Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi
29(2), 41-50, 2017

Science and Eng. J of Fırat Univ.
29(2), 41-50, 2017

Demiryolu Hattında Oto-Korelasyon Tabanlı Makas Geçişi ve Ray Yüzeyi Durum İzleme Yöntemi

Orhan Yaman[1], Mehmet Karaköse[2], İlhan Aydın[3], Erhan Akın[4]
[1,2,3,4]Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ 23119
[1]orhanyaman@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 02.02.2017; Kabul/Accepted: 28.04.2017)

Özet

Demiryolu ulaşımı yolcu ve kargo taşımacılığında oldukça yaygın olarak kullanılan bir ulaşım türüdür. Raylı ulaşım araçlarının gelişmesiyle birlikte son yıllarda oldukça fazla tercih edilmektedir. Demiryolu araçları ray hattını kullanarak ulaşımlarını sağlamaktadırlar. Ray hattında oluşabilecek arızalar büyük kazalara neden olmaktadır. Bu çalışmada, makas geçişleri ve ray yüzeyi tespiti yapılarak ray yüzeylerinde oluşan arızalar tespit edilmektedir. Önerilen yöntemde dört adet yüksek hızlı kamera kullanılmaktadır. Kameralardan alınan görüntüler eş zamanlı işlenerek özellik çıkarımı yapılmaktadır. Görüntü üzerinde her bir sütun için öz ilişki (autocorrelation) değeri hesaplanarak öznitelik sinyali elde edilmektedir. Öznitelik sinyali üzerinde sinyal işleme yapılarak özellik çıkarımı yapılmıştır. Özellik çıkarımının ardından ray yüzeyi ve makas tespiti edilmektedir. Elde edilen ray yüzeyi görüntüleri incelenerek ray yüzeyinde oluşan arızalar tespit edilmektedir. Bu çalışmada yüksek hızlara sahip dört adet kamera eş zamanlı kullanmıştır. Önerilen yöntemin performansı yüksek olduğundan gerçek zamanlı çalışmaktadır.

Anahtar kelimeler: Demiryolu, Öz ilişki, Demiryolunda makas tespiti, Durum İzleme

Autocorrelation Based Switch Crossing and Rail Surface Tracking Method in Railway Line

Abstract

Railway transportation is a type of transportation that is frequently used in passenger and cargo transportation. Along with the development of rail transport vehicles, it is highly preferred in recent years. Railway vehicles provide access to railway lines. Defects that can occur in the railway line are causing great accidents. In this study, defects occurring on the rail surfaces are detected by making rail switch and rail surface detection. In the proposed method, four high-speed cameras are used. The images taken from the cameras are processed concurrently and feature extraction is performed. The auto-correlation value is calculated for each column on the image to obtain the feature signal. Feature extraction is done by signal processing on the attribute signal. The rail surface and rail switch are detected after the feature extraction. By examining the obtained rail surface images, defects occurring on the rail surface are detected. In this study, four cameras with high speeds were used simultaneously. Since the proposed method has high performance, it works in real time.

Keywords: Railway, Autocorrelation, Switch detection in railway, Condition monitoring

1. Giriş

Demiryolu ulaşımı günümüzde önemli bir ulaşım türüdür. Teknolojinin yeni gelişmeye başladığı yıllardan itibaren demiryolu araçları ulaşım ve yük taşımacılığında kullanılmıştır. Son yıllarda hızlı trenler geliştirilerek yolcu taşımacılığında önemli bir konuma gelmiştir. Ayrıca ağır yükleri taşıyabilme özelliğinden dolayı yük taşımacılığında da oldukça kullanılmaktadır. Demiryolu ulaşımının ucuz ve güvenilir olması insanlara cazip gelmiştir [1-3].

Demiryolu araçlarında ve ray hattında yapılan teknolojik yenilikler sayesinde, insanlar demiryolu ulaşımını daha da kullanmaya başlamıştır. Böylelikle demiryolu araçlarının sayısı artmıştır. Şehir içi ve şehirlerarası ulaşımlarda birden fazla tren bir ray hattını kullanabilmektedir. Demiryolu trafiğinin kontrol edilmesi, birden fazla trenin tek bir ray hattını kullanarak ulaşımı sağlaması oldukça önemlidir. Bu işlemler için demiryolu hattında makas geçişleri mevcuttur. Makas geçişleri, bir veya birden fazla ray hattını birbirine bağlayarak,

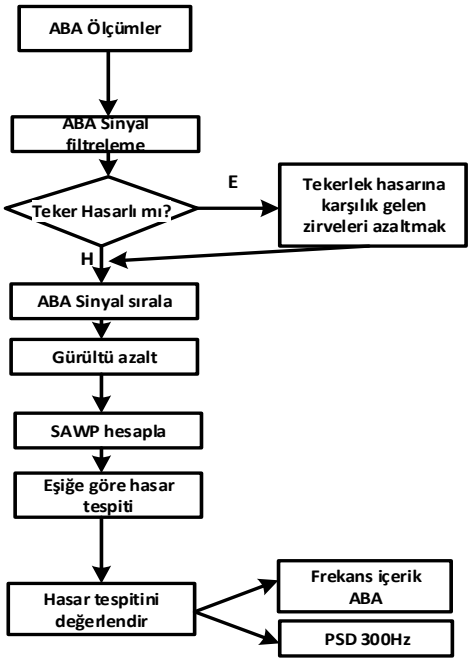
trenlerin hatlar arası geçişlerini sağlamaktadır. Makas geçişleri demiryolu hattı için çok önemlidir [4]. Demiryolu bileşenlerinde oluşabilecek bir arıza büyük kazalara neden olabilmektedir. Ayrıca ulaşımın aksamasına, maddi kayıplar oluşabilmektedir. Demiryolu bileşenlerinde oluşabilecek arızaların erken teşhis edilmesi ve bakım onarımı yapılarak, kazaların, ulaşım aksamasının ve maddi kayıpların önüne geçilebilmektedir.

Literatürde demiryolu hattı bileşenleri için durum izleme ve arıza tespit yaklaşımları mevcuttur. Yapılan çalışmalar incelendiğinde genel olarak iki türlü yaklaşımın olduğu görülmektedir. Temaslı durum izleme yöntemlerinde, geliştirilen araçlar demiryolu hattını tarayarak oluşan arızaları tespit etmektedir [5,6]. Fakat bu yöntem kullanılırken sürekli demiryolu bileşenlerine temas ettiğinden dolayı arıza oluşturabilmektedir. Ayrıca temaslı durum izleme yöntemi uygulanırken demiryolu trafiği aksamaktadır. Bu durum istenmediğinden bu tür yöntemler yaygın olarak kullanılmamaktadır. Diğer bir yöntem olan temassız durum izleme yönteminde ise genellikle kameralar kullanılarak görüntü işleme tabanlı durum izleme yapılmaktadır. Demiryolu araçlarının üzerinde sabitlenen kameralar sayesinde trenin hareketi halinde demiryolu hattını izlemekte ve arıza teşhisi yapmaktadır. Temassız durum izleme yöntemleri ray hattında hiçbir şekilde temas etmemektedir [7-11]. Uygulanması sırasında demiryolu araçlarının üzerine sabitlendiği için trafiği de aksatmamaktadır.

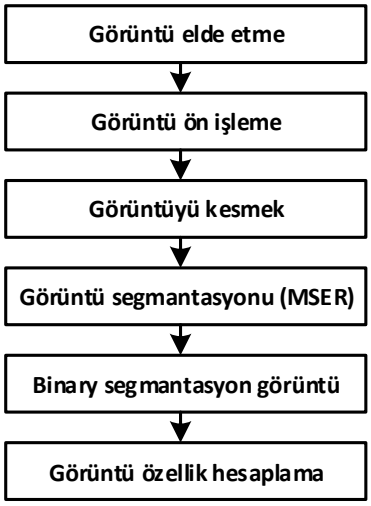
Johansson ve diğ. [12] makas geçişi sırasında sürtünme ve aşınmadan kaynaklanan aşınma arızalarının tespiti için bir çalışma yapmıştır. Çalışmada demiryolu makas bileşenleri izlenmektedir. Makas geçişi sırasında tekerin raya temas etmesini benzetim ile modellemiştir. Modelleme sonucunda raya gelebilecek yüklere göre gözlem yapmıştır. Bocciolone ve diğ.[13] ray yüzeyinde oluşan arızaların tespiti için sinyal işleme tabanlı bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntemde trenin demiryolu hattında gitmesi sırasında ortaya çıkardığı titreşim sinyalleri kullanılmıştır. Titreşim sinyalleri üzerinden sinyal işleme yöntemleri geliştirerek arıza tespiti yapmaktadır. Palsson [14] demiryollarında makas geçiş bölümlerinde optimizasyon üzerine tez çalışması tamamlamıştır. Bu tez çalışmasında makas geçiş bileşenleri izlenerek bu bileşenlerde oluşan arızalar incelenmiştir. Makas geçişleri sırasında makas bölgelerinde oluşan değişimler gözlemlenmiştir. Bir raydan başka bir raya olan yük dağılımı incelenmiştir. Bu çalışmalardan başka ray yüzeyi ve bileşenlerinde oluşan arızaların tespiti için birçok çalışma yapılmıştır.

Maria ve diğ. [15] Demiryolu hattında ray yüzeyi arızalarının tespiti için titreşim tabanlı bir yöntem önermiştir. Trenin tekerinin üzerine titreşim sensörü yerleştirerek demiryolu hattı boyunca sinyal elde etmiştir. Elde edilen sinyaller üzerine dalgacık dönüşümü kullanarak ray yüzeyinde oluşan arızaları tespit etmiştir. Kullandığı yöntemin akış şeması Şekil 1'de verilmiştir.

Ashwani ve diğ. [16] demiryolu ray arızalarının tespiti için görüntü segmantasyonu tabanlı bir yöntem önermiştir. Maksimum Kararlı Ekstremal Bölge İşareti (MSER) yöntemi kullanarak ray yüzeyinde oluşan arızaları tespit etmiştir. Önerilen yöntemin akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Literatür akış şeması [15]



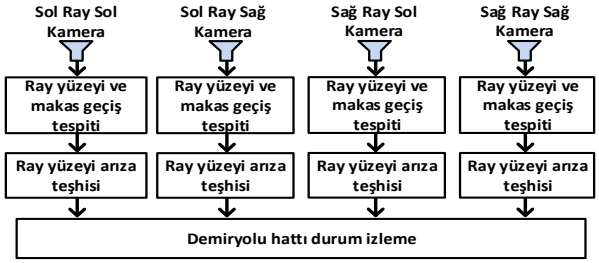
Şekil 2. Literatürde önerilen yöntemin akış şeması [16]

Pavel [17] yapmış olduğu doktora çalışmasında demiryolu hattında bileşen tespiti ve arıza tespiti yapmıştır. Demiryolu ray yüzeyi ve bağlantı elemanlarını tespit ederek bu bileşenlerde oluşan arızaları, şekilsel bozuklukları tespit etmektedir.

Bu çalışmada, demiryolu makas geçişi tespiti ve ray yüzeyi tespiti yapılmaktadır. Tespit edilen ray yüzeylerinde oluşan arızalar teşhis edilmektedir. Önerilen yöntemde dört adet kamera kullanılarak demiryolu hattında görüntüler alınmıştır. Alınan görüntüler üzerinde öz ilişki değeri hesaplanarak görüntülerden özellik çıkarımı yapılmıştır. Özellik çıkarımı sonucunda her bir görüntü için sinyal elde edilmiştir. Elde edilen sinyaller üzerinde basit sinyal işleme yöntemleri kullanılarak ray yüzeyi ve makas geçiş tespiti yapılmaktadır. Tespit edilen ray yüzeyleri ana görüntüden kesilerek ray yüzeyi arıza teşhisi yapılmaktadır. Ray yüzeyi görüntüsünde ise öz ilişki değeri kullanılarak sinyal elde edilmektedir. Elde edilen sinyaller işlenerek ray yüzeyi durum izleme ve arıza teşhisi yapılmaktadır. Önerilen yöntem sinyal işleme tabanlı bir yöntem olduğu için görüntü işleme yöntemlerine göre oldukça hızlıdır. Literatürde ki mevcut çalışmalar incelendiğinde genellikle görüntü işleme kullanılarak demiryolu hattında durum izleme ve arıza teşhisi yapılmıştır. Bu çalışmada ise kameradan alınan görüntüler doğrudan özellik çıkarımı yapılarak sinyale dönüştürülmektedir. Elde edilen sinyaller üzerinde sinyal işleme yöntemi geliştirilerek ray yüzey ve makas geçiş tespiti yapılmıştır. Ayrıca tespit edilen ray yüzeylerinde oluşan arızalar da tespit edilebilmektedir.

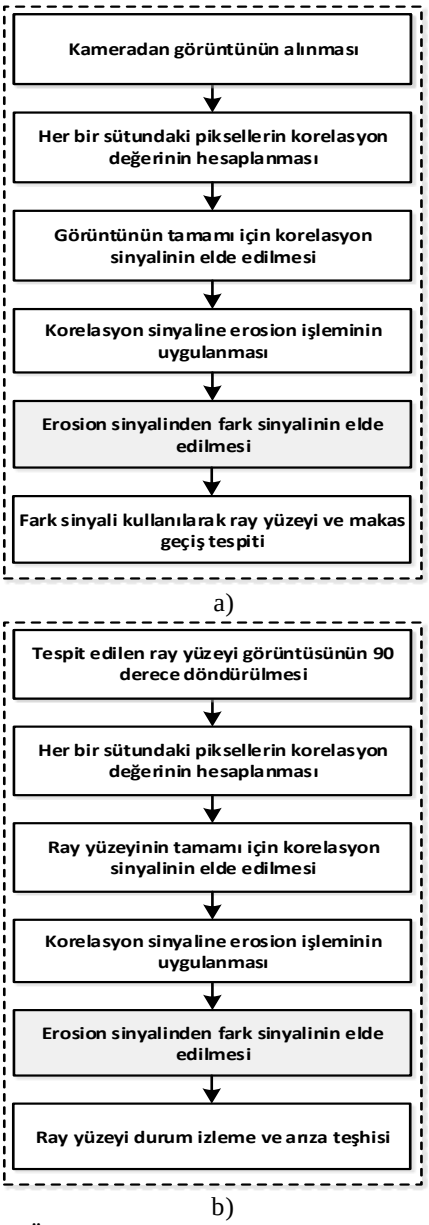
2. Önerilen Yöntem

Önerilen yöntemde, dört adet çerçeve kamera kullanılarak görüntüler alınmıştır. Kullanılan kameralar yüksek fps (frame per second) özelliğine sahip kameralardır. Kameralardan alınan her bir görüntü için ray yüzeyi ve makas geçişi tespit yöntemi uygulanmaktadır. Tespit edilen ray yüzeyi görüntülerinden ray yüzey arızası tespiti yapılmaktadır. Dört kameradan alınan görüntüler için sonuçlar çıkarılarak demiryolu hattı durum izlemesi yapılmaktadır. Önerilen yöntemin blok yapısı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Önerilen yöntemin blok şeması

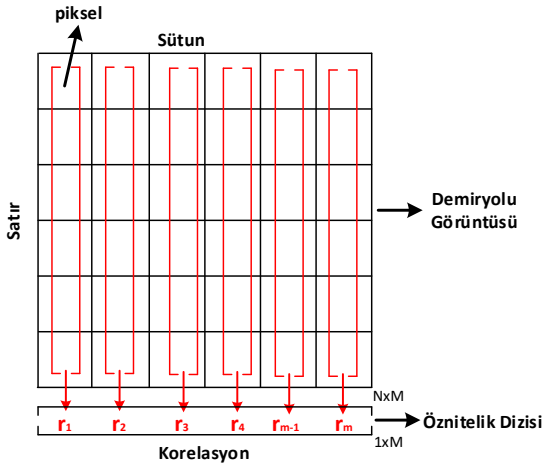
Şekil 3'te verilen önerilen yöntemin blok şemasında dört adet kamera kullanılarak demiryolu ray görüntüleri elde edilmektedir. Önerilen yöntemin en büyük avantajlarından biri sinyal işleme tabanlı bir yöntem olmasıdır. Sinyal işleme tabanlı bir yöntem olduğu için oldukça hızlıdır. Böylece yüksek fps özelliklerine sahip kameralar için kullanışlı bir algoritmadır. Ray yüzey ve makas geçiş tespit yönteminin akış şeması Şekil 4.a'da, ray yüzey arıza teşhis yönteminin akış şeması Şekil 4.b'de verilmiştir.



Şekil 4. Önerilen yöntemin akış şeması a) Ray yüzeyi ve makas geçişi tespiti b) Ray yüzey arıza teşhisi

Önerilen yöntemde kameradan alınan görüntüler üzerinde öz ilişki değerleri hesaplanarak bir sinyal elde edilmektedir. Şekil 5'te bir görüntüden öz ilişki değeri hesaplanarak öznitelik dizisinin elde edilmesi verilmiştir.

Bir görüntüden öznitelik dizisi oluşturulurken Şekil 5'te ki gibi görüntüdeki her bir sütuna ait tüm satırlar kullanılarak o sütun için öz ilişki değeri hesaplanmaktadır. Öz ilişki görüntü üzerindeki tekrarlı yapıları inceleyen bir yöntemdir [18]. Öz ilişki değerinin hesaplanması denklem 1'de verilmiştir.



Şekil 5. Görüntüden öz ilişki değeri hesaplanarak öznitelik dizisinin elde edilmesi

$$r_i(\tau) = \frac{1}{N}\sum_{t=0}^{N-\tau-1} x(t+\tau)x(t) \qquad (1)$$

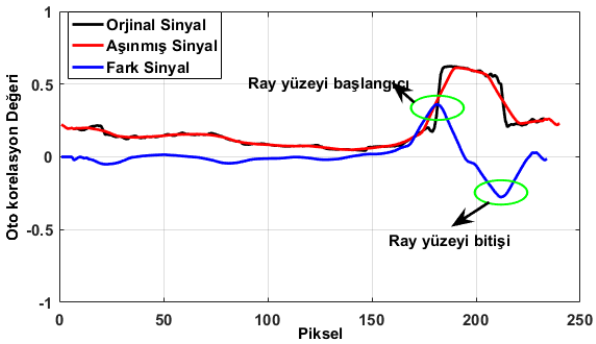
N toplam örnek sayısını yani her sütundaki toplam satır sayısını, t zamanı, Γ zamandaki kaydırma değerini, x normalize edilmiş sinyal değerini ve r ise öz ilişki değerini göstermektedir. Görüntü üzerinde her bir sütundaki tüm satırlar tek boyutlu bir dizi olarak kullanılır. $r_i(\tau)$ değeri (i=1, 2, 3,.., M) her sütun için hesaplanır. Böylece öz ilişki işlemi, görüntü üzerine uygulanarak öznitelik sinyali elde edilmiştir. Öznitelik sinyalinde gürültülerin yok edilmesi ve sinyalin daha da düzenlenmesi için aşınma işlemi uygulanmaktadır. Aşınma işlemi denklem 2'de verilmiştir.

$$x(t) = (x(t-2)+x(t-1)+x(t)+x(t+1)+x(t+2))/5 \qquad (2)$$

Aşınma işleminin ardından ray yüzey ve makas tespiti için fark sinyali elde edilmektedir. Fark sinyali elde edilirken denklem 3 kullanılmıştır.

$$x(t) = \left|x(t+7)-x(t-7)\right| \qquad (3)$$

Fark sinyali elde edildikten sonra, sinyalde pozitif yönde oluşan tepe noktaları ray yüzeyi başlangıcı negatif yönde oluşan tepe noktası ise ray yüzeyi bitişi olarak adlandırılmaktadır. Örnek bir görüntüden elde edilen öznitelik sinyali, aşınma sinyali ve fark sinyali Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Örnek bir görüntüden elde edilen sinyaller ve ray yüzeyinin tespit edilmesi

Ray yüzeyi tespit etme işleminin ardından ray yüzeyinde oluşan arızaların teşhisi ve durum izleme için benzer algoritma kullanılmaktadır.

3. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada deneysel görüntülerin alınmasında Aliied vision üreticili Mako G032B/C model kameralar kullanılmıştır. Kullanılan kameraların ve lenslerin görüntüsü Şekil 7'de verilmiştir.



a) **b)**

Şekil 7. Bu çalışmada kullanılan kamera ve lens **a)** Kamera **b)** Lens

Şekil 7'de verilen kameranın özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Demiryolu hattına ait görüntülerin elde edilebilmesi için bir demiryolu aracı oluşturulmuştur. Oluşturulan demiryolu aracının üzerinde dört adet kamera, bilgisayar ve UPS yerleştirilmiştir. Oluşturulan deneysel düzenek Şekil 8'de görülmektedir.

Tablo 1. Bu çalışmada kullanılan kameranın genel özellikleri

Üretici	Allied Vision	**Model:**	Mako G-032B/C
Çözünürlük	658(h) 492(v)	**Sensor Boyutu (inch)**	1/3
fps (frame per second)	102	**Sensor Tipi**	CCD
Pixel Boyutu (µm)	7.4(h) 7.4(v)	**A/D Bits:**	12
Toplam Pixel	323,736	**Renk /B & W**	Color / B&W
Sensor Cihazı	Sony ICX424	**Arayüz**	GigE

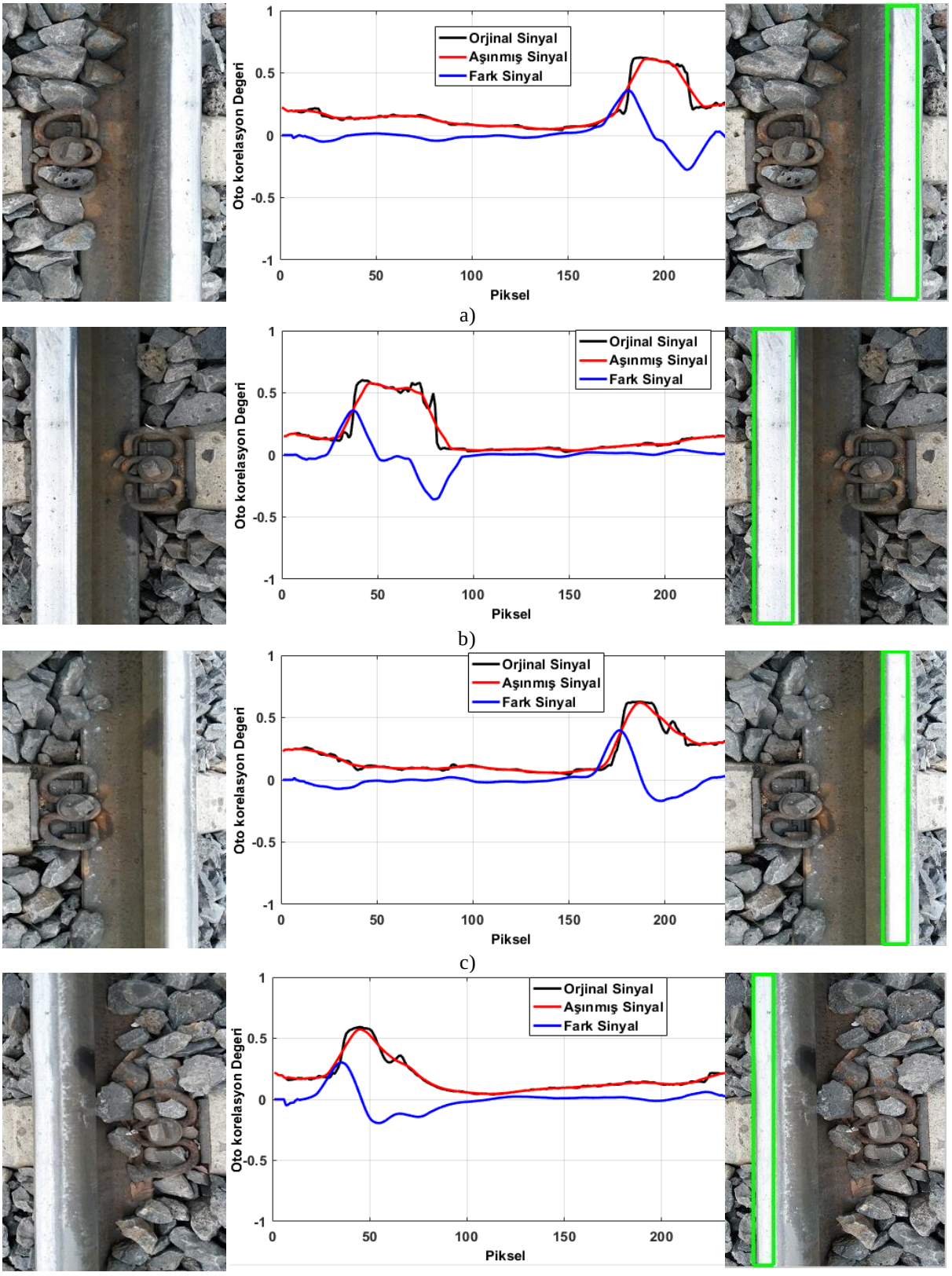
Şekil 8'de verilen deneysel düzenek demiryolu hattının trafiğe kapalı olduğu zaman hat üzerine yerleştirilerek görüntüler alınmıştır. MATLAB ortamında geliştirilen yazılımlar ile dört adet kameradan görüntüler alınmaktadır. Kameralar, ethernet kabloları ile bilgisayar kasasına takılı olan Frame Grabber kartına bağlanmıştır. Her bir kameradan ortalama 60 Fps görüntü alınarak Frame Grabber kartı aracılığıyla bilgisayara iletilmektedir.



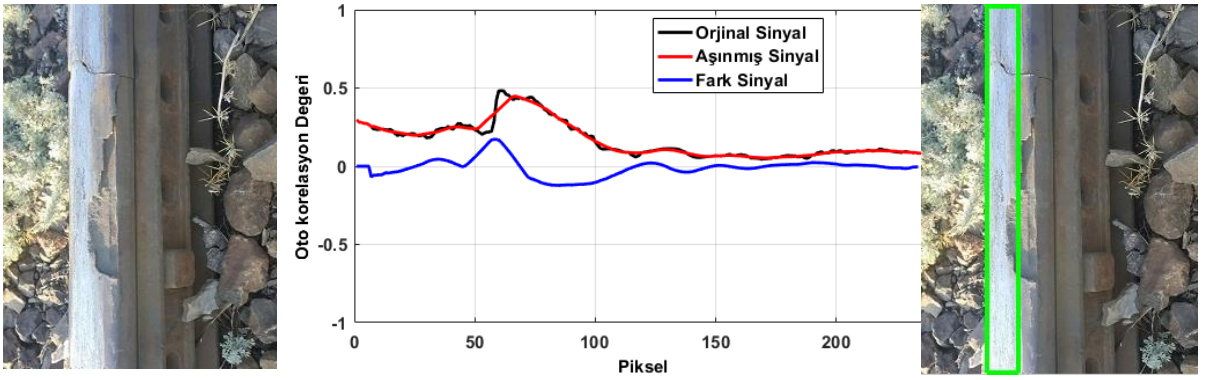
Şekil 8. Bu çalışmada kullanılan deneysel düzenek

3.1. Ray yüzeyi ve makas geçiş tespiti yaklaşımı sonuçları

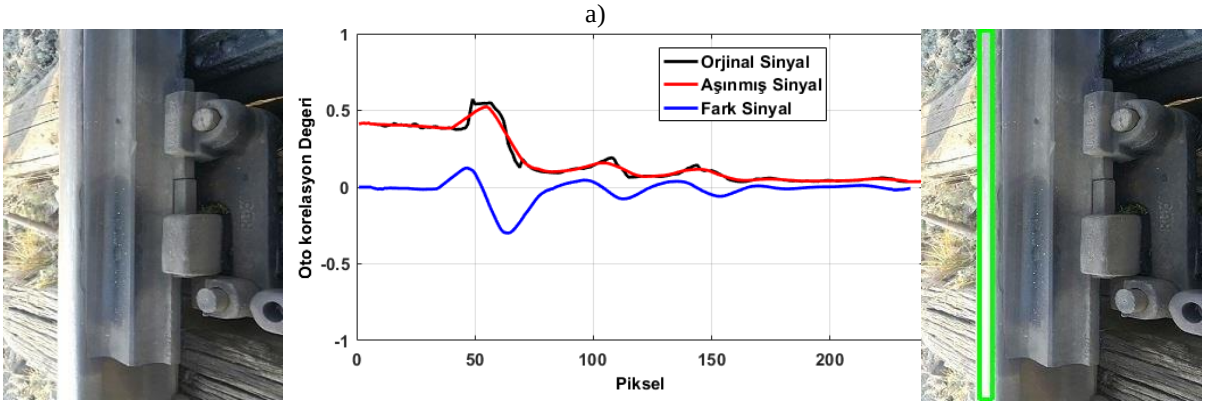
Ray yüzeyi ve makas geçiş tespiti yöntemi demiryolu hattında gerçek zamanı çalıştırılarak test edilmiştir. Dört adet kameradan alınan örnek görüntüler Şekil 9'da verilmiştir.



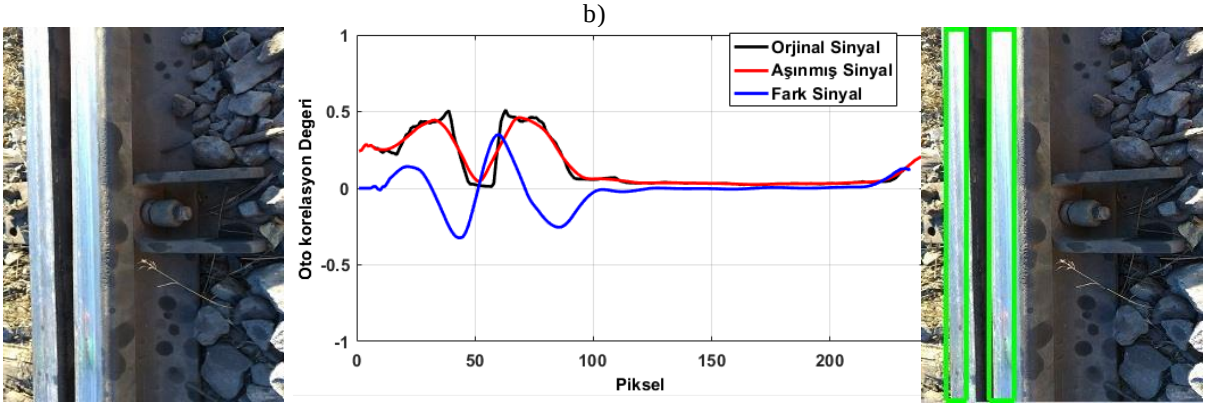
Şekil 9. Dört kameradan alınan örnek görüntüler ve elde edilen sonuçlar **a)** Sol ray sol kamera **b)** Sol ray sağ kamera **c)** Sağ ray sol kamera **d)** Sağ ray sağ kamera



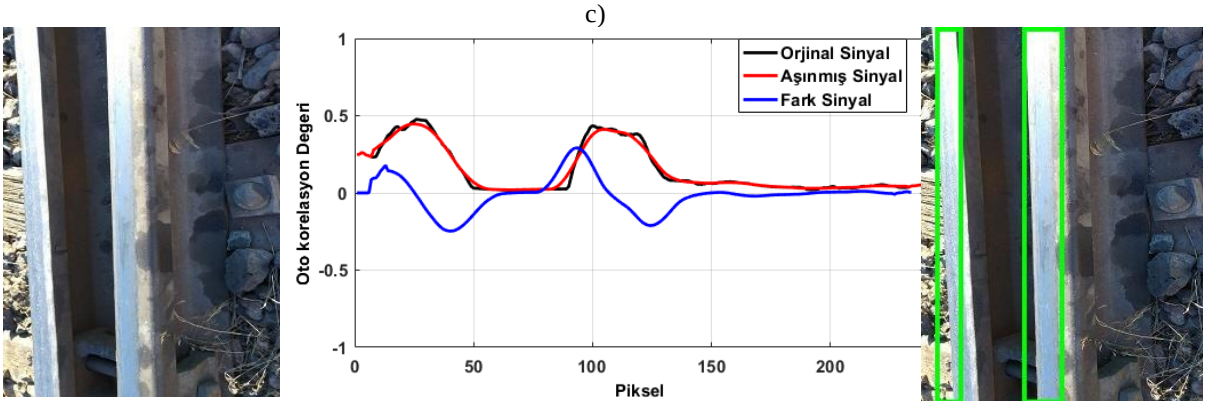
a)



b)



c)



d)

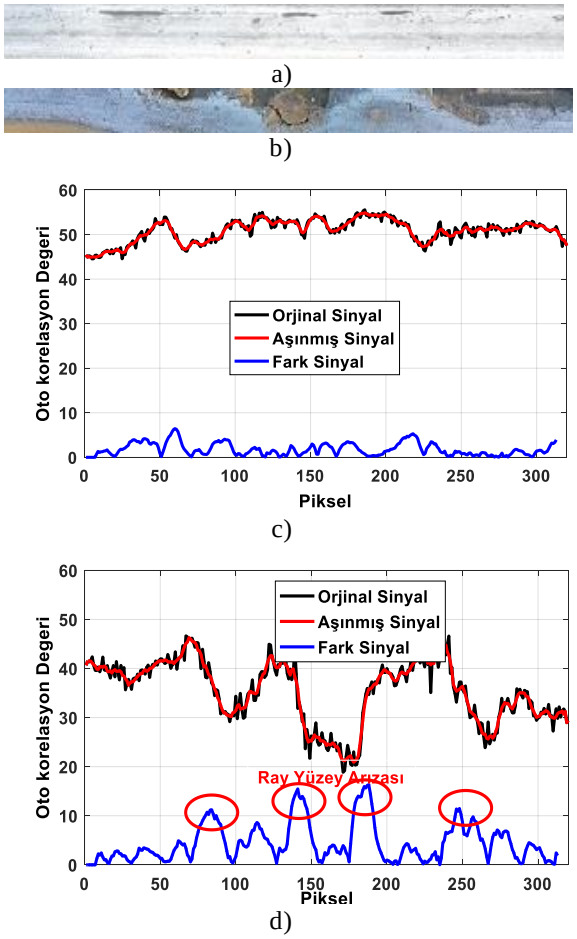
Şekil 10. Ahşap traverse sahip demiryolu hattında makas tespiti örneği **a)** 1780. Çerçeve **b)** 1900.Çerçeve **c)** 2130. Çerçeve **d)** 2300. Çerçeve

Şekil 9'da verilen görüntüler beton travese sahip demiryolundan elde edilmiştir. Şekil 9.a,b,c ve d'de görüldüğü üzere dört görüntüde de doğru bir şekilde ray yüzeyi tespit edilmiştir. Her bir görüntüye ait öz ilişki değeri hesaplanarak öznitelik sinyalleri elde edilmiştir. Elde edilen bu sinyaller üzerinde sinyal işleme yapılarak fark sinyali elde edilmiştir. Fark sinyalinde oluşan pozitif ve negatif yönde artışın tepe noktaları arası ray yüzeyini ifade etmektedir. Önerilen yöntemde makas geçişi tespiti yapılırken sinyalde ki tepe noktaları dikkate alınmaktadır. Görüntü üzerinde eğer birden fazla ray yüzeyi tespit edilmiş ise makas geçişi olduğu bilinmektedir. Şekil 10'da ahşap traverse sahip demiryolu hattında farklı çerçevelerden alınan görüntüler üzerinde makas tespiti yapılmaktadır.

Şekil 10'da farklı çerçevelerden alınan görüntüler üzerinde makas geçişi tespit edilmiştir. Şekil 10.a'da normal bir demiryolu hattı görüntüsü bulunmaktadır. Henüz makas geçiş bölgesine gelinmemiştir. Şekil 10.b'de ise tam makas geçiş bölgesine yaklaşıldığı görüntüde fark edilmektedir. Ama iki ray net olarak görülmemektedir. Sadece ana ray görülmektedir. Şekil 10.c'de makas geçiş bölgesindedir. İki ray kolaylıkla tespit edilmiştir. İki ray birbirine oldukça yakındır. Şekil 10.d'de ise makas geçiş bölgesidir. Makas geçişi başarıyla tespit edilmiştir. İki ray arası mesafenin arttığı görülmektedir.

3.2. Ray yüzeyi arıza teşhis yaklaşımı sonuçları

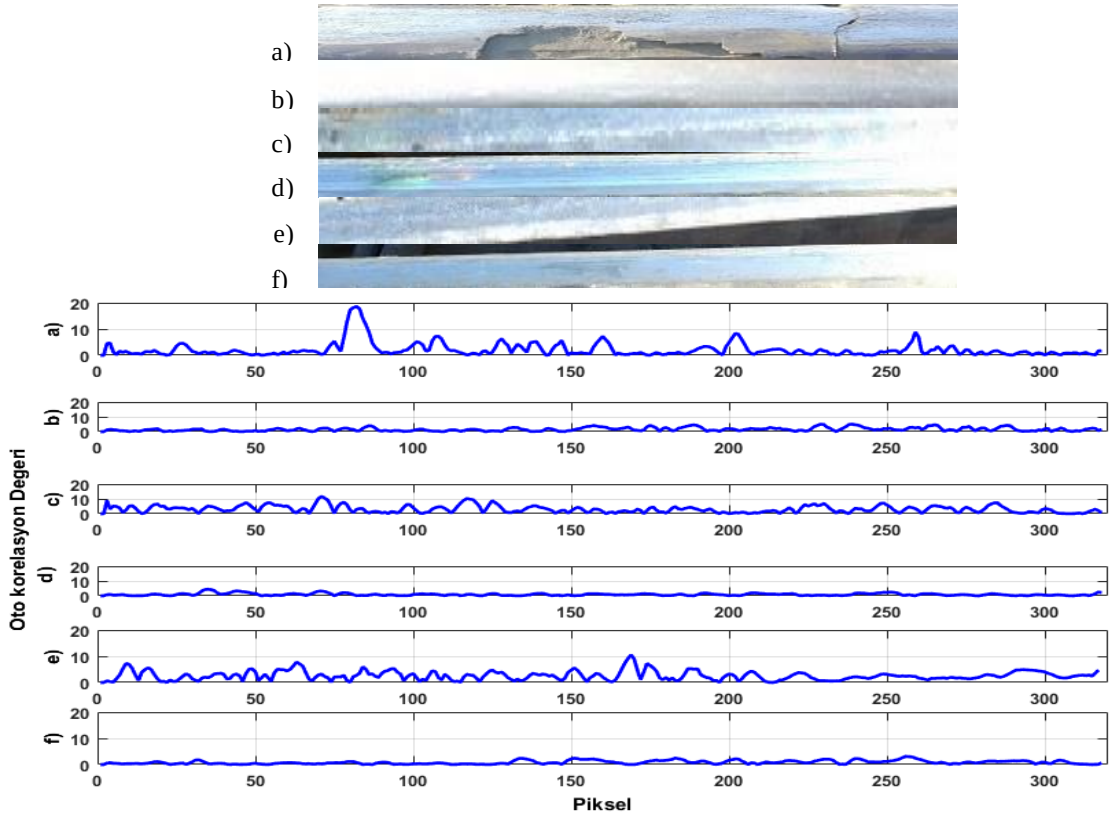
Ray yüzeyi tespiti yönteminde ray yüzeyi bölgesi tespit edildikten sonra görüntüden kesilip alınmaktadır. Alınan görüntü 90 derece döndürülerek ray yüzeyi arıza teşhis algoritması ile birlikte kullanılmaktadır. Ray yüzeyi arıza teşhis yöntemi ile ray yüzey tespit yöntemi oldukça benzerdir. Ray yüzeyi görüntüsünün öz ilişki değerleri hesaplanarak öznitelik sinyali elde edilmiştir. Elde edilen sinyal üzerinde aşınma yapıldıktan sonra fark sinyali elde edilmektedir. Fark sinyalinde oluşan tepe noktaları ray yüzeyi arızası olarak bilinmektedir. Tepe noktasının yüksekliği ise arızanın boyutunu göstermektedir. Şekil 11'de sağlam ve arızalı ray yüzeyi görüntüleri ve sonuçları verilmiştir.



Şekil 11. Sağlam ve arızalı ray yüzeyi görüntüleri ve sonuçları

Şekil 11.a'da verilen sağlam ray yüzeyi görüntüsüne ait sonuçlar Şekil 11.c'de verilmiştir. Sinyalde de görüldüğü üzere ani değişimler oluşmamıştır. Böylece ray yüzeyi sağlam olduğu görülmektedir. Şekil 11.b'de verilen arızalı ray yüzeyi görüntüsüne ait sonuçlar Şekil 11.d'de verilmiştir. Şekil 11.'de verilen sinyallerde üç noktada ani değişimlerden dolayı tepe noktası oluşmuştur. Tepe noktaları incelendiğinde görüntüde de aynı piksel aralığında arıza olduğu görülmektedir.

Şekil 10'da verilen örnek görüntülerde tespit edilen ray yüzey görüntüleri Şekil 12'de kullanılarak ray yüzeyi durum izleme yapılmıştır.



Şekil 12. Örnek ray yüzeyi görüntüleri kullanılarak ray yüzeyi arıza teşhisi ve ray yüzeyi durum izleme yapılması

Şekil 12'de altı adet ray yüzeyi görüntüsü ve elde edilen sonuçlar verilmiştir Şekil 12.a'da ray yüzeyi arızası olduğu görülmektedir. Şekil 12.a'ya ait grafiğe bakıldığında 50 ile 100 pikselleri arasında tepe noktası oluştuğu görülmektedir. Bu durum da Şekil 12.a'da ki görüntüde ray yüzeyi arızası olduğu görülmektedir. Diğer ray yüzeyi görüntüler ise sağlam görüntülerdir. Şekil 12.e ve f'de verilen ray yüzey görüntüleri makas geçiş bölgesinde elde edildiğinden dolayı ray yüzeyi düz bir şekilde kesilip alınmamıştır. Fakat yine de ray yüzeyi durum izleme başarıyla yapılmış ve sağlam ray yüzeyi olduğu görülmektedir. Önerilen yöntemin çalışma performansı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo2'den de görüldüğü üzere önerilen yöntem oldukça hızlı bir yöntemdir. Yapılan performans testi i5 işlemcili 2,60 Ghz, 8 GB RAM ve 64 bit işletim sistemine sahip bir bilgisayarda yapılmıştır. Dört adet kamera paralel çalıştırılarak her bir kameradan yaklaşık 60 fps görüntü alınmıştır.

Tablo 2. Önerilen yöntemin çalışma performansı

	Ray yüzeyi ve makas tespiti ortalama (ms)	Ray yüzeyi ve makas tespiti standart sapma (ms)	Ray yüzeyi durum izleme ortalama (ms)	Ray yüzeyi durum izleme standart sapma (ms)
Kamera 1	11,16	0,77	7,84	0,19
Kamera 2	11,21	0,75	7,79	0,16
Kamera 3	11,09	0,78	7,92	0,22
Kamera 4	11,12	0,79	7,80	0,20
Ortalama	11,14	0,77	7,83	0,19

4. Sonuçlar

Demiryolu hattında oluşabilecek arızaların erken teşhis edilmesi oldukça önemlidir. Günümüzde demiryolu arızalarının erken teşhisi ve durum izleme için birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada dört kamera kullanılarak demiryolu ray yüzey ve makas tespiti yapılmaktadır. Tespit edilen ray yüzeyine ait durum izleme ve arıza teşhisi yapılmaktadır. Önerilen yöntemin en büyük avantajı hızlı olmasıdır. Bu çalışmada yüksek fps hızlarına sahip özel kameralar kullanılmıştır. Dört adet kameradan aynı ada

görüntüler alınarak paralel bir şekilde işlenmiştir. Görüntüden öz ilişki yöntemi kullanılarak öznitelik çıkarılmıştır. Elde edilen öznitelik sinyali üzerinde sinyal işleme yapılarak ray yüzey tespiti, makas tespiti, ray yüzeyi durum izleme ve arıza teşhisi yapılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Proje No: 114E202.

5. Kaynaklar

1. Santur, Y., Karaköse, M., Aydın, İ., and Akın, E. (2016). IMU based adaptive blur removal approach using image processing for railway inspection. International Conference on In Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), 2016 (pp. 1-4).

2. Karakose, E., Gencoglu, M. T., Karakose, M., Yaman, O., Aydin, I., and Akin, E. (2015). A new arc detection method based on fuzzy logic using S-transform for pantograph–catenary systems. Journal of Intelligent Manufacturing, 1-18.

3. Santur, Y., Karaköse, M., and Akın, E. (2016). Learning Based Experimental Approach For Condition Monitoring Using Laser Cameras In Railway Tracks. Int. Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers, 4, 1-5.

4. Taştimur, C., Karaköse, M., and Akın, E. (2016). A Vision Based Condition Monitoring Approach for Rail Switch and Level Crossing using Hierarchical SVM in Railways. International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers, 4(1), pp. 319-325.

5. Bao Q., Lu M., Lu R., (2007) A Research on the Container Car's Location Under the Bridge Crane By the Technology of Laser Measuring, Science & Technology Of Ports, 2007.

6. González-Nicieza, C., Álvarez-Fernández, M. I., Menéndez-Díaz, A., Álvarez-Vigil, A. E., Ariznavarreta-Fernández, F.(2008) Failure analysis of concrete sleepers in heavy haul railway tracks. Engineering Failure Analysis, 15(1), pp. 90-117.

7. Qingyong, L., Shengwei, R., (2012) A Real-Time Visual Inspection System for Discrete Surface Defects of Rail Heads, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 61, 2189-2199.

8. Limin, C., Yin, L., Kaimin, W., (2010) Inspection of rail surface defect based on machine vision system, 2nd International Conference on Information Science and Engineering, 3793 - 3796.

9. Ying, L., Trinh, T., Haas, N., Otto, C., Pankanti, S., (2014) Rail Component Detection, Optimization, and Assessment for Automatic Rail Track Inspection, Trans. on Intel. Trans. Sys., 760–770.

10. Yaman, O., Karakose, M., Aydin, I., and Akin, E. (2014). Detection of pantograph geometric model based on fuzzy logic and image processing. In Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), pp. 686-689

11. Karakose, E., and Gencoglu, M. T. (2013). An analysis approach for condition monitoring and fault diagnosis in pantograph-catenary system. IEEE International Conference on In Systems, Man, and Cybernetics (SMC), pp. 1963-1968.

12. Johansson, A., Pålsson, B., Ekh, M., Nielsen, J. C., Ander, M. K., Brouzoulis, J., and Kassa, E. (2011). Simulation of wheel–rail contact and damage in switches & crossings. Wear, 271(1), 472-481.

13. Bocciolone, M., Caprioli, A., Cigada, A., and Collina, A. (2007). A measurement system for quick rail inspection and effective track maintenance strategy. Mechanical Systems and Signal Processing, 21(3), 1242-1254.

14. Palsson, B. (2014). Optimisation of railway switches and crossings. Chalmers Univ. of Tec.

15. Molodova, M., Li, Z., Núñez, A., and Dollevoet, R. (2013). Monitoring the railway infrastructure: Detection of surface defects using wavelets. In 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. 1316-1321).

16. Dubey, A., and Jaffery, Z. (2016). Maximally Stable Extremal Region Marking (MSERM) based Railway Track Surface Defect Sensing. IEEE Sensors Journal.

17. Babenko, P. (2009). Visual inspection of railroad tracks, Doctoral dissertation, University of Central Florida Orlando, Florida.

18. Li, Z., Mahapatra, D., Tielbeek, J. A., Stoker, J., van Vliet, L. J., and Vos, F. M. (2016). Image registration based on autocorrelation of local structure. IEEE transactions on medical imaging, 35(1), pp. 63-75.