntemleridir. Genel olarak doku analizi için Gabor filtreleri kullanıldığında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ruvo [49] ve diğerleri gerçek zamanlı demiryolu bakımı için rayın algılanması ve izlenmesi için görüntülü bir denetim sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem bir FPGA üzerinde geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem son derece esnek ve yapılandırılabilir. Lewis [52] ve diğerleri demiryollarındaki çapraz seviyeyi ölçebilmek

için düzeltilmiş bir ivmeölçer gerçekleştirmişlerdir. Yakın eşleştirmenin düşük maliyetli bileşenler kullanılarak otomatik olarak elde edilmesini sağlayan uygun bir filtre tasarlamışlardır. Geçiş bandında hiçbir faz kayması olmadan 0-100 Hz arası bir frekans cevabı olan bir çapraz seviye ölçüm sistemi elde etmişlerdir. Dolayısıyla zaman geçişleri bozulmamıştır. Tang [53] ray geometrisi için gerçek zamanlı denetleme sistemi geliştirmiştir. Geliştirilen sistem dinamik ray durumunun yansımalarını üretmektedir. Bu yüzden statik ölçümleri incelemek yanlıştır. Grimes [56] demiryollarında ray bakım çalışmasının planlanması için genetik teknikler uygulamıştır. Sonuçlar mevcut bir belirleyici teknik ile karşılaştırılmıştır. Genetik uygulamaların ray bakımının planlanması için faydalı sonuçlar verdiği görülmüştür. Xishi [54] ve diğerleri demiryollarının güvenliği için yeni bir mikroişlemci tabanlı otomatik bir kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Hataya dayanıklılık tekniği sistemin güvenilirliği ve güvenliği için hem donanımsal hem de yazılımsal olarak uygulanmıştır. Deutschl [57] ve diğerleri ray yüzeyindeki bozulmaları algılamak için görüntü tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistem görüntü elde ederek hızlı ve üç boyutlu bozulmaları algılayabilen işleme teknikleri uygulamaktadır. Singh [58] ve diğerleri otomatik video analizi kullanan bir ray denetim tekniği önermektedir. Bu sistemde görüntü işleme ve yüksek performanslı otomatik ray denetimini elde etmek için analiz yöntemlerinin birleşimi önerilmektedir. Deneysel sonuçlar gerçek tren videolarının büyük bir örneğinde makine görü tabanlı denetimin yüksek performanslı olduğunu göstermektedir. Hayre [59] ray denetim sisteminin teknik bir özetini vermiştir ve ultrasonik sistemlerin iki tipini kullanmaktadır. Li [60] ve diğerleri ray aşınma parametrelerinin algılanması için yakın kızılötesi lazer çizgi projektör, CCD kamera ve görüntü işleme teknolojilerini kullanarak makine görüye dayanan dinamik bir denetim sistemi geliştirmişlerdir. Projektör bir gaussian lazer ışını olarak ve düzgün bir çizgi yoğunluğuna genişletmektedir. Doğrudan bir lineer dönüşüm algoritması düzlemsel bir nokta ızgara kullanarak doğrusal olmayan lens bozukluklarını doğrulamak için analiz etmekte ve düzeltmektedir. Ray aşınma değerleri hızlı ve doğru bir şekilde elde edilmektedir. Yan [62] ve diğerleri ray denetimi için RFID teknolojisini kullanarak bir uygulama gerçekleştirmişlerdir. Bu sistemin pratik uygulamaları denetimin iş yükünü azaltmaya yardımcı olmaktadır. Ruvo [63] ve diğerleri demiryolları denetiminde bağlantı elemanlarının gerçek zamanlı algılanması için GPU tabanlı bir görüntü sistemi gerçekleştirmişlerdir. Bu sistem %99.9 doğrulukla çalışmaktadır. Yu [64] ve diğerleri temassız lazer sensörlerle ray açıklığını ölçen bir sistem tasarlamışlardır. Titreşimi

engelleyen bir algoritma, titreşimden kaynaklanan hatayı ölçmek için yer değiştirme sensörlerine bağlı olarak tasarlanmıştır. Resendiz [65] ve diğerleri otomatik görüntülü ray denetim sistemi gerçekleştirmişlerdir. Bu bilgisayar görü sistemi, alan videosu elde etmeyi ve videoların analizini içermektedir. Bu sistem algılama, segmentasyon, ray bileşenlerinin arızalarının değerlendirilmesi gibi işlemleri yapmaktadır. Tablo 1.2’ de ray profil analizi yöntemlerini içeren literatür kaynakları sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırma verinin elde edilmesi, görüntünün işlenmesi ve akıllı hesaplama tekniklerinin kullanılması şeklindedir.

Tablo 1.2. Ray profil analizi yöntemlerinin literatür sınıflandırması

Veri Elde Etme	Görüntü İşleme Tekniği	Karar Mekanizması	Kaynaklar
Lazer Kaynak, CCD Kamera	- Gaussian Filtreleme, Kalman Filtreleme [6] - Gaussian filtreleme [60] - Dalgacık dönüşümü, fourier dönüşümü [28, 26] - Korelasyon filtresi [31, 30] - Standart sapma [32] - Histogram [10]	- Standart değerler ile karşılaştırma [6, 32] - Nöral sınıflandırıcı [28, 31, 30] - Geometrik analiz [10] - Lokalizasyon [26] - Doğrudan lineer dönüşümü [60]	[6-28-31 - 32, 30, 10, 26, 60]
CCD Kamera	- Dalgacık dönüşümü [33] - Gabor filtreleme [48] - Video analizi [58]	- Güç spektrumu yoğunluğu analizi [33] - Genetik yöntemler [56]	[33, 48, 56, 58]
Lazer tarayıcı, CCD Kamera	- Gaussian filtreleme [44] - Yerel normalizasyon [21] - Doğrudan Lineer Dönüşüm [8]	- Standart değerler ile karşılaştırma [42, 8] - Bulanık sınıflandırıcı [44]	[42- 44, 21, 8]
Lazer tarayıcı kamera, GPS bilgisi, hız bilgisi	Video görüntülerinin karşılaştırılması	İleri veri entegrasyonu	[40]

Literatürdeki çalışmalar daha çok görüntüye dayanmaktadır. Bu tezde gerçekleştirilen çalışmalar görüntüyü ray ile ölçüm sistemi arasında ölçülen mesafe verisi ve lazer ışınların kırılmasıyla elde edilen derinlik bilgisiyle desteklemektedir. Aynı şekilde literatürdeki çalışmalar olası hataları tahmin edememektedir. Rayda meydana gelen arızaların rayın hangi bölgesine ait olduğuna dair bir çıkarım yapmamaktadır. Bu tezde literatürün bu eksikliklerini gidermeye çalışan uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasında demiryolları ve tramvaylardaki raylarda oluşmuş arızaların ve oluşması olası deformasyon ve aşınmaların önceden tespit edilebilmesi böylece daha büyük tehlikelere yol açmasının önlenmesi, bakım maliyetinin azaltılması, tren hızının sürekli izlenen ve kontrol altında olan raylarda istenilen büyüklüğe gelmesi, geleneksel izleme ve kontrol yöntemlerine karşılık rayların temassız izlenmesi, böylece izlemeden dolayı herhangi bir aşınmanın olmaması için görüntü işleme tekniği tabanlı ray profil analizi yapılmak istenmektedir.

Bu amaçtan yola çıkılarak demiryollarına dair kavramlar ayrıntılı bir şekilde araştırılıp öğrenilmiştir. Rayların bakımına ve denetimine dair literatür araştırması yapılmıştır. Literatürde gerçekleştirilen yöntemler incelenerek ray profil analizine dair geleneksel ve yenilikçi olarak tüm yöntemler ele alınmıştır. Geleneksel yöntemlerin temastan dolayı raya zara verme, insan gücüne bağlı olduğundan yavaş olma ve yanlış karar verebilme dezavantajlarından dolayı yenilikçi yaklaşımlardan yola çıkılan uygulamalar geliştirilmiştir. Bu tezde lazer teknolojileri ve görüntü işleme algoritmaları kullanılarak temassız yeni yöntemler kullanılmaktadır. Lazer ışınların kırılmasıyla veya lazer metreden alınan mesafe verileriyle iki boyutlu görüntüye üçüncü bir boyut eklenmiştir. Raydan elde edilen görüntülere gürültü arındırma, filtreleme ve çeşitli dönüşümler uygulanarak ön işleme uygulanmaktadır. İşlenmiş görüntü ve raydan elde edilen diğer veriler birleştirilerek bulanık mantık, yapay sinir ağları gibi çeşitli akıllı hesaplama teknikleriyle ray görüntüleri sınıflandırılmakta ve karar verme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Geliştirilen yöntemler görüntü işleme teknikleri ve lazer teknolojileri kullandığından tamamen temassız sistemler oluşturulmuştur. Akıllı hesaplama teknikleri kullanıldığından yöntemler yüksek doğruluktadır. Ray profil analizi için düşük maliyetli, hızlı çalışabilen, uygulanması kolay ve geliştirilmeye açık sistemler önerilmiştir. Önerilen sistemlerin temassız olması modern demiryolu teknolojilerinin gereksinimlerinin karşılayabilir niteliktedir.

1.4. Tezin Yapısı

Tez giriş bölümü dâhil yedi bölümden oluşmaktadır.

İkinci bölümde, ray profil analizi açıklanmıştır. Rayın yapısı, raya etki eden kuvvetler ve ray arızaları özetlenmiştir.

Üçüncü bölümde, demiryollarında temassız durum izleme anlatılmaktadır. Durum izlemenin gerekliliğinden ve temassız durum izlemenin avantajlarından bahsedilmektedir.

Dördüncü bölümde, görüntü işleme tabanlı ray profil ölçüm algoritması geliştirilmiştir. Bu sistemde bir CCD kamera ve bir lazer metreden oluşan bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Kameradan elde edilen görüntüye sobel filtreleme ve watershed dönüşümü uygulanarak veri elde edilecek hale getirilmiştir. Lazer metre ile elde edilen mesafe verileri ve ölçüm açısı geliştirilen bir yapay sinir ağı ile değerlendirilerek bir ön sonuç elde edilmektedir. Bu ön sonuç ve görüntü verileri tasarlanan bir bulanık sınıflandırıcıya giriş olarak gönderilerek rayın ilgili kısmının arızalı olup olmadığına karar verilmektedir. Bu bölüm ile ilgili olarak yapılan akademik yayın çalışması aşağıdaki gibidir [67]:

- **Karaduman, G., Karaköse, M., Akın, E., 2012.** Görüntü işleme tabanlı ray profil ölçüm algoritması, *TOK 2012*, 11-13 Ekim, 790-795.

Beşinci bölümde, ray profil ölçümü için görüntü işleme tabanlı deneysel bulanık teşhis algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem için bir CCD kamera, bir çizgi lazer kaynağı ve bir lazer metre içeren bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Raya yansıtılan çizgi lazer rayın şeklini alacak şekilde kırılmıştır. Kırılan lazer ışının görüntüsü CCD kamera ile elde edilmektedir. Aynı anda lazer metre ile ray ile lazer kaynak arasında belli bir açı değeriyle mesafe verileri elde edilmiştir. Kamera ile elde edilen ray görüntüsü gürültüden arındırılmakta ve boundary detection yöntemi ile sadece lazer ışının elde edilmesi sağlanmaktadır. Elde edilen lazer ışın görüntüsünden veri elde edebilmek için bir algoritma geliştirilmiştir. Lazer metre ile elde edilen mesafe verileri ve açı verileri filtrelenerek ve ölçeklenerek görüntü verileriyle birlikte geliştirilen bir bulanık teşhis sisteminin girişini oluşturmaktadırlar. Bulanık teşhis sistemi ile rayın ilgili kısmının arızalı olup olmadığına karar verilmektedir. Bölümle ilgili akademik yayın çalışması aşağıda verilmektedir [68]:

- **Karaduman, G., Karakose, M., Akın, E., 2012.** Experimental fuzzy diagnosis algorithm based on image processing for rail profile measurement, *Mechatronika*, 5-7 Aralık, Prague, 1-6.

Altıncı bölümde, lazer projektör ve CCD kamera içeren bir lazer tarayıcı kamera sistemi ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak raydaki arızalar tespit edilmektedir. Lazer projektörden yayılan lazer ışınlar rayın belli bir alanını taramaktadırlar. Taranan ray görüntüsü kameraya ait özel bir yazılımla üç boyutlu bir şekilde elde edilmektedir. Elde edilen görüntüye görüntü işleme teknikleri uygulanarak raydaki arızalar tespit edilmektedir.

Yedinci bölümde tezde gerçekleştirilen çalışmalar değerlendirilmekte ve gelecek çalışmalarla ilgili fikir verilmektedir.

2. DEMİRYOLLARINDA RAY PROFİL ANALİZİ

Günümüzde hızı 350 km' ye kadar ulaşabilen hızlı trenler düşünülürse rayda oluşabilecek bir bozulma hem maddi hem de manevi büyük zararlara sebep verebilecektir [6]. Bu sebeple demiryollarının temel bileşeni olan rayların izlenmesi, denetimi ve bakımı oldukça önemlidir [27]. Rayların periyodik olarak kontrolü demiryolu işletmelerine güvenlik garantisi ve düşük bakım maliyeti sağlayacaktır. Raylardaki aşınma ve deformasyon erken bir safhada tespit edilirse ray bakım maliyeti daha düşük olacak aynı zamanda rayların durumu daha tehlikeli bir aşamaya geçmeden müdahale edilebileceği için güvenlik açısından da büyük katkı sağlanmış olacaktır [50]. Erken tespit ile ileri bakım planlaması yapılabilecek ve böylece sınırlı insan ve donanım kaynakları optimum şekilde kullanılabilir. Bu şekilde maliyet büyük oranda azalacaktır. Geleneksel yöntemlerle demiryollarında rayların bakımı ve yenilenmesi el ile veya mekanik olarak gerçekleştirilmektedir [40]. El ile rayların denetimi bir uzmanın kontrolü ile gerçekleştirilmektedir. Uzman yürüyerek veya bir araçla demiryolu hattı boyunca hareket ederek rayları gözlemlemektedir. Raydaki bozulma uzmanın algıladığı kadar fark edilebilir. Uzman sadece gözünün algıladığı deformasyonları göreceğinden erken teşhis mümkün olmamaktadır. Ayrıca bu yöntem uzmanın görüş açısına ve kendi kişisel değerlendirmesine bağlı olduğundan çok sağlıklı olmamaktadır. Mekanik olarak ise raya ağırlık uygulanarak ya da temaslı yöntemler kullanılarak kontrol yapıldığından ray zarar görebilmektedir [35]. Bu yüzden son zamanlarda ray profil ölçümleri lazer teknolojileri ve görüntü işleme teknolojileri kullanılarak yapılmaktadır. Lazer teknolojileri ile fiziksel temasın neden olabileceği aşınmalar önlenmektedir. Yenilikçi yaklaşım olan lazer teknolojileri ile henüz başlamakta olan ray bozulmaları ve deformasyonlar erkenden algılanmaktadır. Demiryolu hattının temel bileşenlerini balast, traversler, raylar ve rayların traverslere sabitlenmesini sağlayan vidalar oluşturmaktadır [36]. Demiryolu hattının konumuna hat geometrisi adı verilmektedir. Hat geometrisinde burulma, hat genişliğinin bozulması, deray ve nivelman gibi bozulmalar meydana gelmektedir. Demiryolu hattının en önemli bileşeni olan ray boyutlarının standartlara uygun olması ve rayın traverslerle bağlantısı ise ray profili olarak değerlendirilmektedir. Ray profil ölçümü ile;

- Raydaki düşey aşınma, yatay aşınma, ray kırılmaları, kabuklanma, bozulma, moloz izleri, bağlantı malzemelerin eksiklikleri tespit edilebilmektedir [29].

Raylar tekerleklerle temas halinde olduğundan düşey ve yatay olarak aşınmaktadırlar raylarda düşey ve yatay aşınmalar güvenliği tehlikeye sokacağından raylar yılda en az bir kez ölçülmeli ve aşınma düzeyi tespit edilerek gerekli önlemler alınmalıdır [9]. Raylardaki aşınmalar Avrupa Standartlarında verilen değerleri geçtikleri takdirde raylar değiştirilmeli veya gerekli önlemler alınmalıdır.

Demiryolunu etkileyen kuvvetler aşağıdaki gibidir [51]:

- Statik kuvvetler: Demiryolu araçlarının ağırlıklarından dolayı tekerleklerden raya etki eden kuvvetlerdir [37]. Vagon, yük ve lokomotiflerin kendi ağırlıklarıdır.
- Dinamik kuvvetler: Statik kuvvetlere ek olarak araçların hareketi esnasında çeşitli nedenlerle (çapak, düşük gibi) oluşup yola etki eden kuvvetlerdir.
- Lokomotifin parazit hareketlerinden doğan kuvvetler: Lokomotifin kendini sağa sola atmak istemesinden doğan kuvvetler ile aşağı yukarı doğru oluşan yalpa hareketlerinden doğan kuvvetlerdir.

Bu kuvvetler raya etki ederek rayın aşınmasına veya bozulmasına sebep olmaktadır.

2.1. Ray Aşınmaları

Raylar tekerleklerle temas ettiği yüzeylerinde düşey ve yatay olarak aşınmaktadırlar. Raylarda düşey ve yanal aşınmalar rayın sağlığına etki ederek ulaşım güvenliğini tehdit edeceğinden aşınmaya maruz kalan raylar yılda en az bir kez ray aşınmasını ölçen sistemlerle ölçülerek aşınma tespit edilmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır [38]. Raylarda aşınmanın, yatay aşınma ile ray eksenini arasındaki açının 33 dereceden fazla olması durumunda raylar değiştirilmeli veya seyir kısıtlaması konmalıdır.

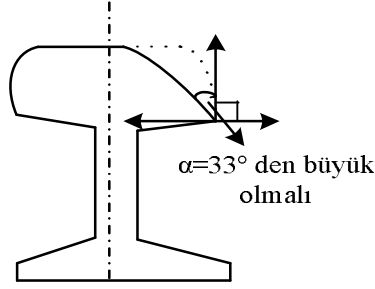
Ray aşınmaları; contalarda, yatay kurplarda, makas dillerinde ve göbeklerinde daha çok görülmektedir. Aşınma yol açıklığının artmasına ve tekerleğin raya tırmanmasına sebebiyet vereceğinden oldukça önemlidir [26]. Raylarda iki çeşit aşınma olmaktadır:

- Düşey Aşınma: Merkezci kuvvetlerin etkisi ile kurpların ray mantarında, contalardaki ray başlarında ve makas göbeklerinde yayılma ve ezilme şeklinde olan aşınmalardır.
- Yanal Aşınma: Kurplarda merkezkaç kuvvetinin etkisiyle rayın iç yanaklarında ve makas dillerinde meydana gelen aşınmalardır.

Ray aşınmasının sebepleri aşağıda verilmektedir:

- Bandaj çeliğinin ray çeliğinden daha sert olması,
- Tekerlek bodenlerinin aşınmış olması ve normal şeklini kaybetmesi,
- Kurplarda merkezkaç kuvveti nedeni ile kurp dışına etki eden kuvvetlerin olması,
- Yol açıklığının tolerans dışında olması
- Yoldaki dresaj bozuklukları,
- Kurplardaki deverin fazla veya eksin olması,
- Trenlerin verilen hızdan fazla hız yapması,
- Fren veya ilk hareket etkisi,
- Yoldaki tren trafiğinin yoğunluğu,
- Bazı lokomotif veya vagonların boji takımlarının özelliği,
- Patinajı önlemek için dökülen kum tanecikleri,
- Yolda düşüklüklerin olması,
- Her iki rayın aynı seviyede olmaması,
- Bağlantı malzemelerinin sıkılığı ve bakımlı olmaması,
- Yola etki eden yüklerin normalden fazla olması,
- Fazla yalpa hareketleri yol aşınmalarına sebep olmaktadır.

Ray aşınması Şekil 2.1' deki gibi 33° den büyük olursa ulaşım için tehlike arz etmektedir ve acilen değiştirilmelidir.



Şekil 2. 1. Ray Aşınmasının Pozitif Boyutu

2.2. Ray Kırılmaları

İki veya daha fazla parçaya ayrılan raylar ile hareket alanında 50 mm' den uzun ve 10 mm' den derin boşluk bulunan raylara kırık ray denmektedir. Şekil 2.2' de ray kırılması gösterilmektedir. Ray kırılma sebepleri aşağıda verilmektedir:

- Soğuk havalarda apletli vagon veya makine hareketi,
- Rayda imalat hatasının bulunması,
- Ray kaynağının hatalı yapılması,
- Ray bağlantı malzemelerinin eksik veya kırık olması,
- Traverslerin kırık olması veya aralıklarının fazla olması,
- Balastın kirli, topraklı veya az olması,
- Yolda düşüklüklerin olması,
- Platformun don tutmuş olması veya çamurlu olması,
- Fazla yüklenmesi veya hatalı yükleme yapılması,
- Trenlerin normalin üstünde hız yapması,
- Kurplardaki deverin fazla veya az olması,
- Raydaki aşınmanın fazla, malzemenin yorgun olması,
- Patinaj sonucu rayda oyulmaların olması,

- Genleşme aralıklarının normalden fazla olması ray kırılmalarına neden olmaktadır.



Şekil 2.2. Ray kırılması

2.3. Raylarda Apletlik (Oyulma) Arızaları

Lokomotiflerin patinaj yapmasıyla ray mantarlarının üst yüzeyinde oluşan oyulmalara apleti denmektedir. Apleti uzunluğu 60 mm' den, derinliği ise 1 mm' den az olmalıdır. Bu değerlerin üstündeki oyulmayı içeren raylar değiştirilmelidir.



Şekil 2.3. Raylarda apletlik arızası

2.4. Raylarda Ondülasyon Arızaları

Ray mantarının üst yüzeyinde oluşan farklı ve dalgalı aşınmalara ondülasyon denmektedir. Dalga uzunluğu 300 mm' ye kadar olan ondülasyonlara kısa dalga, 300 mm'den fazla olanlara ise uzun dalga denmektedir. Uzun dalgalar imalat hatalarından meydana gelmektedir. Ondülasyon arızaları Şekil 2.3' de gösterildiği gibidir. Ondülasyonlar hıza bağlı olarak ortaya çıkmayıp aşağıdaki sebeplerden dolayı oluşmaktadırlar:

- Ray ile travers bağlantılarında eksiklikler olması,
- Travers aralıklarının fazla olması,
- Yolda düşüklük arızalarının olması,
- Kurplardaki dever hataları ve raya uygulanan kuvvetlerin etkisi,
- Yol üzerinden geçen yüklerin fazla ve dengesiz olmasıdır.



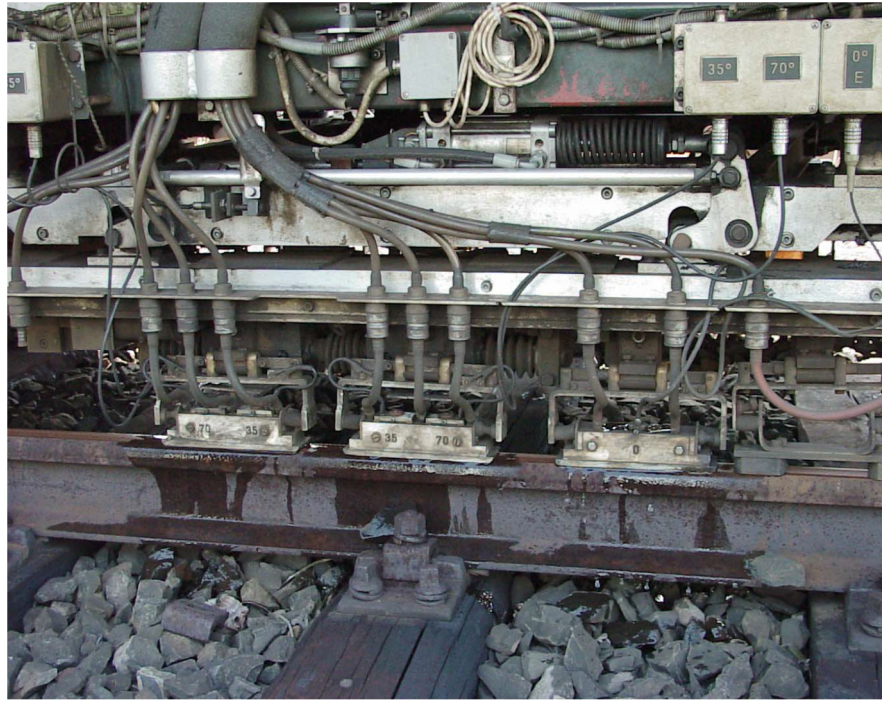
Şekil 2.3. Ondülasyon Arızası

2.5. Raylarda Headcheck Arızaları

Tekerleğin ilk hareketi esnasında raya yapışması veya kumlamalar gibi nedenlerle ray mantarının yuvarlanma yüzeyinde tırtıklı ve verev şeklinde oluşan kılcal çatlaklara headcheck denmektedir. Ray mantarının yuvarlanma yüzeyindeki ondülasyon ve headcheck arızaları yola uygulanan dinamik yüklerin artmasına ve dolayısıyla rayların deforme olmasına neden olmaktadır. Bu arızaların daha büyük zararlara yol açmamaları için erkenden tespit edilerek önlem alınması gerekmektedir.

3. DEMİRYOLLARINDA TEMASSIZ DURUM İZLEME

Raylarda oluşan arızalar fark edilmediği takdirde çok büyük maddi ve manevi zararlara sebebiyet verebilmektedir. Bu yüzden rayların periyodik olarak izlenmesi ve denetlenmesi gerekmektedir. Demiryolları temaslı bir şekilde denetlenirse raya zarar verecektir. Bu da ekstradan maliyet ve iş yükü doğuracaktır. Bu yüzden son zamanlarda temassız durum izleme teknikleri öne sürülmektedir. Şekil 3.1’ de temaslı ultrasonik bir ray profil ölçüm aracı gösterilmektedir. Bu araç temastan dolayı raya zarar verdiği gibi ray üzerindeki herhangi bir çamur, yağ veya mazot kalıntısından kolayca etkilenmektedir. Bu şekilde ölçümler, çevresel etmenler söz konusu olduğunda çok sağlıklı olmamaktadır.



Şekil 3.1. Temaslı ultrasonik ölçüm aracı [69].

Demiryollarında araç yüklerinin, hızın ve trafiğin artması raya temas eden güçleri arttırarak raya zarar verebilmektedir. Daha iyi güvenlik ve güvenilirlik için demiryollarında altyapı bakımı oldukça önemlidir. Özellikle rayların denetimi ve izlenmesi

demiryolu altyapısının güvenliğini korumak için bakım sürecinin vazgeçilmez bir parçasıdır. Demiryollarında ulaşımın konforu ve güvenliği için demiryollarının düzenli olarak izlenmesi ve denetlenmesi gerekmektedir. Bu denetimin tahribatsız olarak yapılması oldukça önemlidir [24]. Raya zarar vermeyen ray denetim sistemlerinin amacı raydan en iyi performans, güvenlik ve servis ömrü elde etmektir. Herhangi bir temassız tekniğin amacı raydaki bir bozukluğu kritik bir boyuta ulaşmadan algılamaktır. Temassız yöntemlerin birçoğu rayların izlenmesi ve denetlenmesi için ölçüm treni olarak adlandırılan araçlar kullanılmaktadırlar. Şekil 3.2’ de iki kamera içeren temassız bir ölçüm treni gösterilmektedir. Temassız denetim sistemleri ile rayın sisteme olan uzaklığı ve ray bozukluğunun çeşidi elde edilebilmektedir. Mevcut teknikler ultrasonik yöntemler, indüksiyon akımlar, x-ışınlar, lazer ışınlar ve akustik dalgalar, görüntü işleme teknikleri ve benzeri gibi yöntemleri kullanılmaktadırlar [41].



Şekil 3.2. Temassız ölçüm aracı [70].

Görüntü işleme tabanlı denetim sistemi ray yüzeyindeki bozulmaları algılamak için kullanılabilir. Bu yöntem bir veya daha fazla ray görüntüsü elde etmek için genellikle yüksek hızlı tarayıcı kameralar kullanılmaktadır. Elde edilen görüntüler daha sonra uygun bir görüntü işleme algoritması ile işlenmektedir. İşlenen görüntülerden temel özellikler çıkarılmakta ve özelliklerine ve raydaki konumlarına göre sınıflandırılmaktadırlar. Lazer teknolojileri kullanan görüntü tabanlı denetim sistemleri çatlaklar ve oluklar gibi rayın yüzeyindeki üç boyutlu hataları tespit etmek için önerilmektedir.

Demiryollarında rayların denetimi için birçok farklı yaklaşım bulunmaktadır [46]. Bu yaklaşımlar elektromanyetik denetim yöntemleri, alternatif akım alan ölçümü, manyetik parçacık denetimi, ray çatlağı tespiti için indüksiyon akım testi, rayın iç yapısının denetimi için ultrasonik teknikler, alt yapıdaki balastın denetimi için zemin delici radarların ve ray

aşınmasının bulunması için tekerlek ivme anomalilerinin değerlendirilmesini sağlayan yöntemleri içermektedirler [45]. Optik yöntemler tüm bu yöntemlere göre apayrı bir yerde durmaktadırlar. Optik yöntemlerin bazı diğer yöntemlere göre avantajları vardır:

- Bu yöntemler raya zarar vermemektedirler. Bazı yaklaşımlar raylardaki yağlar tarafından engellenmektedirler. Bu yöntemlerin doğru sonuç verebilmesi için raylardaki yağların ve çevresel etmenlerin yok edilmesi gerekmektedir.
- Hassas ölçüm yapabilmektedirler.
- Bu yöntemler aynı anda raya ait birçok parametreyi ölçebilmektedir.

Bu kategorideki en basit cihazlar lazer ölçüm cihazlarıdır. Lazer ölçüm cihazları rayların geometrik karakteristiklerini ölçmek için demiryolu endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Lazer ölçerler rayların hizalanmasını ve ray profil ölçümünü kolaylaştırmak için tasarlanmıştır. Lazer ölçerler raylar ile arasındaki mesafeyi ölçmek için bir demiryolu aracına monte edilebilmekte ve yol boyunca hareket edebilmektedir. Lazer ölçerler raydaki bozuklukları ve ray profilindeki farklılıkları ve tehlikeli durumlar oluşturabilecek ray düzensizliklerini anlamak için kullanılmaktadır. Tipik olarak operatörler ray ölçümü için lazer ölçerleri ve çapraz seviye sensörleri kullanmaktadırlar. En yaygın kullanılan çapraz seviye sensörleri sol ve ikinci rayları bağlayan katı barlardır. Lazer ölçerler gibi basit cihazlara karşı rayların birçok farklı özelliğini ölçmek için kompleks optik sistemleri içeren ray araçları 1970'lerden beri ray denetimi için kullanılmaktadır. Başka bir yöntem ise lazer ışınları ile üçgenleme yöntemidir. Üçgenleme teknikleri ray profil sistemleri için bir sınıfın doğmasına yol açmıştır. Bu yöntem, lazer diyotlar gibi kameralar kullanan birleşik bir yaklaşımdır. Lazer diyotlar kamera ile görünebilen ray üzerine bir ışık şeridi yansıtmaktadır. Diyot ve kameranın ilişkisel pozisyonları bilindiğinden üçgenleme ile üç boyutlu ray profilini ölçmek mümkündür.

Raydaki bozulmaları algılayan kamera platformları ve bilgisayar görü tekniklerinin birleşimi ile ilgili çok sınırlı literatür bilgisi vardır. Bu yöntemler sadece bir veya iki kamera kullandıklarında uygun maliyetli ve basittirler. Görüntü işleme teknikleri demiryolu görüntüleri oldukça kısıtlı olduğundan beri rayların izlenmesi için uygundur. Kameralar genellikle aşağı doğru baktığından birçok bilinmeyen nesne kameranın görüş alanına girebilir; aydınlatma ve gölge desenleri de ortaya çıkabilir. Demiryolu geçitleri ve çatallarının birçok farklı konfigürasyonu olduğu sürece bu gibi kompleks durumlar hala

sorun teşkil etmektedir. Görüntü algoritmaları sadece bazı belirli koşullar altında çalışmak üzere tasarlanmıştır, fakat bu durumun mevcut olup olmadığını doğrulamak için başarısız olabilirler. Böylece ray denetimi için pratik görüntü sistemlerinin geliştirilmesi karmaşıktır. Çünkü böyle sistemlerin %100 doğru çalışması zordur. Tek kamera sistemleri yalnız bir görüntüden derinlik elde etmenin zor olduğu sürece ray geometrisini algılamak için uygun değildir. Ancak derinlik bilgisi stereo kamera sistemleri veya çeşitli tarayıcılar gibi tamamlayıcı cihazlar ile kolayca elde edilebilmektedir.

Bu tezde rayların izlenmesi kamera ve lazer sistemler kullanılarak temassız durum izleme şeklinde gerçekleştirilmektedir. Görüntülerden işe yarar veriler görüntü işleme teknikleri ile elde edilmektedir. Gerçek yaşamdaki görüntülerin dijital bir resim haline getirilip işlenerek özelliklerinin ve görüntüsünün değiştirilmesi sonucunda yeni bir görüntünün elde edilmesine görüntü işleme denmektedir. Resimler analog ortamdaki dijital ortamlara aktarıldığı için görüntülerde bozukluk meydana gelmektedir. Görüntü işleme bu hataları gidermek için kullanılabilmektedir. Görüntülerin işlenmesi sonucu görüntülerden faydalı veriler elde edilmektedir. Görüntüler işlenmeden önce gürültü temizleme, parlaklığın ayarlanması, koyuluğun ayarlanması, görüntünün keskinleştirilmesi veya bulanıklaştırılması, doğru rengin ayarlanması gibi ön işleme uygulanmaktadır. Gerçek dünyada görüntüler $a(x, y)$ gibi bir fonksiyonla ifade edilmektedir. Burada a , parlaklık, koyuluk gibi bir şiddet birimini ifade ederken x ve y görüntünün gerçek koordinatlarını ifade etmektedir. Dijital görüntüler ise sayısal değerlerden oluşmaktadır. Dijital görüntüler matrislerle ifade edilmektedir. Dört çeşit görüntü tipi vardır. Bunlar; intensity görüntü, binary görüntü, indekslenmiş görüntü ve RGB görüntülerdir. Demiryollarında ray profil ölçümü için temassız yöntemlerin bir çoğunda görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerin çoğunda görüntü alınan kameranın hareketli bir demiryolu aracına monte edildiği düşünülmekte ve sistemler buna göre tasarlanmaktadır. Bu yüzden alınan görüntülerde hareketten ve çevresel etmenlerden kaynaklı gürültüler oluşmaktadır. Bu sebeple öncelikle görüntülerdeki gürültüler yok edilmektedir. Görüntü işleme ile ray profil analizi yapılırken gürültü yok etme, filtreleme, kenar çıkarımı ve çeşitli dönüşümler kullanılmaktadır. Bu teknikler ana hatlarıyla aşağıda anlatıldığı gibidir.

4. GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI RAY PROFİL ÖLÇÜM ALGORİTMASI

Demiryolları ve tramvaylar toplu taşımada önemli bir yere sahip olup gitgide yaygınlaşmaktadır. Bu yaygınlaşma demiryolları ve tramvayların güvenliğini oldukça önemli kılmaktadır. Rayların kontrolü demiryollarının bakımında büyük önem arz etmekte ve düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Geleneksel yöntemlerle rayların izlenmesi ve denetimi bir uzmanın rayları kontrol etmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde rayların kontrolü uzmanın görebildiği ile sınırlı olmakta ve uzmanın kriterlerine göre değişim göstermektedir. Bir diğer geleneksel yöntemde ise raylar temaslı yöntemlerle kontrol edilmektedir. Bu yöntemin dezavantajı raylar kontrol edilirken temastan kaynaklanan zararlardır.

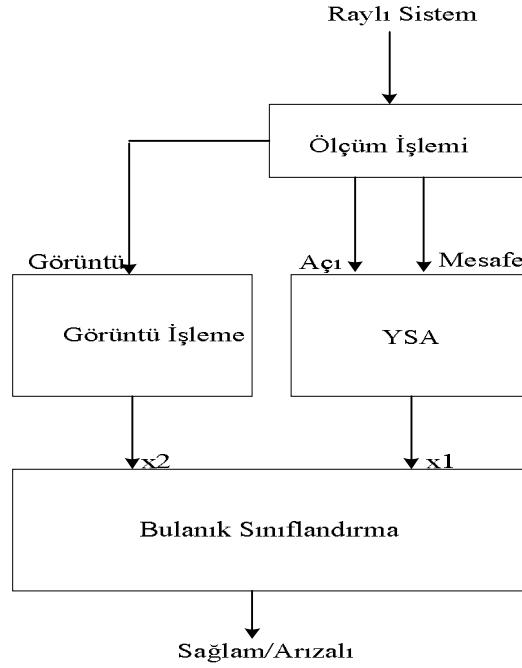
Bu bölümde görüntü işleme tabanlı ray profil ölçüm algoritması sunulmaktadır. Bu algoritmayla raylar, lazer teknolojileri ve ray görüntüleri kullanılarak temassız izlenmektedir. Kamera ile raydan alınan görüntüler işlenerek arızalı bölgeler tespit edilmekte, lazer metre ile alınan mesafe verileri ile arızanın olup olmadığı garantilenmektedir. Bu çalışma ray profil ölçümüne sağlam, güvenilir, yüksek hızda çalışabilen, temassız bir teknik sunmaktadır.

Bu çalışmada raydan alınan görüntü, bir lazer metre ile alınan ray ve lazer kaynak arasındaki mesafe bilgisi ve ölçümlerin dikeyle yaptığı açı bilgileri kullanılarak ray profil ölçümü yapılmaktadır. Ray profil ölçümü için yapay sinir ağı ve bulanık sınıflandırıcı kullanılmaktadır. Ray profil ölçümü sonucunda rayın arızalı veya sağlam olduğuna karar verilmektedir.

4.1. Önerilen Yöntem

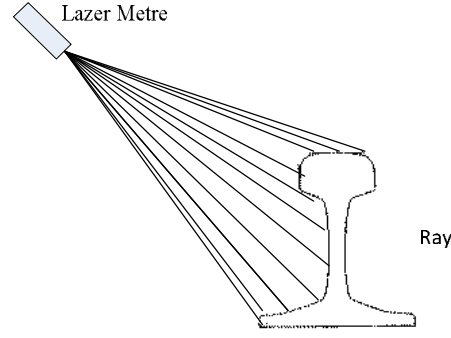
Bu çalışmada raydan bir CCD kamera ile görüntü alınmaktadır. Görüntüdeki rayın belli bir noktası lazer teknolojileri kullanılarak standartlara uygun bir nokta ile ray arasındaki mesafe 0.19° lik açılarla ölçülmektedir. Ölçülen mesafe verisi ve her bir mesafe verisinin dikeyle yaptığı açı tasarlanan bir yapay sinir ağının girişlerini oluşturmaktadır. YSA

sağlamsa 0, arızalı ise 1 şeklinde çıkış üretmektedir. Diğer yandan alınan ray görüntüsü görüntü işleme teknikleri ile uygun hale getirilerek YSA' nın ürettiği çıkışla beraber bir bulanık sınıflandırıcının girişlerini oluşturmuşlardır. Önerilen yöntemin blok diyagramı Şekil 4.1' de gösterilmektedir.



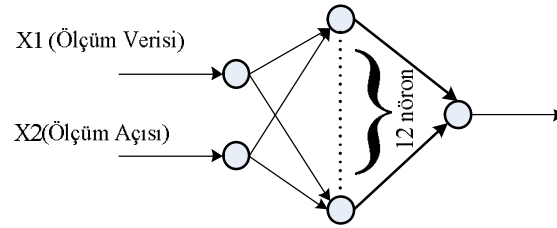
Şekil 4.1. Önerilen yöntemin blok diyagramı.

Bir lokomotifin standart değerlere uygun konumundan yola çıkılarak bir sistem gerçekleştirilmiştir. Lazer metre lokomotiften rayı görebilecek ve raydan mesafe alabilecek şekilde sistemde konumlandırılmıştır. Lazer metre ile Şekil 4.2' de gösterildiği gibi 0.19^0 lik açılarla rayda bir çizgi boyunca 65 mesafe verisi elde edilmiştir. Rayın girintili çıkıntılı bir yapısı olduğundan ray ile lazer kaynak arasındaki mesafe verisi yeterli olmamaktadır. Bazen ray mantarında oluşan bir aşınma ile elde edilen mesafe verisi ile ray mantarının yan kısımlarından elde edilen mesafe verisi aynı olmaktadır. Bu karışıklığın giderilebilmesi için geliştirilen algorithmada mesafe verisi ile bu verinin dikeyle yaptığı açı birlikte ele alınmaktadır.



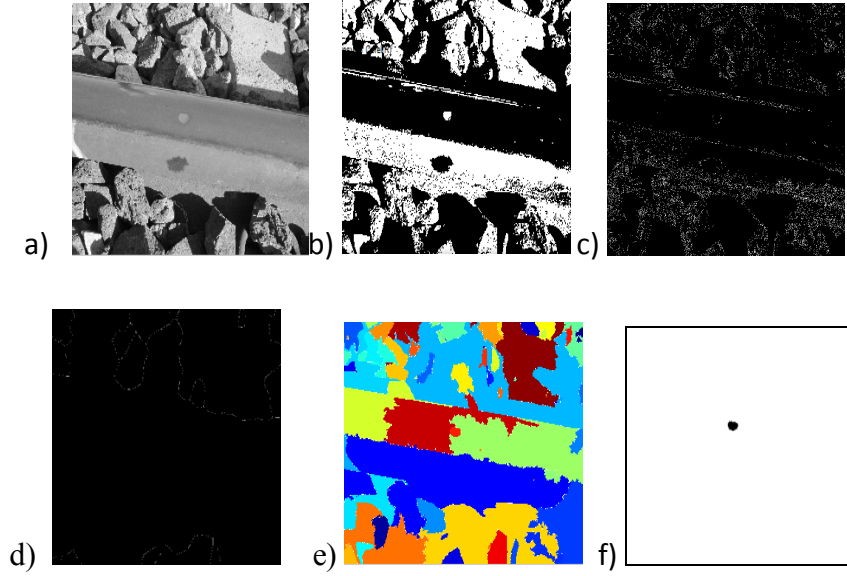
Şekil 4.2. Lazer metre ile mesafe verisi elde etme.

Bir sağlam rayın ve bir arızalı rayın mesafe verileri ve bu mesafe verilerinin dikeyle yaptığı açılar bir matriste tutularak YSA'nın girişini oluşturmuşlardır. YSA tasarlanırken aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid ve doğrusal eşik fonksiyonları kullanılmıştır.



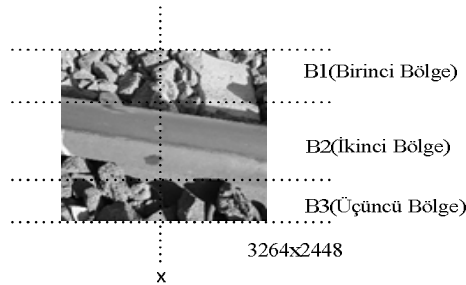
Şekil 4.3. Tasarlanan YSA' nın yapısı

YSA Şekil 4.3' de gösterildiği gibi 2 girişli bir çıkışlı olarak tasarlanmıştır. Ara katmanda ise 12 nöron vardır. 1000 iterasyon ile eğitilmektedir. Hata payı 0. 00001 olarak belirlenmiştir. Raydan elde edilen görüntüye sobel filtreleme ve watershed dönüşümü uygulanmıştır. Böylece görüntü işlenmiştir. Görüntü işleme adımları Şekil 4.4' te gösterilmektedir.



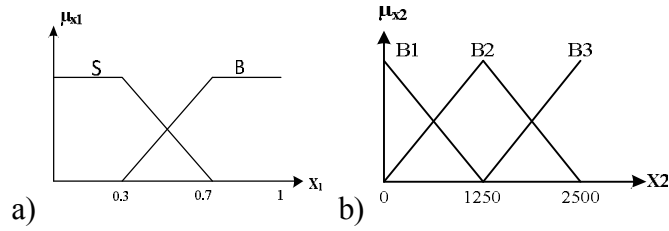
Şekil 4.4. Görüntü İşleme Aşamaları, a)Gri seviye görüntü, b)Binary görüntü, c)Sobel filtreleme uygulanmış görüntü, d)Watershed dönüşümü uygulanmış görüntü, e)Watershed görüntünün rgb' ye dönüştürülmüş hali, f) Arıza bölgesinin elde edildiği görüntü.

Arıza bölgesinin elde edildiği görüntüdeki arızanın olduğu bölgenin piksel değeri görüntü işleme sonucu 1(siyah renk) olmaktadır. Ancak görüntünün, gürültüden, raya bulaşabilecek moloz veya yağ izlerinden yada balastlarda olabilecek bir ray parçasından, görüntüde arıza yanlış algılanabilmektedir. Bu yüzden mesafe verileri ile elde edilen YSA çıkışı ve görüntüden elde edilen veriye bulanık sınıflandırıcı uygulanmaktadır. Elde edilen görüntüde balastlarda oluşabilecek herhangi bir etkinin arıza gibi algılanmaması için görüntü bölgelere ayrılmıştır. Bulanık sınıflandırıcının görüntüden elde edilen x_2 girişinin üyelik fonksiyonu da buna göre oluşturulmuştur. Görüntünün bölgelere ayrılmış hali Şekil 4.5' teki gibidir.



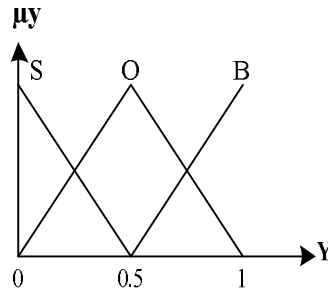
Şekil 4.5. Görüntünün bölgelere ayrılmış hali.

Bulanık sınıflandırıcının YSA çıkışından elde edilen x_1 çıkışına ait üyelik fonksiyonları Şekil 4.6(a)' da verilmektedir. Görüntü işleme sonucu elde edilen binary resimdeki siyah renkteki piksellerin y koordinatlarının B1, B2 ve B3 bölgelerinde olma ihtimallerine göre bulanık sınıflandırıcının x_2 girişinin üyelik fonksiyonları Şekil 4.6(b)' deki gibi tasarlanmıştır.



Şekil 4. 6. Giriş değişkenleri için üyelik fonksiyonları, a) YSA' nın çıkışından gelen bulanık sınıflandırıcının x_1 girişinin üyelik fonksiyonu (S-Sıfır, B-Bir), b) Görüntüden alınan arıza koordinat bilgisinden gelen bulanık sınıflandırıcının x_2 girişi için üyelik fonksiyonları (B1-Birinci Bölge, B2-İkinci Bölge, B3-Üçüncü Bölge)

Bulanık sınıflandırıcının çıkışları sağlam ray, arıza ihtimali olan ray ve arızalı ray olarak sınıflandırılmıştır. Bulanık sınıflandırıcının çıkışına ait üyelik fonksiyonları Şekil 4.7' deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 4. 7. Bulanık sınıflandırıcının çıkışı(y) için üyelik fonksiyonları, S-Sağlam, O- Olası deformasyon, B-Bozuk,

Bulanık sınıflandırıcının girişleri ve çıkışı kullanılarak oluşturulan kural tablosu Tablo 4.1' de verilmektedir. Kural tablosunda belirtildiği gibi x_1 girişinin S olması yapay sinir ağından elde edilen çıkışın 0 olduğunu, yani rayın sağlam olma ihtimalinin yüksek olduğunu göstermektedir. x_2 girişinin B1 bölgesinde olması görüntüden gelen verinin

yanlış veri olduğunu veya veri olmadığını göstermektedir. Bu yüzden x_1 S, x_2 B1 iken y S olur. Yani ray sağlamdır. X_1 S, x_2 B2 bölgesindeyse YSA'dan sağlam veri gelmesine rağmen görüntüden arıza görüntüsü gelmiştir. Görüntüden gelen arıza doğru olup YSA'dan gelen veride ölçüm hatası yapılmış olabilir yada görüntüde çevresel etkilerden dolayı(ray üzerinde ray birikintisi olabilir) yanlış veri elde edilmiş olabilir. Bu yüzden y için kesin sağlam veya arızalı denilememektedir. Böylece y O olur. O, olası arızayı ifade etmektedir. X_1 'in S, x_2 'nin B3 bölgesinde olması rayın sağlam olduğunu göstermektedir. Bu yüzden y çıkışı S olur. X_1 B, x_2 B1 bölgesinde ise YSA'dan arızalı verisi gelmiş ama görüntüde ray üzerinde herhangi bir arıza görüntüsü elde edilmemiştir. Bu yüzden y muallaktır ve O ile ifade edilmektedir. X_1 B, x_2 B2 bölgesinde ise hem YSA' dan arızalı verisi gelmiştir hem de görüntüde ray üzerinde arıza verisi elde edilmiştir. Bu nedenle ray kesinlikle arızalıdır ve B ile ifade edilmiştir. X_1 B, x_2 B3 bölgesinde ise YSA' dan arızalı sonucu çıkmıştır fakat görüntüde ray üzerinde bir arıza verisi elde edilememiştir. Bu da yine muallak bir durumdur ve O ile ifade edilmektedir.

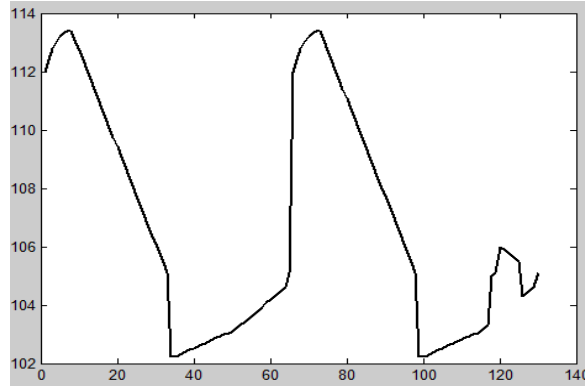
Tablo 4.1. Kural Tablosu

$X_1 \backslash X_2$	S	B
B1	S	O
B2	O	B
B3	S	O

4.2. Deneysel Sonuçlar

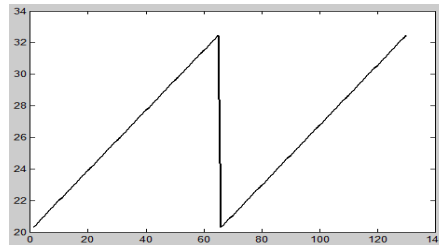
Bu çalışmada bir CCD kamera ve 0.01 mm hassasiyetle ölçüm yapan bir lazer metre kullanılarak ray profil ölçümüne yeni bir yaklaşım önerilmektedir. CCD kamera ile rayın ölçüm yapılacak alanını içeren görüntü elde edilmekte ve görüntüye önerilen görüntü işleme teknikleri uygulanarak arıza bölgesini içeren görüntü elde edilmektedir. Yapılan çalışmadaki tüm simülasyonlar MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir.

Lazer teknolojileri kullanılarak bir lazer metre ile standartlara uygun olarak ray ile lazer metre arasındaki mesafe ölçümü 0.19° lik açılarla elde edilmektedir. Lazer metre kullanılarak sağlam bir ray ve arızalı bir raydan alınan mesafe verileri Şekil 4.8’ deki gibidir. İlk 65 veri sağlam raya, son 65 veri ise arızalı raya aittir. Şekil incelendiğinde arızalı rayın arızalı kısımları fark edilmektedir. 115. veriden sonraki verilerin bir kısmının arızalı olduğu grafikten anlaşılmaktadır.



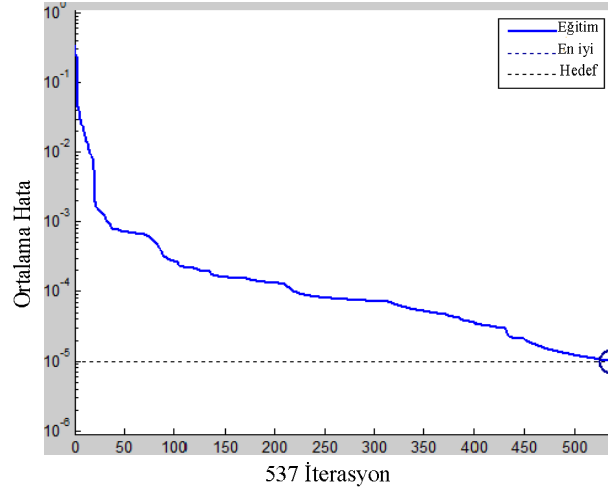
Şekil 4.8. Lazer metre ile sağlam bir ray ve arızalı bir raydan elde edilen mesafe verileri

Mesafe verilerinin rayın hangi bölgesine ait olduğunun anlaşılabilmesi için geliştirilen algorithmada ray mesafelerinin dikeyle yaptığı açılar da ele alınmaktadır. Mesafe verilerinde rayda oluşan bir arıza verisinin mesafe ölçüm değeri bazen rayın kavisli kısımlarının mesafe verileriyle aynı olabilmektedir. Bu yüzden de her bir mesafenin hangi bölgeye ait olduğu önemlidir. Bunun için mesafe verilerinin dikeyle yaptıkları açılar kullanılmıştır. Her iki ray görüntüsünden elde edilen mesafe verilerinin dikeyle yaptığı açılar Şekil 4.9’ da verilmektedir.



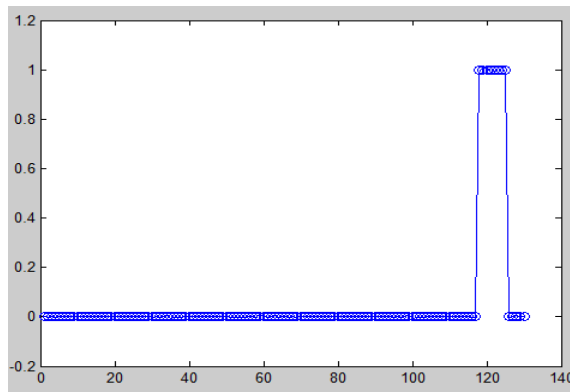
Şekil 4.9. Mesafe verilerine ait açı bilgileri

Sağlam bir rayın ve arızalı bir rayın verileri birleştirilerek 130 mesafe verisi ve 130 açı verisi yapay sinir ağına giriş olarak gönderilmiştir. Bu verilerle yapay sinir ağı eğitilmiştir. Yapay sinir ağının eğitim performansı Şekil 4.10’ daki gibidir.

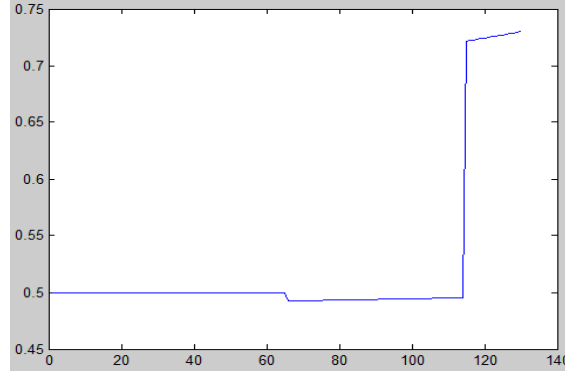


Şekil 4.10. Yapay sinir ağının eğitim performansı.

Yapay sinir ağı test verileri kullanılarak test edilmiştir. Yapay sinir ağının test verilerine verdiği cevap Şekil 4.11’ deki gibidir. YSA’ nın ürettiği çıkış düz çizgiyle, test verileri yuvarlak ile gösterilmiştir.



Şekil 4.11. YSA’ nın test verilerine ürettiği çıkış.



Şekil 4.12. Bulanık sınıflandırıcının ürettiği çıkış.

Şekil 4.11’ de görüleceği gibi YSA, 115. veriye kadar olan girişlerde 0, 115. veriden sonraki bir kısım veride 1 çıkışını vermektedir. Bu çıkışlar 115. veriye kadar olan girişlerin sağlam, 115. veriden sonraki bir kısım verinin arızalı olduğunu göstermektedir. Ölçülen mesafe girişlerinin verildiği grafiğe bakılırsa YSA’ ya giriş olarak verilen gerçek verilerin gerçekten de 115. veriden sonraki bir kısım verinin arızalı olduğu görülecektir. Bu grafik bize YSA’nın doğru çalıştığını ve kullanılan algoritmanın güvenilirliğini göstermektedir.

YSA’ nın ürettiği çıkış ile görüntü verisini giriş olarak alan bulanık sınıflandırıcının ürettiği çıkış Şekil 4.12’ de gösterilmektedir. Şekil 4.12’ den anlaşılabileceği gibi bulanık sınıflandırıcı 115. veriye kadar olan girişler için 0.5 ve 0.5’ ten küçük çıkış üretmiştir. 115. veriden sonraki kısımda ise 0.7 ve 0.7’ den büyük çıkış üretmiştir. Bulanık sınıflandırıcının çıkışının üyelik fonksiyonlarını ele alırsak 0.5 ve 0.5’ ten küçük çıkışların sağlama yakın, 0.7 ve 0.7’den büyük çıkışların arızalı raya yakın olduklarını görürüz. Bu grafikte yine önerilen algoritmanın gerçek verilerle ne kadar örtüştüğünü göstermektedir.

4.3. Bölüm Değerlendirmesi

Demiryolları, tramvaylar ve hızlı trenler yaygınlaştıkça bu ulaşım şekillerinin güvenilirliği de ön plana çıkmaktadır. Demiryollarında güvenliğin sağlanması için rayların düzenli bir şekilde kontrolü oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada raydan alınan kamera görüntüsü ve lazer teknolojileri kullanılarak elde edilen ray mesafesi ve açı verileri ile bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma ile bir 16 megapiksel CCD kameradan alınan

ray görüntüleri işlenerek arızalı bölge tespit edilmektedir. Görüntüden tespit edilen arızalı bölgenin çevresel etkilerden kaynaklanabilecek gürültülerden etkilenme ihtimaline karşılık lazer teknolojisi kullanılarak ray mesafeleri ölçülmüş ve YSA ile algoritmanın güvenilirliği arttırılmıştır. Geliştirilen algoritma temassız bir yöntem kullandığından raya hiçbir zarar vermemektedir. Bu algoritma ile arıza erken safhada tespit edilebilmektedir. Arızaların erken safhada teşhisi ile bakım maliyeti azalmış olacak, mevcut insan ve donanım kaynakları en iyi şekilde kullanılabilecektir. Yapılan çalışma rayların kontrolünde, izlenmesinde, denetiminde, ölçülmesinde kullanılabilecek, raylardaki aşınma, bozulma, çatlak ve kırılmaları erken bir safhada teşhis edebilecek, doğru, sağlam, güvenilir, hızlı çalışabilen bir yöntem önermektedir. Bu bölümde anlatılan uygulamanın literatürdeki çalışmalara göre avantajları şu şekilde sıralanmaktadır:

- Literatürdeki çalışmalarda ray profil analizi için sadece görüntüler kullanılırken burada görüntüye ek olarak lazer metre ile ölçülen ray ile ölçüm sistemi arasındaki mesafe de kullanılmaktadır. Bu mesafenin kullanılıyor olması görüntüyle elde edilen sonucu güçlendirmekte ve doğruluğu garanti etmektedir.
- Literatürdeki çalışmalar raydaki arızanın rayın hangi bölümüne ait olduğuna dair bir çıkarım yapmamaktadır. Bu uygulamada ise ray bölümlere ayrıldığı için arızanın nerede olduğu bilinmektedir.
- Bu çalışma raydaki düşük seviyeli aşınmaları da tespit ettiğinden literatürdeki çalışmalardan farklı olarak hata tahmini yapabilmektedir. Bu şekilde rayın ömrü hesaplanabilir veya söz konusu rayın bulunduğu bölge için seyir kısıtı getirilebilir.

5. RAY PROFİL ÖLÇÜMÜ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI DENEYSEL BULANIK TEŞHİS ALGORİTMASI

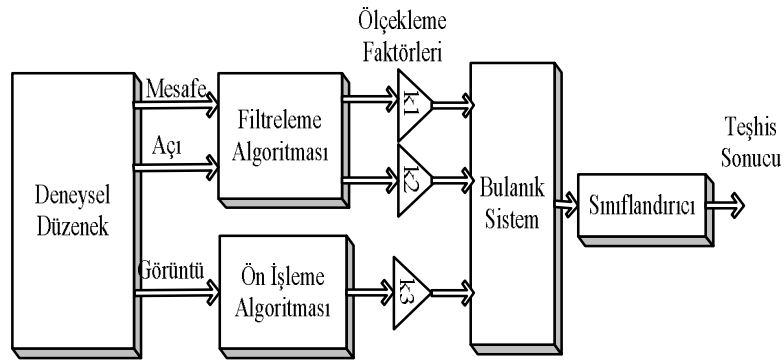
Demiryollarında rayların denetimi ve ölçümü güvenlik, konfor ve bakım için oldukça önemlidir. Bu yüzden ray profil teşhis sistemi demiryollarındaki arızaların belirlenmesi için kullanılabilir. Bu sistem görüntü işleme tabanlı bir bulanık teşhis yöntemini sunar ve doğrular. Önerilen yaklaşım kamera ile elde edilen görüntü ve lazer metre ile elde edilen derinlik verisinin birleştirilmesini sağlar. Birleştirilen görüntüler ve derinlik verilerinden filtreleme ve ön işleme algoritmaları ile özellik çıkarılır ve bir bulanık sistemde kullanılır. Bu çalışmanın temel katkısı bulanık mantık tabanlı akıllı sınıflandırıcı kullanılması, açığı bilgisinin derinlik verisiyle birleştirilmesi ve görüntü verilerinden etkili özellikler çıkarılmasıdır. Deneysel sonuçlar rayın bir yan görüntüsü için ele alınmaktadır. Bunun yanında bu yöntem yüksek doğruluklu, sağlamdır ve tüm demiryollarındaki gerçek zamanlı ölçümler için uygulanabilir. Önerilen yaklaşım sağlıklı ve hatalı veriler ile doğrulanmaktadır.

Bu çalışmada ray profil ölçümü için bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem bir lazer kaynak ve bir CCD kamera içermektedir. Raydaki bozulmalar lazer ışınının kırılmasıyla belirlenmektedir. Bir lazer metre ile lazer kaynak ve ray arasındaki mesafe ölçülmektedir. Bu bilgiler birleştirilerek ray profili çıkarılmaktadır. Ray üzerinde meydana gelen arızalar bir bulanık sistem ile belirlenmektedir. Bu algorithmada hem görüntü hem de mesafe verileri kullanılmaktadır. Böylece bu algoritma daha güvenilirlerdir.

Ray aşınmaları ve çatlakları lazer ve görüntü işleme teknolojileri kullanılarak erken bir safhada belirlenmektedir. Böylece daha düşük bakım maliyeti sağlanmış olur. Son yıllarda birçok araştırmacı ray profil ölçümü için lazer teknolojilerini kullanmaktadırlar [6]. Ölçüm sistemleri genellikle rayın bütün profilini ölçmek için kullanılmaktadır. Ray aşınmaları ölçülen ray profili ve referans ray profili karşılaştırılarak belirlenmektedir [6]. Birçok ölçüm sistemi ray profil ölçümü için lazer kamera kullanmaktadır. Ama bu kameralar oldukça pahalıdır. Bu çalışmada ray profil ölçümü için daha ucuz bir sistem önerilmektedir.

5.1. Önerilen Yaklaşım

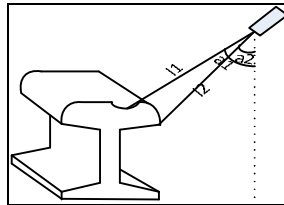
Bu çalışmada raya bir çizgi lazer tutulmakta ve bu rayın görüntüsü bir CCD kamera ile alınmaktadır. Bunun yanında lazer kaynak ve ray arasındaki mesafe belirli açı değerleriyle ölçülmektedir ve elde edilen görüntü işlenmektedir. İşlenen görüntü, ölçüm verileri ve açı verileri kullanılarak bir bulanık sistem oluşturulmaktadır. Bulanık sistemin kural tablosu sağlam bir raya ait veriler kullanılarak oluşturulmaktadır. Şekil 5.1 önerilen yöntemin blok diyagramını göstermektedir.



Şekil 5.1. Önerilen Yöntemin Blok Diyagramı.

5.2. Görüntü Ön işleme ve Filtreleme

Lazer kaynak ve ray arasındaki mesafe lazer metre ile ölçülmektedir. Fakat bazen rayın arızalı kısmına ait bir mesafe verisi ile sağlıklı bir kısmına ait mesafe verisi aynı olabilmektedir. Örneğin, Şekil 5.2’ de gösterildiği gibi l_1 arızalı bölgeye ait bir uzunlukken l_2 ’ de sağlam bölgeye ait bir uzunluktur. Fakat bu her iki uzunlukta birbirine eşittir. $l_1 = l_2$.

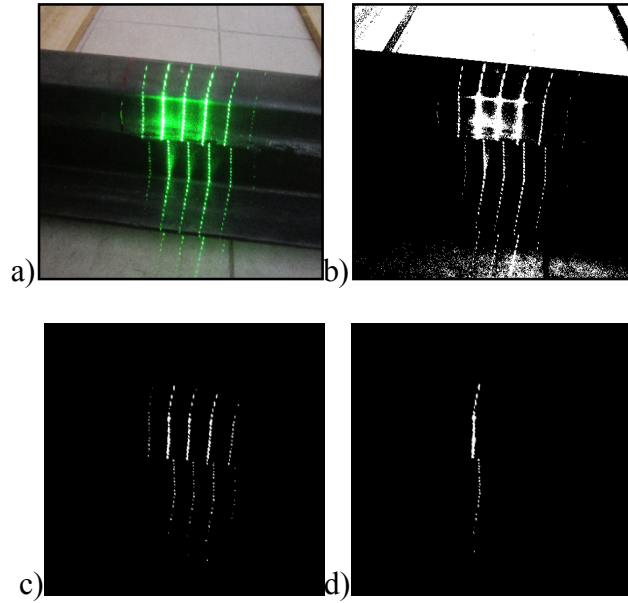


Şekil 5.2. Açı ve mesafe verilerinin elde edilmesinin gösterimi.

Bu durumda bulanık sistem yanlış sonuçlar üretebilir. Bu yüzden mesafe verisi ile birlikte açı verisi de gerekmektedir. Titreşim ve gürültü ölçüm anında elde edilen verileri etkileyebilmektedir. Filtreleme ile titreşimler ve gürültüler yok edilmektedir. Raydan alınan görüntü Şekil 5.3– a’ da gösterilmektedir. Görüntüden bilgi çıkarımı yapılabilmesi için görüntü işleme gereklidir [17]. Gri görüntüye dönüştürülen görüntü Şekil 5.3-b’ de gösterildiği gibi işlenmiştir. Görüntüdeki gürültüler Gaussian filtreleme kullanılarak yok edilmektedir. Aşağıdaki denklem gri görüntüdeki her piksele uygulanmaktadır:

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

Burada G, girişi görüntüsünü ifade etmektedir, x ve y görüntünün koordinatlarını göstermektedir ve σ standart sapmayı ifade etmektedir. Gürültüden temizlenmiş görüntü Şekil 5.3-c’de gösterilmektedir. Görüntünün dış kenarları boundary detection kullanılarak algılanmış ve yok edilmiştir [18]. Böylece görüntüden sadece bir çizgi elde edilmektedir. Şekil 5.3-d bu çizgi görüntüsünü göstermektedir.



Şekil 5.3. Görüntü İşleme Adımları, a) Orjinal Görüntü, b)Gri Seviye Görüntü, c)Gürültüden Arındırılmış Görüntü, d)Boundary Detection ile elde edilen görüntü.

Ray profili lazer ışının kırılmasıyla elde edilmektedir. Çizgi görüntüsü lazer ışının kırılma şeklini göstermektedir. Ölçülen profil noktasındaki x, y koordinatları çıkarılan profilden elde edilmektedir. Görüntünün y koordinatları bulanık sistemde kullanılmaktadır

ve bu y koordinatları Şekil 5.4' te verilen algoritma ile elde edilmektedir. Lazer ışınları rayın bozulmuş kısımlarında farklı bir kırılma gösterecektir. Bu yüzden bazı y koordinatları rayın bozuk kısımlarında farklı olacaktır. Böylece bu çizgi görüntüsü raydaki hataların belirlenmesine katkıda bulunacaktır.

Mesafe, açı ve görüntü değerleri sırasıyla 102-114, 20.3-32.5, 2000-2298 aralıklarında değişim göstermektedir. Ölçekleme faktörleri (k_1 , k_2 , k_3), elde edilen bu verileri bulanık sistem için 0-1 aralığına ölçeklemektedir. Bulanık sistemin çıkışı da 0-1 arasında değerler üretmektedir. Sınıflandırıcı bu çıkışları giriş olarak almaktadır. Sınıflandırıcının girişi 0-0.2 aralığında ise çıkış sağlıklı olmaktadır. Sınıflandırıcının girişi 0.2-0.5 arasında ise çıkış şüphelidir. Yani rayın ölçülen bölgesi yakın zamanda arızalı olabilir ve bakım gerektirebilir. Eğer sınıflandırıcının girişi 0.5' ten büyükse rayın ilgili kısmı arızalıdır.

Algoritma: Çizgi görüntüden y koordinatlarının elde edilmesi

L←Çizgi görüntü

R, C← Satır ve sütunların sayısı

Y←y koordinatları

k←0

For all i such that i<C

For all j such that j<R

If L(j, i)==255

Y(k)=i;

k=k+1;

j=N;

Endif

Endfor

j=0;

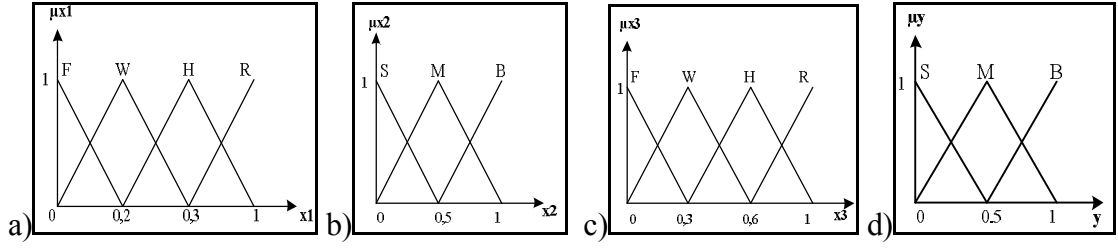
Endfor

Şekil 5.4. Çizgi görüntüsünden y koordinatlarının elde edilmesi

5.3. Kullanılan Bulanık Sistemin Tasarımı

Bulanık sistemler son yıllarda oldukça ilgi görmektedir. Başarılı sınıflandırma ve kontrol sistemleri literatürde çalışılmıştır. Bulanık mantık tabanlı karar verme sistemleri bulanık kontrol kullanılarak gerçekleştirilmektedir [19]. Bulanık kontrol bir kural tabanı içerir. Bir bulanık kural dilsel ilişkiler kullanılarak oluşturulmaktadır. Bulanık kuralların sayısı ve doğruluğu çok önemlidir. Mümkün olan her olasılık dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada, raylardaki arızaların tespit edilmesi için bulanık bir sistem kullanılmaktadır. Bulanık sistemin üç girişi ve bir çıkışı vardır. Girişler görüntü, ölçüm ve açı olarak adlandırılmaktadır. İlk giriş görüntüden elde edilen verilerden oluşmaktadır. Lazer kaynaktan gelen lazer ışınlar raya gönderilmektedir. Bu lazer ışınlar rayın şekline göre kırılmaktadırlar. Lazer ışınların kırıldığı görüntü bir CCD kamera ile elde edilmektedir. Alınan görüntü çevresel etkileri azaltmak ve görüntüden kolayca veri elde edebilmek için işlenmiştir. Siyah beyaz görüntüdeki her x koordinatı için y koordinatları taranmaktadır. X koordinatlarına karşılık gelen ilk beyaz pikselin bulunduğu y koordinatları bulanık sistemin ilk girişini oluşturmaktadır. Beyaz pikselleri ifade eden bu y koordinatları rayın tabanında, gövdesinde, mantarında veya çalışma yüzeyinde olabilmektedir. Bu yüzden bu üyelik fonksiyonları $F(\text{taban})$, $W(\text{gövde})$, $H(\text{mantar})$ ve $R(\text{çalışma yüzeyi})$ formunda oluşturulmuşlardır. Görüntüden gelen girişe ait üyelik fonksiyonları şekil 5. 5-a' da gösterilmektedir. Bulanık sistemin ikinci girişi 'mesafe ölçümü' olarak adlandırılmaktadır. Bu giriş ray ve lazer metre arasındaki mesafe ölçülerek elde edilmektedir. Sağlam bir ray için ölçülen mesafe değerleri 102 – 114 aralığındadır. Bu değerler ölçüm için üyelik fonksiyonları oluşturulurken kullanılmaktadır. Ölçülen mesafe değerleri $S(\text{küçük})$, $M(\text{orta})$ ve $B(\text{büyük})$ olabilmektedir. Şekil 5.5 – b bu üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Ölçüm açısı bulanık sistemin üçüncü girişini oluşturmaktadır. Bu açı değerleri her ray görüntüsü için sabittir ve ray tabanı, gövdesi, mantarı ve çalışma yüzeyi için belirli değerleri vardır. Bu yüzden üyelik fonksiyonları açının ait olduğu alana göre belirlenmektedir. Açıya ait üyelik fonksiyonları şekil 5.5 – c' de gösterildiği gibidir. Bulanık sistemin çıkışı için üyelik fonksiyonları rayın arızalı olup olmamasına göre düzenlenmiştir. Çıkış üç üyelik fonksiyonu içermektedir: $S(\text{sağlam})$, $M(\text{arızalı olabilir})$ ve $B(\text{arızalı})$. Çıkış için üyelik fonksiyonları şekil 5.5 – d' de gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Üyelik Fonksiyonları a) Görüntüdeki ilgilenilen çizginin y koordinatları için üyelik fonksiyonları, b) ray ve lazer kaynak arasındaki mesafe için üyelik fonksiyonları, c) Açı için üyelik fonksiyonları, d) bulanık sistemin çıkışı için üyelik fonksiyonları.

Bulanık sistem için 48 kuraldan oluşan bir kural tablosu oluşturulmuştur. Bu kural tablosu üyelik fonksiyonlarına bağlı olarak hazırlanmıştır. Kural tablosu tablo 5.1’ de gösterilmektedir.

Tablo 5.1. Bulanık Sistem İçin Kural Tablosu

X_1	F			W			H			R		
$X_2 \backslash X_3$	S	M	B	S	M	B	S	M	B	S	M	B
F	M	M	S	B	B	M	B	B	M	B	B	M
W	M	M	M	S	S	S	M	M	M	M	M	M
H	M	B	B	M	B	B	S	M	M	M	B	B
R	M	M	B	M	B	B	M	B	B	S	M	M

Bazı kurallar aşağıdaki gibidir:

If (image is H) and (measurement is B) and (angle is R), then (output is B)

Bu kurala göre görüntüden elde edilen y koordinatı ray mantarına (H) aittir. Ölçülen mesafe büyüktür ve açı çalışma yüzeyine aittir. Açı değeri sabit olduğundan görüntü verisi de çalışma yüzeyine ait olmalıdır. Çalışma yüzeyi ölçüm sistemine yakın bir mesafededir. Bu yüzden ölçülen mesafe büyük olamaz. Bu sebeple rayın arızalı olduğu söylenebilir.

If (image is H) and (measurement is B) and (angle is H), then (output is M)

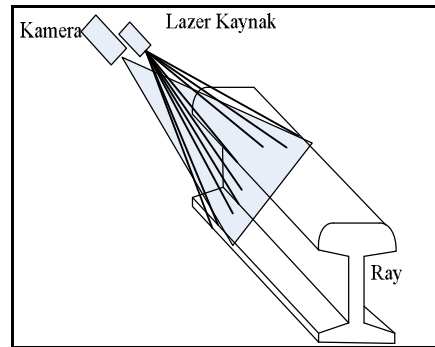
Bu kuralda görüntü koordinatı ray mantarına aittir. Açı değeri de ray mantarına ait bir değerdir. Fakat ölçülen mesafe değeri ray mantarında büyük olamaz. Bu yüzden ölçüm hatalıdır. Çevresel faktörler ölçümü etkilemiş olabilir. Bu yüzden ray arızalı veya sağlam olabilir yada rayda aşınma söz konusudur. Rayın kontrol edilmesi gerekebilir.

If (image is R) and (measurement is S) and (angle is R), then (output is S)

Bu kural bize görüntüden elde edilen koordinat verisinin ve açı değerinin çalışma yüzeyine ait olduğunu söylemektedir. Ölçülen mesafe değeri de küçüktür. Zaten çalışma yüzeyi ölçüm sistemine yakın olduğundan sağlam bir rayda ölçülen mesafe değeri de küçük olmalıdır. Bu yüzden çıkış S(sağlam) olmalıdır.

5.4. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada şekil 5.6’ da ki gibi bir deneysel düzenek oluşturulmuştur. Bu deneysel düzenekte bir CCD kamera, bir lazer kaynak ve bir lazer metre bulunmaktadır. Kamera, lazer kaynak ve lazer metrenin raya olan uzaklıkları bir lokomotifin raya olan uzaklığı temel alınarak belirlenmiştir.

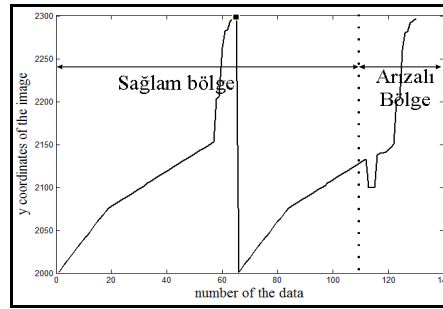


Şekil 5.6. Deneysel düzenek

Lazer kaynaktan yansıtılan lazer ışınlar rayın şeklini alarak kırılmaktadırlar. Ray profilinin görüntüsü raya yansıtılan lazer ışınların kırılmasıyla elde edilmektedir. Eğer ray bozulmuş veya aşınmışsa lazer ışınlar sağlam bir raydakinden farklı olarak kırılacaklardır. Raydaki aşınmalar farklı şekilde kırılan lazer ışının görüntüsüyle algılanabilecektir. Aynı

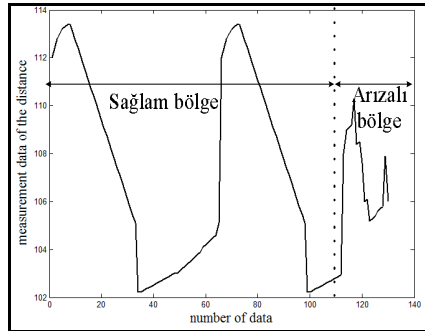
zamanda lazer metre ile aynı noktadan raya ait mesafe ölçümleri yapılmaktadır. Ölçüm yapılan nokta arızalı ise lazer metre sağlam bir rayın aynı noktasına ait mesafe değerinden farklı bir değer ölçer.

Görüntü CCD kamera ile elde edilmektedir. Bütün görüntünün depolanması büyük sistemler için sıkıntı yaratacağından görüntü işlenerek faydalı veri elde edilip saklanmaktadır. Bu yüzden sadece raya yansıyan tek bir lazer ışının görüntüsünü içeren siyah beyaz görüntü elde edilmektedir. Siyah beyaz görüntüdeki her x koordinatı için y koordinatları taranmaktadır. Bu sistemle beyaz piksellerden elde edilen ve x koordinatlarına karşılık gelen y koordinatları elde edilmektedir. Bu deneysel düzenek ile beyaz piksellerin y koordinatlarını içeren 130 görüntü verisi elde edilmiştir. Bu verilerden 115 ve 130 arasındaki veriler arızalı raya aittir. Diğerleri sağlam raydan elde edilmiştir. 130 görüntü verisinin grafiği Şekil 5.7’ de gösterilmektedir.



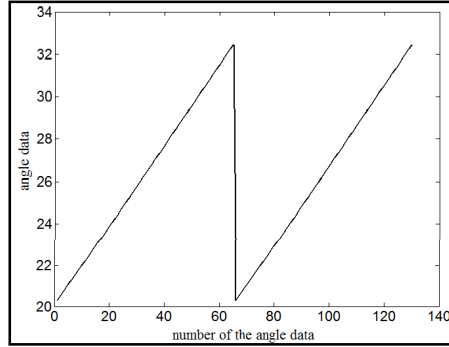
Şekil 5.7. Çizgi görüntüsüne ait y koordinat değerleri.

Lazer kaynak ve ray arasındaki mesafe lazer metre ile elde edilmiştir. Şekil 5.8 ölçülen mesafe verilerini göstermektedir.



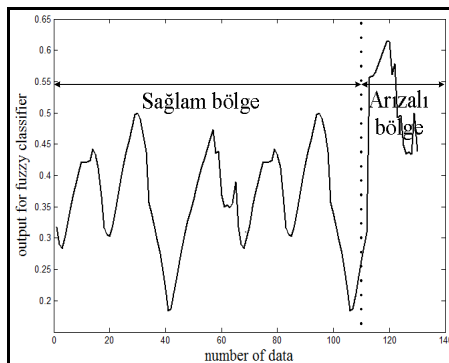
Şekil 5.8. Ölçülen mesafe değerleri

Grafikte görüldüğü gibi 115. veriden sonraki veriler arızalı raya aittir. Açı değerleri Şekil 5.9’ daki gibi sabittir.



Şekil 5.9. Ölçüm yapılan açı değerleri.

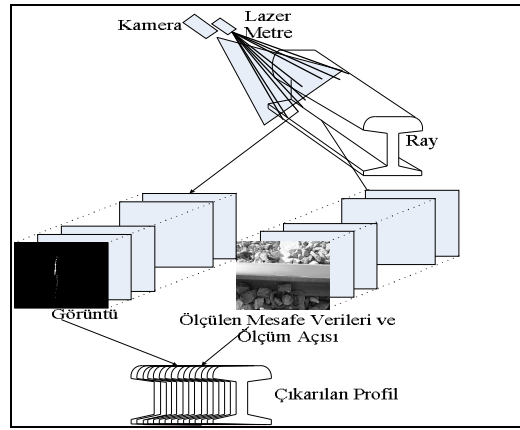
Bu çalışmada bir bulanık sistem tasarlanmıştır. Bu bulanık sistemin üç girişi ve bir çıkışı vardır. Girişler görüntüden elde edilen y koordinatlarını, lazer kaynak ve ray arasındaki mesafe verilerini ve ölçümün yapıldığı açı değerlerini içermektedir. 130 veri geliştirilen sistem kullanılarak elde edilmiştir. İlk 115 veri sağlam, son 15 veri ise arızalı raya aittir. Bu veriler bulanık sistemin girişini oluşturmaktadır. Şekil 5.10 bulanık sistemin çıkışını göstermektedir. Grafikten görüldüğü gibi bulanık sistem 115. veriden sonraki veriler için ‘arızalıdır’ çıkışı üretmiştir. Bu sonuçlar geliştirilen algoritmanın doğru çalıştığını göstermektedir.



Şekil 5.10. Bulanık sistemin çıkışı.

Bulanık sistemin çıkışına göre 115. veriden sonraki verilere ait çıkış değeri 0.5' ten büyüktür. Bu sonuç rayın bu kısmının arızalı diğer 115 veriyi içeren kısmının sağlam olduğunu göstermektedir.

Demiryolları için görüntü işleme dayalı ölçüm sistemleri bağlamında, ray profilinin belirlenmesi tehlikeli arızaları önlemek için gereklidir. Bu çalışmanın anahtar noktalarından biri ray profilinin durumunun sınıflandırılmasıdır. Bu çalışmada ray ölçüm algoritmasının uygulamaları demiryolları için raya ait görüntü dizilerinin entegrasyonu sunulmaktadır (Şekil 5.11' de gösterildiği gibi).



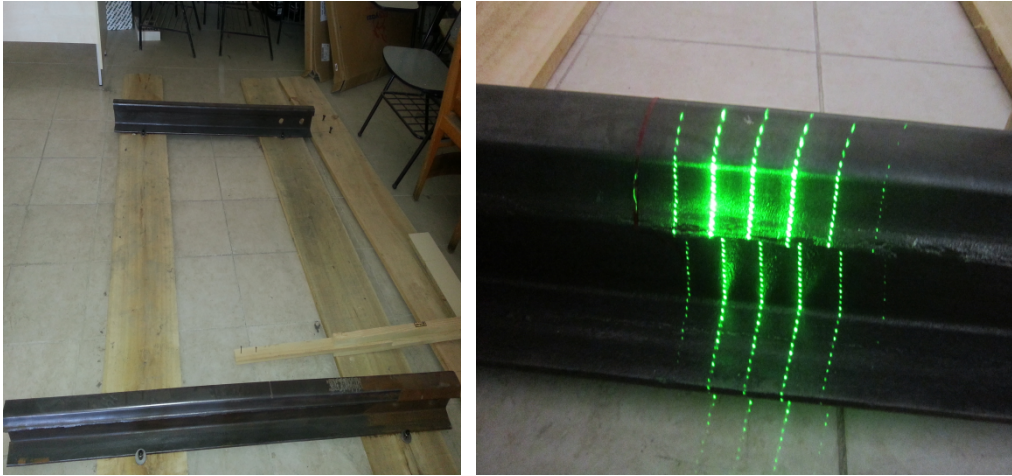
Şekil 5.11. Ray Profil Çıkarımı için Kullanılan Yaklaşım

Görüntü işleme ve bulanık mantığa dayalı etkili bir yöntem önerilmektedir. Potansiyel arızalar derinlik bilgisi ve açı değerinin birleştirilmesiyle ray görüntü dizilerindeki her ray görüntüsü sınıflandırılmaktadır. Bu arızaların belirlenme performansı teşhis algoritmasının hız ve karöaşıklık değerlerine bağlı olmaktadır. Önerilen yöntemin ihtiyaç duyduğu hesaplama zamanı literatürdeki algoritmalarından daha iyidir. Fakat deneysel sonuçlar düşük ölçüm hızıyla elde edilebilmektedir.

5.5. Bölüm Değerlendirmesi

Bu çalışma demiryollarında ray profil ölçümü için teorik, yöntemsel ve deneysel yönler

açısından bir iyileştirme sunmaktadır. Lazer metre ile elde edilen derinlik ve açı verilerinin kullanılması ve görüntü verilerinden bazı özelliklerin elde edilmesi teorik katkılardır. Etkili bir bulanık sistem ve basit bir sınıflandırıcı içeren yaklaşım yöntemsel katkı sağlamaktadır. Deneysel katkı ise deneysel düzende pratik sonuçlar ile önerilen yöntemin test edilmesi ve doğrulanmasıdır. Temel olarak demiryollarında arıza tespiti ve durum izleme için bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu çalışmada önerilen yaklaşımın gerçek zamanda sağlam, etkili, doğru, kolay ve uygulanabilir olduğu gösterilmektedir. Bu bölümde anlatılan çalışma TCDD’ den temin edilen 39 kg’ lık 1.5 metrelik iki ray üzerinde test edilmiştir. Bu raylara lokomotif boyutları dikkate alınarak kamera, lazer metre ve çizgi lazerden oluşturulan bir deney düzeneği konumlandırılmıştır. Deney düzeneği ile raylardan görüntü Şekil 5.12’ deki gibi alınmaktadır.



Şekil 5.12. Deney düzeneği

Literatürdeki çalışmalar ile önerilen yaklaşımın karşılaştırılması Tablo 5.2’ de verilmektedir. Önerilen yaklaşım literatürdeki yöntemlere göre daha basittir. Fakat bu sistemin hızı literatürdeki çalışmaların hızından daha düşüktür. Bu fark donanımdan kaynaklanmaktadır. Çünkü bu çalışmada daha ucuz donanım ekipmanları kullanılmaktadır. Bu sistemdeki donanımsal cihazlar geliştirilirse sistemin hızı oldukça artacaktır. Bu özellikleriyle de gerçekleştirilen sistem geliştirmeye açık bir sistemdir.

Bu bölümde anlatılan çalışmanın bir önceki bölümde anlatılan çalışmaya göre farklılıkları şu şekildedir:

- Bu çalışmada raya çizgi lazer yansıtılmıştır. Yansıtılan çizgi lazer rayın şekline göre kırıldığından raydaki aşınmalar çizgi lazer görüntüsünden elde edilebilmektedir.
- Sadece çizgi lazer görüntüsü ön işleme ile elde edilip saklandığından çok görüntülü sistemlerde sıkıntı doğurmayacaktır.
- Bu çalışmada önceki çalışma gibi lazer metre ile ölçülen ray ile ölçüm sistemi arasındaki mesafe verisi ve ölçüm açısıyla desteklenmektedir.

Tablo 5.2. Literatürdeki Çalışmalar ile Önerilen Yaklaşımın karşılaştırılması

	Önerilen Yaklaşım	Literatürdeki Yöntemler
Donanım	Lazer kaynak ve kamera	Lazer kamera
Yöntem	Basit	Karmaşık
Akıllı Teknikler	Bulanık mantığa dayanan algoritma	Geleneksel yöntemler
Sağlamlık	Açı verisinden dolayı iyi	Lazer kameradan dolayı iyi
Karmaşıklık	Düşük	Orta
Maliyet	Düşük	Yüksek
Doğruluk	Yüksek	Yüksek
İşletim hızı	Orta (gelişime açık)	Yüksek

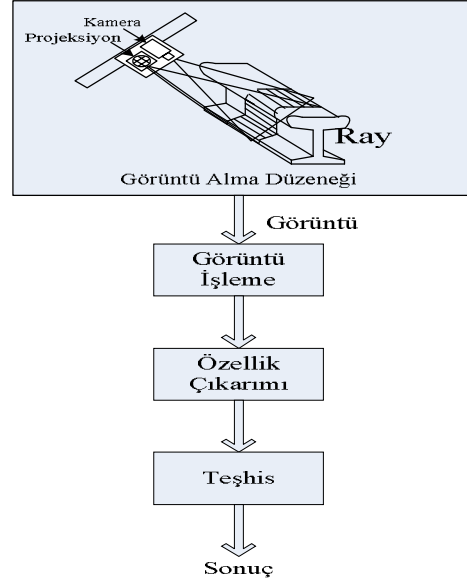
6. RAY ARIZALARININ TEŞHİSİ İÇİN DENEYSEL BİR YAKLAŞIM

Demiryollarında ray bakımı, oluşabilecek tehlikeli durumları önlemek için oldukça önemlidir. Ray bakımı ile raylardaki bozulmalar ve normal olmayan durumlar tespit edilip bu durumlara önceden müdahale edilebilmektedir. Böylece tehlikeli durumlar engellenebilmektedir. Rayların bakımında temaslı ve temassız yöntemler kullanılmaktadır. Temassız yöntemler raya temastan dolayı zarar vermedikleri için oldukça önemlidir. Bu çalışmada bir CCD kamera ve bir lazer tarayıcı kullanılarak üç boyutlu ray görüntüsü elde edilmektedir. Elde edilen görüntüler görüntü işleme teknikleri ile işlenerek ray profili elde edilmektedir. Lazer tarayıcı ile alınan hassasiyeti yüksek üç boyutlu görüntü raydaki küçük bozulmaları tespit etmekte ve lazer ışınların kırılmasıyla derinlik bilgisi sağlamaktadır. Bu şekilde hassas, yüksek doğruluklu, güvenilir bir yöntem önerilmektedir.

Raylardaki aşınma ve bozulmaların temaslı ve mekanik yöntemlerle kontrol edilmesi raya zarar vermektedir. Bunun yanı sıra elle veya gözle yapılan muayeneler doğruluk payı düşük sonuçlar üretmektedir. Bu nedenle son yıllarda ray profil ölçümü için temassız ve doğruluk payı yüksek olan lazer ve görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır.

6.1. Önerilen Yöntem

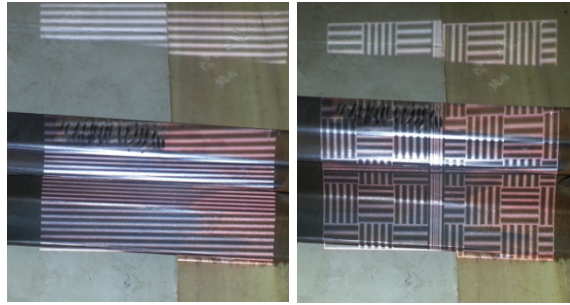
Bu yöntemde bir CCD kamera ve bir projeksiyon içeren özel bir yazılımla birleştirilmiş bir lazer tarayıcılı kamera ile raydan görüntüler alınmaktadır. Önerilen yöntemin blok diyagramı Şekil 6.1'deki gibidir.



Şekil 6.1. Önerilen yöntemin blok diyagramı

1. Aşama: Görüntülerin elde edilmesi

Bir CCD kamera ve projeksiyon içeren bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Özel bir yazılımla projeksiyondan raya lazer ışınlar gönderilerek rayın lazer ışınlarla taranması sağlanmaktadır. Yine aynı yazılımla taranan görüntü CCD kamera ile elde edilmektedir. Burada en önemli etken kamera ve projeksiyonun kalibre edilmesidir. Bu yüzden ilk olarak kamera ve projeksiyonun kalibrasyonu yapılmaktadır. Ray lazer ışınlarla Şekil 6.2’ deki gibi taranmaktadır. Projeksiyondan sağlanan lazer ışınlar rayı taramaktadır. Taranan ray görüntüsü kamera ile elde edilerek kameranın sahip olduğu özel bir yazılımla şekil 6.3’ teki gibi üç boyutlu bir görüntü elde edilmektedir. Kamera ve projeksiyonu kullanan yazılımdaki temel mantık lazer ışınların kırılmasıyla görüntüdeki derinliklerin elde edilmesidir.



Şekil 6.2. Rayın lazer ışınlarla taranması

1. Aşama: Görüntü İşleme

Raylara lazer ışınlar gönderen projeksiyonlar tutularak raydan görüntü alınmaktadır. Lazer ışının kırılmasıyla raydaki aşınma ve bozulmalar net bir şekilde görüntüye yansımaktadır. Elde edilen renkli görüntü gri seviye resimlere dönüştürülmektedir. Ray görüntüleri, kameranın titreşiminden ve çevresel faktörlerden etkilenebilmekte ve bu titreşimler sonucu rayda gürültüler oluşabilmektedir. Ray görüntülerindeki titreşimler çeşitli gürültü filtreleme yöntemleri ile elimine edilebilmektedir. En önemli gürültü tipleri aşağıdaki gibidir:

Tuz-Biber Gürültü: Bu gürültü şekli görüntü üzerinde keskin bir şekilde dağılmaktadır. Görüntü üzerinde belirgin şekilde siyah ve beyaz noktalar olarak görülmektedir [17]. Bu gürültü tipi genel olarak kameranın algılayıcılarındaki piksel elemanlarının çalışmalarındaki bozukluklardan veya sayısallaştırma sürecindeki zamanlama hatalarından meydana gelmektedir. Alçak geçiren filtreler kullanılarak bu gürültü şekli yok edilebilmektedir. Medyan filtreleme bu gürültü şeklini yok etmek için sık kullanılan bir filtreleme türüdür [18].

Gaussian Gürültü: Görüntü elde etme sürecinde elektriksel olarak ortaya çıkan gürültülerdir [17]. Görüntüde gelişigüzel dalgalanmalara sebep olmaktadır. $I(x, y)$ şeklinde bir görüntü fonksiyonu $N(x, y)$ şeklinde bir gaussian gürültü içeriyorsa gürültülü görüntü;

$$G=I+N$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Bu gürültü şekli gaussian filtreleme ile yok edilebilmektedir [19]. Bütün görüntünün ortalaması alınarak ta yok edilebilir.

Periyodik Gürültü: Görüntü üzerinde periyodik şekilde tekrar eden nesnelerin bulunduğu gürültü tipidir. Trigonometrik fonksiyonlar oluşturulup orijinal görüntüye eklenerek bu gürültü şekli yok edilebilmektedir [17].

Gürültüden arındırılan görüntülerden işe yarar veri elde edebilmek için kenar çıkarma yöntemleri çok sık kullanılmaktadır. Sık kullanılan bazı kenar çıkarma yöntemleri aşağıdaki gibidir:

Sobel kenar algılama: 1. kısmi türeve dayanmaktadır. Aşağıdaki maskeyi kullanarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [20]:

Z_1	Z_2	Z_3
Z_4	Z_5	Z_6
Z_7	Z_8	Z_9

Maskelenen Görüntü Pikselleri

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

$$G_x = (Z_7 + 2Z_8 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_2 + Z_3)$$

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

$$G_y = (Z_3 + 2Z_6 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_4 + Z_7)$$

$$g = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2}$$

$$g = [(Z_7 + 2Z_8 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_2 + Z_3)]^2 + [(Z_3 + 2Z_6 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_4 + Z_7)]^2]^{1/2}$$

Prewitt kenar algılama: Sobel kenar algılamaya göre hesaplama kolaylığı açısından daha basittir. Fakat gürültülü sonuçlar üretebilmektedir [21]. Kullandığı maske ve hesaplama şekli aşağıdaki gibidir:

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

$$G_x = (Z_7 + Z_8 + Z_9) - (Z_1 + Z_2 + Z_3)$$

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

$$G_y = (Z_3 + Z_6 + Z_9) - (Z_1 + Z_4 + Z_7)$$

Roberts kenar algılama: En eski ve en basit kenar çıkarım yöntemidir. Sadece yatay ve dikey kenarları algılayabilmektedir. Hızlı ve basittir. Bu yüzden gerçek zamanlı

uygulamalarda kullanılabilmektedir [17]. Maskesi ve hesaplama denklemi aşağıdaki gibidir:

$$G_x = Z_9 - Z_5$$

-1	0
0	1

$$G_y = Z_8 - Z_6$$

0	-1
1	0

Kenar algılama sonucunda elde edilen görüntü ile görüntüden işe yarar veri elde edilebilmektedir.

Projeksiyondan gönderilen lazer ışınlarla taranan ve kamera ile elde edilip kamera yazılımıyla üç boyutlu hale getirilen görüntü işlenmektedir. Kameradan alınan renkli görüntüyü saklamak ve işlemek daha zor olacağından elde edilen görüntü ilk olarak gri seviyeye dönüştürülmektedir. Gri seviye görüntü 0-255 arası parlaklık değerlerini içermektedir.

Gri seviye görüntüye Roberts kenar çıkarma yöntemi uygulanarak kenarları çıkarılmıştır. Roberts kenar çıkarma yönteminde kullanılan ve yukarıda belirtilen maskeleme matrisleri gri seviye görüntünün her bir pikseline uygulanmıştır.

Kenarları çıkan görüntüden etkili veriler elde edebilmek ve görüntüyü daha seçici bir hale getirebilmek için görüntünün komplementi alınmıştır. Kenarları çıkarılan görüntü binary görüntüye dönüştürülmüştür. Binary görüntüdeki değeri 0 olan her bir piksel 1, değeri 1 olan her bir piksel 0 yapılmıştır. Bu şekilde görüntünün komplementi elde edilmiştir.

Komplementi alınan görüntüdeki gürültüleri yok etmek için [3 3]'lük bir matrisle medyan filtreleme uygulanmıştır. Medyan filtreleme ile görüntü her bir piksel için [3 3]'lük matrisler şeklinde ele alınmaktadır. Her bir matris için tüm değerler küçükten büyüğe sıralanmakta ve ortadaki değer matrisin ortasına yerleştirilmektedir.

2. Aşama: Özelliğ Çıkarımı

Görüntü işleme sonucu elde edilen yeni görüntüden işe yarar veri elde edebilmek için bir algoritma yazılmıştır. Görüntü işleme sonucu elde edilen sağlam ve arızalı ray görüntülerine bakıldığında belirgin şekilde bir fark ortaya çıkmıştır.

Bu yüzden görüntü işleme sonucu elde edilen yeni görüntülerdeki siyah nokta sayılarını bulan bir algoritma yazılmıştır. İşlenmiş görüntüdeki siyah piksel sayısı aşağıdaki algoritma ile elde edilmektedir. Bu algoritma görüntüyü giriş olarak almakta ve görüntüdeki siyah piksel sayısını çıkış olarak döndürmektedir.

Tablo 6.1. Özellik Çıkarımı için Algoritma

Algoritma: Görüntüdeki siyah nokta sayısının elde edilmesi

G←işlenmiş görüntü

R, C← satır ve sütun sayısı

k←0 siyah piksel sayısı

For all i such that i<C

For all j such that j<R

If G(j, i)==0

k=k+1;

Endif

Endfor

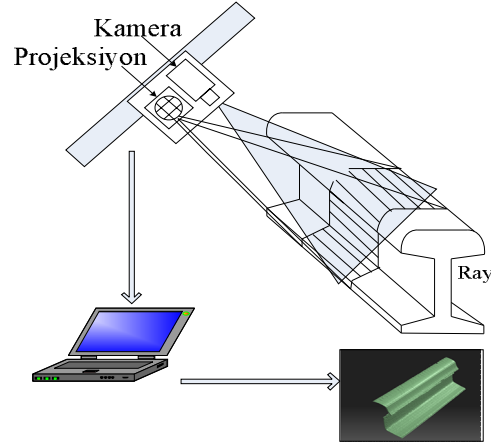
Endfor

3. Aşama: Teşhis

Bu çalışmada 100 adet sağlam ray ve 50 adet arızalı ray görüntüsü elde edilmiştir. Bu 150 görüntü işlenmiştir. İşlenen 150 görüntüdeki siyah piksel sayıları 500-1500 arasında değişmektedir. Kullanılan test görüntüleri sonucu görüntüdeki siyah piksel sayısının 1000’ den fazla olduğu durumlarda görüntü arızalı olduğuna karar verilmektedir.

6.2. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada bir lazer tarayıcı projeksiyon ve bir CCD kameradan oluşan bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Oluşturulan deney düzeneğinin blok diyagramı şekil 6.3’ te gösterilmektedir.

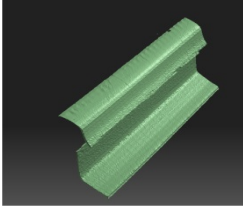
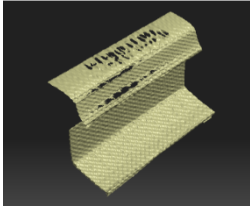
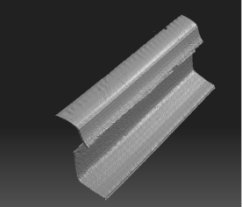
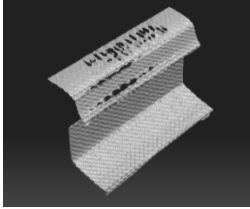
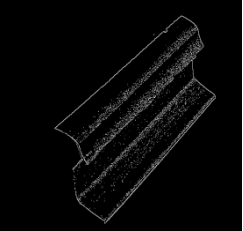
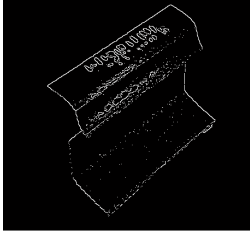
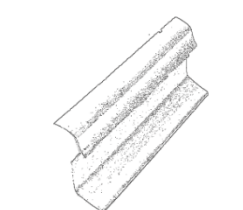
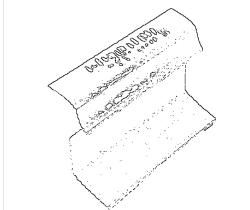
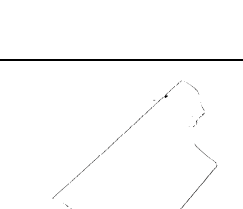
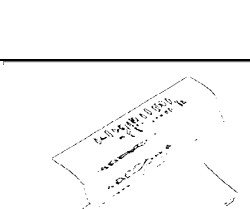


Şekil 6.3. Önerilen yöntem için geliştirilen deney düzeneğinin blok diyagramı

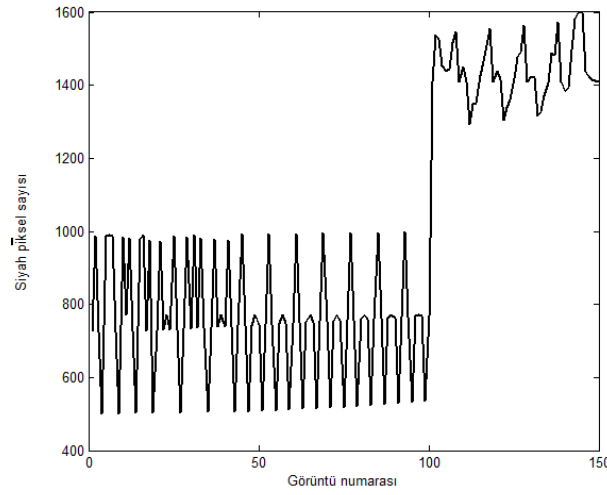
Deney düzeneği ile elde edilen ray görüntülerine görüntü işleme teknikleri uygulanarak görüntü özellik çıkarılabilecek hale getirilmektedir. İşlenerek elde edilen yeni görüntüye yukarıda verilen algoritma uygulanarak görüntüdeki siyah pikseller elde edilmektedir. Rayın arızalı veya sağlam olduğu bu siyah piksellerin sayısına bağlı olarak belirlenmektedir.

İşlenen görüntüler Şekil 6.4’ te gösterilmektedir. Bu çalışmada 100 adet sağlam ray görüntüsü ve 50 adet arızalı ray görüntüsü elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler işlenerek özellik çıkarılacak hale getirilmiştir. İşlenmiş görüntüdeki siyah piksel sayısı elde edilmiştir. Bu siyah nokta sayısını içeren veriler şekil 6.5’ de gösterildiği gibidir.

İlk 100 görüntü sağlam raydan, sonraki 50 veri ise arızalı raydan alınmıştır. Yukarıdaki grafikte görüldüğü gibi ilk 100 veriye ait siyah piksel sayısı 1000 değerinin altındadır. Son 50 veri ise 1000’ den büyük değerlere sahiptir. Bu grafik bizim yöntemimizin doğru çalıştığını göstermektedir.

	Sağlam Ray	Arızalı Ray
RGB Görüntü		
Gri Seviye Görüntü		
Kenar çıkarımı (Roberts)		
Kenarı çıkarılmış görüntünün complementi		
Medyan filtreleme ile gürültü yok etme [3 3] matris ile		

Şekil 6.4. Ray görüntüsüne uygulanan görüntü işleme teknikleri sonucu rayın yeni görüntüsü



Şekil 6.5. Her bir görüntüye ait siyah piksel sayısını içeren veriler

6.3. Bölüm Değerlendirmesi

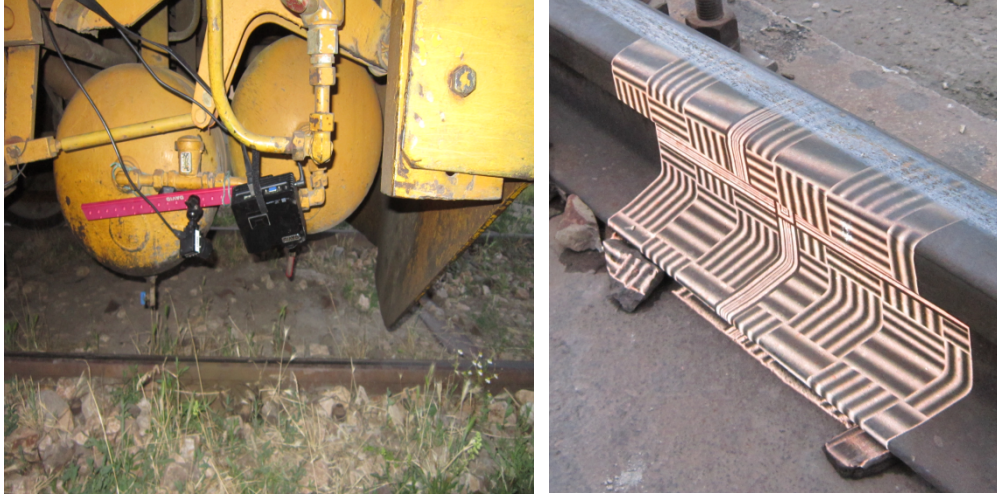
Demiryolları, tramvaylar ve hızlı trenler yaygınlaştıkça bu ulaşım şekillerinin güvenilirliği de ön plana çıkmaktadır. Demiryollarında güvenliğin sağlanması için rayların düzenli bir şekilde kontrolü oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada bir CCD kamera ve bir projeksiyon içeren lazer tarayıcı kamera kullanılarak bir yöntem geliştirilmiştir. Bu entegre edilmiş lazer tarayıcılı kamera Şekil 6.6’ da gösterildiği gibidir.



Şekil 6.6. Lazer tarayıcılı kamera

Lazer tarayıcı kamera, laboratuvar şartlarında TCDD’ den temin edilen iki adet 39 kg’ lık ray ve traverslerle oluşturulmuş bir deney düzeneğinden görüntü almaktadır. Görüntü

alırken Şekil 6.2’ deki gibi enine ve boyuna lazer ışınlar göndermektedir. Aynı zamanda geliştirilen bu deney düzeneği bir demiryolu aracına Şekil 6.7’ deki gibi monte edilerek gerçek demiryolu cari hattından görüntü elde edilmiştir.



Şekil 6.7. Demiryolu cari hattından görüntü alınması

Kameradan alınan görüntüler ile lazer ışınlarının kırılmasıyla rayda oluşan aşınma ve bozulmalar tespit edilebilmektedir. Geliştirilen algoritma temassız bir yöntem kullandığından raya hiçbir zarar vermemektedir. Bu algoritma ile arıza erken safhada tespit edilebilmektedir. Arızaların erken safhada teşhisi ile bakım maliyeti azalmış olacak, mevcut insan ve donanım kaynakları en iyi şekilde kullanılacaktır. Yapılan çalışma rayların kontrolünde, izlenmesinde, denetiminde, ölçülmesinde kullanılabilir, raylardaki aşınma, bozulma, çatlak ve kırılmaları erken bir safhada teşhis edebilecek, doğru, sağlam, güvenilir, hızlı çalışabilen bir yöntem önermektedir. Bu bölümde gerçekleştirilen çalışmanın diğer bölümlerdeki çalışmalara ve literatüre göre avantajları şu şekildedir:

- Bu bölümde rayın sadece bir çizgi boyunca kontrolü yerine 20 cm’ lik alan kontrolü yapılmaktadır. Buda diğer çalışmalara göre uzun mesafeli tren hatlarında daha hızlı ölçüm sağlamaktadır. Aynı zamanda alan şeklinde ölçüm yapıldığından arızalı bölgelerin ölçülmeden geçilme ihtimali neredeyse sıfıra inmektedir. Böylelikle daha güvenilir ölçüm yapılabilir.
- Lazer tarayıcı kamera ile hem enine hem boyuna lazer ışınlar gönderildiği için daha sağlam derinlik verileri elde edilmektedir.

7. SONUÇLAR

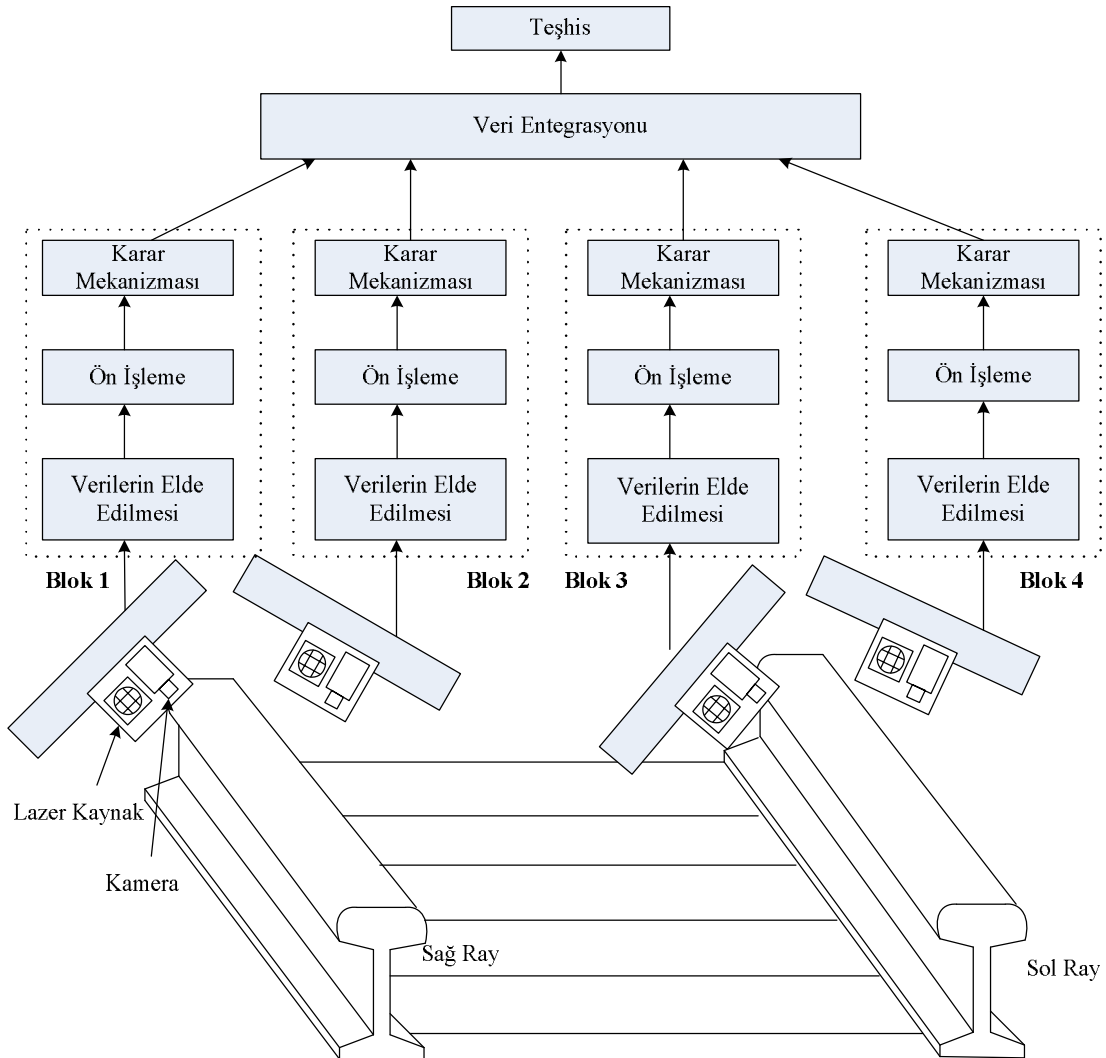
Demiryolları, ucuz, güvenilir ve gelişime açık bir ulaşım sistemi olduğundan oldukça önemlidir. Demiryollarının alt yapısı ve demiryolu araçları büyük maliyet gerektirmektedir. Bu yüzden demiryollarında oluşabilecek bir kaza hem çok büyük maddi zararlara sebep olacak hem de insan kaybına neden olacaktır. Bu yüzden demiryollarında güvenliğin sağlanması için rayların düzenli bir şekilde kontrolü oldukça önem arz etmektedir. Düzenli kontrol edilen raylardaki arızalar tehlikeli bir boyuta ulaşmadan önlem alınabilecektir. Bu tezde raydaki arızaları tespit edebilmek ve ray profil analizi yapabilmek için görüntü işleme teknikleri ve lazer teknolojileri kullanılarak temassız yöntemler geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmalar temassız yöntemler kullandığından raya hiçbir zarar vermemektedir. Bu şekilde arızalar erken safhada tespit edilebilmektedir. Arızaların erken safhada teşhisi ile bakım maliyeti azalmış olacak, mevcut insan ve donanım kaynakları en iyi şekilde kullanılabilir. Yapılan çalışmalar rayların kontrolünde, izlenmesinde, denetiminde, ölçülmesinde kullanılacak, raylardaki aşınma, bozulma, çatlak ve kırılmaları erken bir safhada teşhis edebilecek, doğru, sağlam, güvenilir, hızlı çalışabilmektedir.

Bu tezde temassız görüntü işlemeye dayalı ray profil analizi yapabilmek için konu ile ilgili literatür taranmış ve özetlenmiştir. Demiryolu ve raylara ait kavram araştırılarak çalışmalar için gerekli bilginin zemini oluşturulmuştur. Bu yönüyle bu tez başka tez ve çalışmalara kaynak olabilecektir. Her bir çalışma için belli deney düzenekleri oluşturulmuştur. Deney düzenekleri ile alınan veriler uygun teknikler ve algoritmalarla sınıflandırılacak hale getirilmiştir. Yapılan çalışmalarda deneysel sonuçlardan görüleceği gibi ray profil analizine dair sağlıklı ve verimli sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel düzenekler literatürdeki çalışmalara göre daha düşük maliyetle oluşturulmuştur. Bu açıdan da avantajlı yöntemler haline gelmektedir. Aynı zamanda gelişime açık sistemler sunulmuştur. Geliştirilen yöntemler başarı ve çalışma zamanı açısından Tablo 7.1' deki gibi karşılaştırılmıştır. Bölüm 4' te anlatılan yöntem 1. Yöntem, Bölüm 5' te anlatılan yöntem 2. Yöntem, Bölüm 6' da çalıştırılan yöntem 3. Yöntem olarak adlandırılmaktadır.

Tablo 7.1. Yöntemlerin Karşılaştırılması

	1. Yöntem	2. Yöntem	3. Yöntem
Başarı Oranı	% 98.897	% 99.923	% 99.956
Çalışma Zamanı	176.6867 sn	199.4317 sn	201.1305

Ölçüm sistemlerinin genel çatısı Şekil 7.1’ de verildiği gibidir. Bu tezde yapılan çalışmalar Şekil 7.1’ de verilen blokları (blok 1, blok 2, blok 3, blok 4) içermektedir. Tezde anlatılan yöntemlerin her biri her iki rayın iç ve dış kısımlarına ayrı ayrı uygulanarak ayrı ayrı sonuçlar elde edilmektedir. Bu sonuçlar uygun birleştirme algoritmalarıyla entegre edilerek tüm demiryolu hattı için teşhis yapılmaktadır.



Şekil 7.1. Ray profil ölçüm sisteminin genel blok diyagramı

KAYNAKLAR

- [1] **Hawari, H. M.**, 2007. “Minimising Track Degradation Through Managing Vehicle/Track Interaction”, *PhD Thesis*, Faculty of Built Environment and Engineering, Queensland University of Technology.
- [2] **Zerbst, U., Vormwald, M., Andersch, C., Madler, K., Pfuff, M.**, 2005. The development of a damage tolerance concept for railway components and its demonstration for railway axle, *Engineering Fracture Mechanics*, **72**, 209-239.
- [3] **Ekberg, A., Kabo, E.**, 2005. Fatigue of railway wheels and rails under rolling contact and thermal loading – an overview, *Wear*, **258**, 1288-1300.
- [4] **Bocciolone, M., Caprioli, A., Cigada, A., Collina, A.**, 2007. A measurement system for quick rail inspection and effective track maintenance strategy, *Mechanical Systems and Signal Processing*, **21**, 1242-1254.
- [5] **Hugenschmidt, J.**, 2000. Railway track inspection using GPR, *Journal of Applied Geophysics*, **43**, 147-155.
- [6] **Liu, Z., Sun, J., Wang, H., Zhang, G.**, 2011. Simple and fast rail wear measurement method based on structured light, *Optics and Lasers in Engineering*, **49(11)**, 1343-1351.
- [7] **Chen, J., Roberts, C., Weston, P.**, 2008. Fault detection and diagnosis for railway track circuits using neuro fuzzy systems, *Control Engineering Practice*, **16**, 585-596.
- [8] **Jin, W., Zhan, X., Jiang, B.**, 2007. Non contact rail wear inspecting system based on image understanding, *Mechatronics and Automation*, 5-8 Ağustos, 3854-3858.
- [9] **Matsumoto, A., Sato, Y., Ono, H., Tanimoto, M., Oka, Y., Miyauchi, E.**, 2002. Formation mechanism and countermeasures of rail corrugation on curved track, *Wear*, **253**, 178-184.
- [10] **Jie, L., Siwei, L., Qingyong, L., Hanqing, Z., Shengwei, R.**, 2009. Real-time rail head surface defect detection: A geometrical approach, *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 769-774.

- [11] **Kaewunruen, S., Remennikov, A., M.,** 2007. Field trials for dynamic characteristics of railway track and its components using impact excitation technique, *NDT&E International*, **40**, 510-519.
- [12] **Leedham, R., C., Nelson, S.,** 1995. Wheel rail profile studies, *Railroad Conference*, 4-6 Nisan, 159-162.
- [13] **Oukhellou, L., Debiolles, A., Denoux, T., Aknin, P.,** 2010. Fault diagnosis in railway track circuits using Dempster-Shafer classifier fusion, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **23**, 117-128.
- [14] **Esveld, C.,** 2001. Modern Railway Track, MRT Productions, The Netherlands.
- [15] **Aydın, I., Karaköse, M., Akın, E.,** 2012. An adaptive artificial immune system for fault classification, *Journal of Intelligent Manufacturing*, **23**, 1489–1499.
- [16] **Karaköse, M., Aydın, I., Akın, E.,** 2010. The intelligent fault diagnosis frameworks based on fuzzy integral, *IEEE Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion (SPEEDAM) Conference*, 14-16 Haziran, İtalya, 1634 - 1639.
- [17] **Gonzalez, R. C., Woods, R. E.,** 2007. Digital Image Processing, Prentice Hall, 3 edition.
- [18] **Canny, J.,** 1986. A computational approach to edge detection, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **8**, 679-714.
- [19] **Karaköse, M., Akın, E.,** 2010. Block based fuzzy controllers, *International Journal Of Research And Reviews In Applied Sciences*, **3(1)**, 100-110.
- [20] **Altınok, S.,** 2012. Türkiye’ de ulaştırma politikaları, karayolları ve demiryollarının mukayesesı, *Selçuk Üniversitesi İİBF Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*.
- [21] **Li, Q.,** 2012. A real-time visual inspection system for discrete surface defects of rail heads, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*.
- [22] **Zerbst, U., Lunden, R., Edel, K. O., Smith, R. A.,** 2009. Introduction to the damage tolerance behaviour of railway rails-a review, *Engineering Fracture Mechanics*.
- [23] **Ekim, O.,** 2007. Yüksek Hızlı Demiryolları için Geometrik Özellikler ve Altyapı, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [24] **Oukhellou, L., Come, E., Bouillaut, L., Aknin, P.,** 2008. Combined use of sensor data and structural knowledge processed by bayesian network: application to a railway diagnosis aid scheme, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, **16(6)**, 755-767.
- [25] **Van, K. D., Maitournam, M. H., Moumni, Z., Roger, F.,** 2009. A comprehensive approach for modeling fatigue and fracture of rails, *Engineering Fracture Mechanics*, **76(17)**, 2626-2636.
- [26] **Zumpano, G., Meo, M.,** 2006. A new damage detection technique based on wave propagation for rails, *International Journal of Solids and Structures*, **43**, 1023-1046.
- [27] **Zerbst, U., Madler, K., Hintze, H.,** 2005. Fracture mechanics in railway applications – an overview, *Engineering Fracture Mechanics*, **72**, 163-194.
- [28] **Marino, F., Distanto, A., Mazzeo, P. L., Stella, E.,** 2007. A real-time visual inspection system for railway maintenance: automatic hexagonal-headed bolts detection, *Systems, Man and Cybernetics*, **37(3)**, 418-428.
- [29] **Madia, M., Beretta, S., Zerbst, U.,** 2008. An investigation on the influence of rotary bending and press fitting on stress intensity factors and fatigue crack growth in railway axles, *Engineering Fracture Mechanics*, **75**, 1906-1920.
- [30] **Alippi, C., Casagrande, E., Fumagalli, M., Scotti, F., Piuri, V., Valsecchi, L.,** 2002. An embedded system methodology for real time analysis of railways track profile, *Instrumentation and Measurement Technology Conference*, **1**, 747-751.
- [31] **Alippi, C., Casagrande, E., Scotti, F., Piuri, V.,** 2000. Composite real-time image processing for railways track profile measurement, *Instrumentation and Measurement*, **49(3)**, 559-564.
- [32] **Faiz, R. B., Singh, S.,** 2009. Rail profile condition monitoring information analysis of UK rail track”, *ICC’09 International Conference on Computing, Engineering and Information*, 191-199.
- [33] **Zhiping, Z., Fei, L., Yong, Z.,** 2010. Wavelet analysis of track profile irregularity for Beijing-Tianjin intercity high speed railway on bridge, *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*, **3**, 1155-1158.
- [34] **Caprioli, A., Cigada, A., Raveglia, D.,** 2007. Rail inspection in track maintenance: A benchmark between the wavelet approach and the more conventional fourier analysis, *Mechanical Systems and Signal Processing*, **21(2)**, 631-652.

- [35] **Pohl, R., Erhard, A., Montag, H., J., Thomas, H., M., Wüstenberg, H.,** 2004. NDT techniques for railroad wheel and gauge corner inspection, *NDT&E International*, **37**, 89-94.
- [36] **Clark, R.,** 2004. Rail flaw detection: overview and needs for future developments, *NDT&E International*, **37**, 111-118.
- [37] **Rose, J., L., Avioli, M., J., Mudge, P., Sanderson, R.,** 2004. Guided wave inspection potential of defects in rail, *NDT&E International*, **37**, 153-161.
- [38] **Edwards, R., S., Dixon, S., Jian, X.,** 2006. Characterisation of defects in the railhead using ultrasonic surface waves, *NDT&E International*, **39**, 468-478.
- [39] **Fan, Y., Dixon, S., Edwards, R., S., Jian, X.,** 2007. Ultrasonic surface wave propagation and interaction with surface defects on rail track head, *NDT&E International*, **40**, 471-477.
- [40] **Trinh, H., Haas, N., Li, Y., Otto, C., Pankanti, S.,** 2012. Enhanced rail component detection and consolidation for rail track inspection, *IEEE Workshop on the Applications of Computer Vision*, 289-295.
- [41] **Papaelias, M., P., Lugg, M., C., Roberts, C., Davis, C., L.,** 2009. High speed inspection of rails using ACFM techniques, *NDT&E International*, **42**, 328-335.
- [42] **Shi, H., Zhang, Y.,** 2010. Study on management information system of railway line clearance detection based on noncontact measurement technique, *2nd International Conference on Industrial and Information Systems(IIS)*, **2**, 202-205.
- [43] **Marquez, F., P., G., Lewis, R., W., Tobias, A., M., Roberts, C.,** 2008. Life cycle costs for railway condition monitoring, *Transportation Research Part E*, **44**, 1175-1187.
- [44] **Wang, L., Hang, Y., Luo, S., Luo, X., Jiang, X.,** 2011. Deblurring gaussian-blur images: A preprocessing for rail head surface defect detection, *SOLI IEEE International Conference*, 451-456.
- [45] **Babenko, P.,** 2006. "Visual inspection of railroad tracks", *Doktora Tezi*, M.S. University of Central Florida.
- [46] **Thomas, G.,** 1995. Overview of nondestructive evaluation technologies, *Nondestructive Evaluation of Aging Railroads*, **2458**, 5-9.
- [47] **Magnus, D.,** 1995. Non contact technology for track speed rail measurements (ORIAN), *Nondestructive Evaluation of Aging Railroads*, **2458**, 45-51.

- [48] **Mandriota, C., Nitti, M., Ancona, N., Stella, E., Distante, A.**, 2004. Filter based feature selection for rail defect detection, *Machine Vision and Applications*, **15**, 179-185.
- [49] **Ruvo, P., D., Ruvo, G., D., Distante, A., Nitti, M., Stella, E., Marino, F.**, 2008. A visual inspection system for rail detection and tracking in real time railway maintenance, *The Open Cybernetics and Systemics Journal*, **2**, 57-67.
- [50] **Smith, R., A.**, 2005. Railway fatigue failures: an overview of a long standing problem, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, **36(11)**, 697-705.
- [51] **Ferreira, L., Murray, M.**, 1997. Modelling rail track deterioration and maintenance: current practices and future needs, *Transport Reviews*, **17(3)**, 207-221.
- [52] **Lewis, R., B., Richards, A., N.**, 1988. A compensated accelerometer for the measurement of railway track crosslevel, *Transactions on Vehicular Technology*, **37**, 174-178.
- [53] **Tang, Q.**, 1992. Railway track geometry real time inspecting system, *Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 12-14 Mayıs, 656-660.
- [54] **Xishi, W., Bin, N., Yinhang, C.**, 1992. A new microprocessor based approach to an automatic control system for railway safety, *Industrial Electronics*, 25-29 Mayıs, **2**, 842-843.
- [55] **Hayashi, Y., Kojima, T., Tsunashima, H., Marumo, Y.**, 2006. Real time fault detection of railway vehicles and tracks, *Railway Condition Monitoring, The Institution of Engineering and Technology International Conference*, 20-25.
- [56] **Grimes, C., A.**, 1995. Application of genetic techniques to the planning of railway track maintenance work, *Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications*, 12-14 Eylül, 467-472.
- [57] **Deutschl, E., Gasser, C., Niel, A., Werschonig, J.**, 2004. Defect detection on rail surfaces by a vision based system, *Intelligent Vehicles Symposium*, 14-17 Haziran, 507-511.
- [58] **Singh, M., Singh, S., Jaiswal, J., Hemphshall, J.**, 2006. Autonomous rail track inspection using vision based system, *Computational Intelligence for Homeland Security and Personal Safety*, 16-17 Kasım, 56-59.
- [59] **Hayre, H., S.**, 1974. Automatic railroad track inspection, *Transactions on industry applications*, **10(3)**, 380-384.

- [60] **Li, G., Wang, C., Liu, J., Jin, W.,** 2007. Dynamic rail wear inspecting system based on machine vision, *Industrial Electronics and Applications*, 23-25 Mayıs, 1-4.
- [61] **Tsunashima, H., Kojima, T., Marumo, Y., Matsumoto, A., Mizuma, T.,** 2008. Condition monitoring of railway track and driver using in service vehicle, *Railway Condition Monitoring*, 18-20 Haziran, 1-6.
- [62] **Yan, B., Yu, W.,** 2009. Application of RFID technology in railway track inspection, *Education Technology and Computer Science*, 7-8 Mart, 526-529.
- [63] **Ruvo, P., D., Distante, A., Stella, E., Marino, F.,** 2009. A GPU based vision system for real time detection of fastening elements in railway inspection, *Image Processing*, 7-10 Kasım, 2333-2336.
- [64] **Yu, L., Hongmei, S., Liqiang, Z., Xining, X.,** 2010. Research and design of railway clearance measurement system based on non contact sensors, *World Congress on Intelligent Control and Automation*, 6-9 Temmuz, 6883-6886.
- [65] **Resendiz, E., Hart, J., M., Ahuja, N.,** 2013. Automated visual inspection of railroad tracks, *Transactions on Intelligent Transportation Systems*, **14(2)**, 751-760.
- [66] www.fotokritik.com, 30 Haziran 2013.
- [67] **Karaduman, G., Karaköse, M., Akın, E.,** 2012. Görüntü işleme tabanlı ray profil ölçüm algoritması, *TOK 2012*, 11-13 Ekim, 790-795.
- [68] **Karaduman, G., Karakose, M., Akın, E.,** 2012. Experimental fuzzy diagnosis algorithm based on image processing for rail profile measurement, *Mechatronika*, 5-7 Aralık, Prague, 1-6.
- [69] **Thomas, H., M., Heckel, T., Hanspach, G.,** 2007. Advantage of a combined ultrasonic and eddy current examination for railway inspection trains, *Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, **49(6)**, 341-344.
- [70] **Camargo, L., F., M., Edwards, J., R.,** 2011. Emerging condition monitoring technologies for railway track components and special trackwork, *Joint Rail Conference*, 16-18 Mart, USA, 1-8.

ÖZGEÇMİŞ

1986-Elazığ doğumlu Gülşah KARADUMAN ilköğretim ve lise eğitimini Elazığ’ da tamamladı. 2004 yılında Elazığ Anadolu Lisesini bitirdikten sonra girdiği Fırat Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünden 2009 yılında mezun oldu. 2009 yılında Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans yapmaya hak kazandı. Aynı yıl Hava Kuvvetleri Komutanlığı Karargahına Bilgisayar Mühendisi olarak atandı. 2011 yılında Fırat Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görevine devam etmektedir.