



Demiryolu Ray ve Kusurlarını Tespit Etmek İçin Geliştirilen İki Yeni Yöntem

Ahmet ÇELİK^{id}

Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı MYO, Bilgisayar Tekn. Bölümü, Kütahya, Türkiye

ahmet.celik@dpu.edu.tr

(Alınış/Received: 14.05.2020, Kabul/Accepted: 23.06.2020, Yayınlama/Published: 31.07.2020)

Öz: Raylı sistem araçları günümüzde çok yaygın kullanılmaktadır. Bu yaygın kullanımın nedeni, en güvenli yolcu ve yük taşıma aracı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu güvenilirliğin devam etmesi için demiryolu raylarının sık sık kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu kontroller yardımıyla demiryolu ray kusurları bulunarak, istenmeyen kazaların önüne geçilebilmektedir. Günümüzde demiryolu raylarında yapılan kontroller yıl içinde birkaç kez belirli dönemlerde yapılmaktadır. Bu demiryolu ray kontrol işlemi çoğunlukla çalışan personel tarafından gözlem yapılarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem güvenilir değildir ayrıca uzun zaman alabilmektedir. Demiryolları devamlı kullanıldığından kontrollerin kısa sürede tamamlanması gerekmektedir. Bu kontroller yapılırken ray yapısında, tahribat yapılmaması gerekmektedir. Bu yüzden tahribatsız yöntemler tercih edilmektedir. Bilgisayar destekli görsel muayene yöntemi tahribatsız muayene yöntemlerinden biridir. Bu çalışmada, bir kamera yardımıyla elde ray görüntüleri üzerinde, bilgisayar destekli görüntü işleme algoritmaları kullanılarak, ray temas bölgesi tespit edilmiştir. Ray görüntüleri üzerinde, özgün olarak geliştirilen Yatay-Dikey ve Yatay-Yatay görüntü işleme algoritmaları uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Yatay-Dikey algoritmasının ray-temas bölgelerini doğru şekilde tespit ettiği görülmüştür. En son aşamada işaretlenen ray-temas bölgeleri üzerinde, kusur tespiti yapmak için sütun ortalaması, eşikleme yöntemi önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Demiryolu rayları, Tahribatsız muayene, Kusur tespiti, Görüntü işleme, Ortalama, Eşikleme

Two New Methods Developed to Detect Railway Rail and Defects

Abstract: Rail system vehicles are widely used today. The reason for this widespread use that is the safest passenger and freight transport vehicle. In order to maintain this reliability, railway rails should be checked frequently. With the help of these controls, unwanted accidents can be prevented by finding rail defects. Nowadays, checks on railway rails are carried out several times during the year. This rail track control process is mostly observing by staff. This method is unreliable and can take a long time. As railways are used continuously, the inspection should be completed in a short time. While performing these checks, no damage should be made to the rail structure. Therefore, non-destructive methods are preferred. Computer aided visual inspection method is one of the non-destructive inspection methods. In this study, computer aided image processing algorithms are used on rail images taken by the camera to detect rail head and rail contact area. Originally developed Horizontal-Vertical and Horizontal-Horizontal image processing algorithms are applied on the rail images. According to the obtained results, it was observed that Horizontal-Vertical algorithm correctly identified the region of the rail-contact. Finally using column average threshold method has been proposed on rail-contact areas for defect detection.

Keywords: Railway rails, Non-destructive inspection, Defect detection, Image processing, Averaging thresholding

1. Giriş

Raylı sistem araçlarıyla (Tren), hem yolcu hem de yük taşımacılığı hızlı ve güvenli şekilde gerçekleştirilmektedir. Dünyada birçok ülke demiryolu hatlarıyla örülmüş durumdadır.

Atıf için/Cite as: A. Çelik, "Demiryolu ray ve kusurlarını tespit etmek için geliştirilen iki yeni yöntem," Demiryolu Mühendisliği, no. 12, pp. 52-63, July. 2020. doi: 10.47072/demiryolu.737624

Demiryolu Mühendisliği

Günümüzde ülkeler arası demir ipek yolu hattıyla, Çin'den yola çıkan bir tren Avrupa'ya kadar ulaşabilmektedir. Şu anda bu hat aktif olarak yük taşımacılığı için kullanılmaktadır.

Demiryolu rayı; demir tekerlekli taşıma araçlarındaki tekerleklerin üzerinde yuvarlandığı ve değişken vagonların (insan/yük) taşınması amacıyla çift halinde kullanılan demir malzeme ürünüdür. Günümüzde demiryolu taşımacılığında; kaynaksız ray ve demiryolu araçlarında uzun vagon kullanımı tercih edilmektedir. Yüksek hız ve kısa fren mesafeleri elde etmek içinde tekerlek çaplarının küçültülmesine yönelik çalışmalar sürdürülmektedir [1].

Raylı sistem araçları, demiryolu rayı olarak isimlendirilen ve özel bir şekli olan yapılar üzerinde hareket etmektedir. Bu yapılar demir malzemelerden imal edilmiştir. Raylı sistem araçları, diğer araçlar gibi toprak ya da asfalt yollarda hareket edemezler. Bu yollar yapılırken önce toprak zemin üzerine, taş bir katman oluşturulur. Sonra beton bloklar taş katman üzerine yerleştirilir. En son aşamada demiryolu rayları beton bloklar üzerine yerleştirilerek, bu bloklara trifon civatalarla sabitlenir. Demiryolu araç tekerleğinin hareket ettiği ray mantar bölgesi üzerinde, ray-temas yüzeyi oluşmaktadır. Ray üzerinde meydana gelecek hasarların analizi, ray temas bölgesinde üzerinde gerçekleştirilmektedir [2].

Kumar vd. [3], demiryolu rayları üzerinde oluşan kırıkları ultrasonik tahribatsız muayene yöntemiyle tespit etmişlerdir. Kullanılan ultrasonik sensörlü sistemi, demiryolu ray yüzeyini görecekte şekilde, belirli yükseklikte bir vagon altına monte etmişlerdir. Vagon demiryolu hattı boyunca ilerlediği zaman, ultrasonik sensör ile ray yüzeyi arasındaki mesafe arttığı zamanlarda sistem, ray yapısında kırık varlığı kararını vererek, GPS ile koordinatları uzaktaki sisteme bildirmektedir. Böylece kırık olan ray bölümünün konumu elde etmişlerdir.

Tastimur vd. [4], yaptıkları çalışmada demiryolu ray kusuru tespiti için gerçek zamanlı bir video işleme algoritması önermişlerdir. %94,73 başarı oranıyla ray kusurlarını tespit etmişlerdir. Ray yüzeyi tespiti için arka plan çıkarma yöntemi kullanmışlar daha sonra Canny Edge tespiti Hough Transform yöntemi kullanmışlardır. Morfolojik işlemler kullanarak ray yüzeyindeki, kırık, ovma ve dalgalanma kusurları tespit edilmiştir. Tespit edilen kusurların sınıflandırılması için AdaBoost sınıflandırıcısı kullanılmıştır.

Molodova vd. [5], demiryolu yüzey kusurlarını tespit etmek için trenlerde aks kutusu ivme (ABA) ölçümlerini kullanarak otomatik bir kusur tespit sistemi geliştirdi. Chen vd. [6], görüntü iyileştirme, gürültü iptali, öznitelik çıkarma ve ray yüzeyi ray görüntülerine uyarlanabilir eşik olarak uygulanan görüntü işleme teknikleri kullanarak ray yüzeyindeki kusurları tespit etmişlerdir. Ray aşınmaları, dikey ve yanal aşınma olarak ikiye ayrılır. Dikey aşınma, rayın palet mantarlarında, makas ortasında ve eklemlerin rayın baş kısmında meydana gelen yayılma ve bükülme şeklinde bir aşınmadır. Ray kırığı, rayın hareket yerinde 10 mm'den daha derin ve 50 mm'den daha uzundur [7]. Kılcal çatlak (Head check) arızası dış rayın gösterge köşesinde bulunur ve yüzeyde 30 mm'ye ulaşan çatlaklar ortaya çıktığında bu hata artan eğimler meydana gelmektedir [8].

Shah [9], ray üzerindeki kusurun yerini ve tipini belirlemek için çalışmalar yapmıştır. Kaliteli ray görüntüsü elde etmek için kontrollü aydınlatma sistemi kullanmıştır. Ayrıca geliştirdiği yazılım ile ray görüntüleri üzerinde Gaussian filtresi uygulamış ayrıca kenar tespiti ve gürültü temizliği gerçekleştirerek kusurlu bölgeler üzerinde etiketleme yapmıştır.

Vijaykumar ve Sangamithirai [10], çeşitli frekans ve yönlerde Gabor filtresi yardımıyla rayların dokusunu analiz eden bir yöntem sunmuşlar ve kusurları, büyüklüğüne göre belirlemişlerdir. Demiryolu denetimi, demiryolu bakımında çok önemli bir görevdir ve tehlikeli durumların önlenmesi için periyodik olarak gereklidir. Görsel muayene günümüzde hala belirli dönemlerde demiryolu boyunca, yürüyen eğitilmiş personeller tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu izleme

Demiryolu Mühendisliği

hem yavaştır hem de güvenlik sorunu oluşturmaktadır. Ayrıca gözlemci personele karşılaştığı anormal durumu yorumlama yetkisi vermektedir.

Gimiy vd. [11], Demiryolu Ray Muayene Sistemi (Visual Inspection System for Railway Maintenance: VISyR) tasarlamışlardır. Bu sistemde sayısal bir kameradan görüntüleri alarak görüntü eşikleme yöntemleri ile kusur bölgelerini tespit etmeyi amaçlamışlardır. Özellikle kırık rayların konumlarını da tespit etmişlerdir. Bu kusurlar ray boyunca oluşan yük, farklı kapasitedeki araç geçişleri, çevresel-dinamik etkenler sonucu oluşmaktadır. Tuğyanoğlu vd. [12], yüksek hızlı tren rayından alınan bir kesit üzerinde, tahribatsız muayene yöntemlerini gerçekleştirmişlerdir.

Ray üstündeki sürekli artan trafik daha hızlı yıpranmaya neden olmaktadır. Bu yüzden hızlı bir ray muayene sistemine ihtiyaç vardır. Bilgisayarla ray görüntülerini işleme temelinde yapılırken gerçek zamanlı muayene sistemlerinde görüntülerin hızlı şekilde işlenmesi için grafik işlemciye (Graphic Processor Unit: GPU) ihtiyaç duyulmaktadır [13].

Kusurlu raylar kullanım aşamasında ya da üretim işlemi sırasında oluşabilmektedir [14]. Orak ve Çelik [15-17], geliştirdikleri COLMSTD algoritmasıyla bilgisayar destekli görüntü işleme yöntemleriyle grafik işlemci üzerinde CUDA ara yüzü yardımıyla kusur tespiti gerçekleştirmişlerdir. Haddehanede elde ettikleri ray görüntüsünün pikselleri üzerinde yapıldığından çok iş yükü oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Bu duruma çözüm amacıyla, paralel görüntü işlemenin yapılması gerektiğini ortaya koymuşlardır. Bundan dolayı COLMSTD algoritmasını kullanarak grafik kartı işlemcilerinin çok çekirdekli yapısındaki donanımı, yazılım yardımıyla paralel kullanarak, ray görüntülerin işlenmesi ve kusurların bulunmasını hızlı olarak gerçekleştirmişlerdir.

Ray kusurlarının erken tespiti, hem meydana gelebilecek kazaları önlemek hem de maliyetli bir problemi önlemek için önemlidir. Bu çalışmada, demiryolu ray kusurlarının hızlı ve düşük maliyetle erken tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada geliştirilen iki görüntü işleme yöntemi ile demiryolu ray görüntüleri üzerinde ray-temas bölgesini tespit edilmiş ve bu bölgeler üzerinde sütun ortalama yöntemiyle kusurların tespit edilebileceğini gösterilmiştir.

2. Ray Kusurları

Ray yapısındaki kusurlar tahribatlı ya da tahribatsız yöntemlerle tespit edilmektedir. Kullanım durumunda ya da kullanılacak demiryolu rayı üzerinde tahribatlı muayene yöntemi kullanıldığında, ray yapısında hasar oluşturabileceğinden kullanımı uygun olmayabilir. Ayrıca bu tahribatlı yöntemlerin kullanılması uzun zaman almakta ve yüksek maliyetli olmaktadır. Günümüzde hem zamandan hem de ekonomik nedenlerden dolayı tahribatsız muayene yöntemleri kullanılmaktadır [15, 18].

En çok kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri; Görsel Muayene, Penetrant Muayene, Manyetik Partiküllerle Muayene, Ultrasonik Muayene, Radyografik Muayene ve Eddy Current Muayene yöntemidir.

Bu yöntemlerden görsel muayene, insan faktörlü ya da bilgisayar destekli gerçekleştirilebilmektedir. Bilgisayarlı destekli görsel muayene yöntemi yeni geliştirilmeye başlanmış, hızlı bir yöntemdir [15].

2.1. Ray kullanımında oluşan kusurlar

Ray kusur yapısındaki kusurların tespit edilebilmesi için ilk aşamada ray temas bölgesinin doğru şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Çünkü kusurlar, en sık kullanılan bölge olan ray temas bölgesinde oluşmaktadır. Rayın kullanımına bağlı olarak, zamanla ray yapısında farklı tiplerde kusurlar oluşabilmektedir.


Kılcal çatlak kusurları; genelde ilerleme yönünde, dış ray mantar yüzeyinde oluşur. Demiryolu taşımacılığında en çok karşılaşılan bu kusurlar, demir malzemenin periyodik deformasyonu sonucu oluşmaktadır. Çatlaklar 0,5-10 mm boyutlarında birbirine paralel biçimlerde olabilmektedir. Bu çatlaklara eğer müdahale edilmez (taşlanmaz) ise ciddi derece boyutları artmakta, ileri aşamada ray kırığına sebep olmaktadır [19].

Ezilme kusurları; rayların alt bölgesinde veya yuvarlanma temas bölgesinde oluşan bir yuvarlanma ve temas yorulma çatlığıdır. Bu sebeple yuvarlanma yüzeyinde çökme meydana gelebilir. Ezilme derinliği, 3 mm'den 5 mm'ye kadar ulaşabilmektedir. Bu tür ezilmelere müdahale edilmez ise ileri aşamada rayın kırılmasına neden olmaktadır [19].

Kabuk atma (Shelling) kusurları; genel olarak dış rayda görünen ve ilk olarak ray yüzeyi yönünde mantarın içine doğru çatlaklar oluşturmaktadır. Sonra bu çatlaklar yuvarlanmanın olduğu yüzeylerde uzunlamasına oluşabilmektedir. Kabuk atma kusurları üretime bağlı kopmalara ayrıca yuvarlanma yüzeyinde bölgesel çökmelere sebep olmaktadır. Ray içindeki karbit, oksit ve nitrit gibi metalik olmayan kalıntılar, kabuklanma kusurlarının oluşumunu tetiklemektedir [19].

Ondülasyon (Corrugation) kusurları, ray yüzeyinin dalgali bir biçimde aşınmasıdır. Oluşan dalga boyları 20 - 80 mm arasındadır. Derinliği ise 0,01 ila 0,40 mm arasında değişmektedir. Ray ve tekerin temas bölgesinde kayma sonucu bölgesel ısınma meydana gelir ve rayın yuvarlanma yüzeyinde, malzeme dönüşümü gerçekleşmektedir. Tren geçişi sırasında, demiryollarında oluşan fazla gürültünün en önemli sebeplerinden biri ondülasyon kusurudur [19].

Zedelenme kusurları, ray yüzeyindeki, zedelenme hataları teker ve ray arasına yabancı parçaların girmesi sonucu oluşmaktadır [19]. Patinaj iz kusurları ise trenin ani hızlanmaları veya ani frenlemeleri sonucu ray yüzeyinde çökme meydana gelebilir. Bu tür hatalar görüldüğünde ivedi olarak giderilmesi ya da rayın yenisiyle değiştirilmesi gerekmektedir [19]. En çok karşılaşılan kusur tiplerinin isimleri ve örnekleri Şekil 1 üzerinde gösterilmiştir.

	Kabuklanma Kusuru		Patinaj Kusuru
	Head Check Kusuru		Head Check Kusurları
	Oksidasyon Kusuru		Zedelenme Kusuru
	Oksidasyon Kusuru		Çatlak Tipinde Kusur

Şekil 1. Ray yüzeyi kusur türleri [4]

Bu çalışmada, önce ray-temas bölgeleri doğru şekilde tespit edilmiş ve bu bölgeler üzerinde bütün kusur tiplerini tespit edebilen sütun ortalama algoritma, eşik yöntemi kullanılmıştır. Eşik değeri

ray-temas bölgesinin sütunlarından elde edilmiş olduğundan doğru şekilde bölgesel, çatlak ve noktasal kusur tespitlerinin yapıldığı görülmüştür.

2.2. Ray üretiminde oluşan kusurlar

Haddehanelerde ray haddeleme aşamasında merdane kaynaklı ya da ürün hammadde kaynaklı kusurlar oluşabilmektedir. Bu ürünlerin üretim kalite kontrol aşamasında fark edilememesi durumunda kullanım aşamasında büyük tehlikeler oluşturabilmektedir. Ray yüzeylerinde üretim aşamasında noktasal, bölgesel ve çatlak görünümündeki hatalarla karşılaşmaktadır [15, 18].

Haddeleme esnasında karşılaşılan kusurlar:

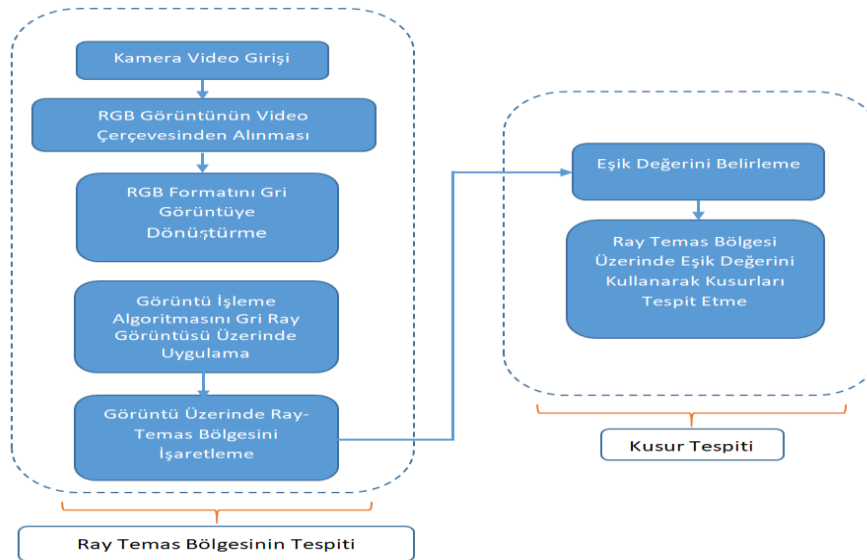
Fitil kusurları; üretim ham maddesinin, haddelenme esnasında iki merdane arasındaki hava boşluklarına kaçmasıdır. Bu durum sonucu haddeleme yapılan ürün üzerine, fitil malzemesinin sıvanmasıdır. Bu durum ray üzerinde iz oluşmasına sebep olmaktadır [1].

Hammadde kusurları (kütük); ray için kullanılacak kütük yapısında istenmeyen parçacıkların veya hava boşluklarının olması durumunda oluşan kusurlardır. Rayın iç yüzeyinde ya da dış yüzeyinde olabilmektedir [20].

Merdane kusurları; merdane yapısında kullanıma bağlı olarak deformasyon oluşması durumunda, ray yüzeyinde kusurlu çizgi ya da bölge oluşabilmektedir [20].

3. Metot

Bu çalışmada, demiryolu ray görüntüleri üzerinde, görüntü işleme yöntemleri kullanılarak, ilk aşamada ray-temas bölgesinin tespiti gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise rayın temas bölgesindeki kusur varlığı kontrol edilmektedir. Ray mantarı rayın gövde bölümünün üstünde bulunan eğimli bölgedir. Ray-temas bölgesi tekerleğin ray üzerinde döndüğü bölgedir. Şekil 2 üzerinde yapılan çalışmanın akış şeması görülmektedir.



Şekil 2. Sistemin akış şeması

Akış şemasında şekilde görüldüğü üzere video kameradan alınan video çerçeveleri üzerinden RGB görüntüler elde edilmiştir. Bu aşamada kameranın yukarıdan ray yüzeyine dik olacak şekilde ray görüntüsünün tam ortada olmasına ve kenarlardan eşit mesafe bırakılmasına dikkat

edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada video görüntüleri, mobil cihazın kamerasıyla, ray yüzeyini tam göreceğ şekilde ve ray yüzeyine paralel hareket edilerek çekilmiştir. Kamera sistemi, ray temas yüzeyinden yaklaşık 40 cm yükseğe monte edilerek video görüntüleri çekilmiştir. Bu videoların film karelerinden renkli görüntüler alınarak gri formata dönüştürülmüştür. Gri görüntüler, renkli görüntü piksellerinin kırmızı, yeşil ve mavi (Red, Green, Blue: RGB) değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak dönüştürülmüştür. Bu işlem Denklem 1’de gösterilmektedir.

$$Piksel_{Gri} = \frac{Piksel_{Red} + Piksel_{Green} + Piksel_{Blue}}{3} \quad (1)$$

$Piksel_{Gri}$, değeri 0 ile 255 arasında 8 bitlik gri değeri göstermektedir. $Piksel_{Red}$ renkli pikselin kırmızı değerini, $Piksel_{Green}$ renkli pikselin yeşil değerini ve $Piksel_{Blue}$ renkli pikselin mavi değerini göstermektedir. Bu aşamadan sonra gri görüntüler üzerinde geliştirilen özgün Yatay-Dikey ve Yatay-Yatay görüntü işleme algoritmaları kullanılmıştır. İki algoritmada da elli piksellik görüntü parçaları (1x50 ya da 50x1 piksel boyutları) işlenmiştir. Testler sonucunda, en doğru sonucun elli piksellik parçalar kullanılarak elde edildiği görülmüştür. Elli pikselden daha küçük veya daha büyük parçalar kullanıldığında yanlış tespitlerin daha fazla olduğu görülmüştür.

Yatay-Dikey algoritmasında önce yatay elli pikselin ortalaması alınmış sonra, dikey elli pikselinin ortalaması alınarak karşılaştırılmıştır. İki ortalama arasında sıfır ve bir aralığında yakınlık değeri bulunduğu piksel bölgeleri yatay ve dikey çizgilerle işaretlenmiştir. Yatay-Dikey algoritmasının matematiksel ifadesi, denklem 2’de gösterilmektedir.

$$N = 50 \text{ olmak üzere } Myd_{Yatay_{x,y}} = \frac{\sum_{x=0}^N I_{x,y}}{N}$$

$$N = 50 \text{ olmak üzere } Myd_{Dikey_{x,y}} = \frac{\sum_{y=0}^N I_{x,y}}{N} \quad (2)$$

$$fark = |Myd_{Dikey_{x,y}} - Myd_{Yatay_{x,y}}|$$

Eğer ($fark \leq 1$)

$\{x, y \text{ noktasından Yatay ve Dikey Doğru çiz}\}$
diğer {Tekrar yatay düzlem boyunca ortalama hesaplamaya devam et.

Denklemdaki N , elli piksellik parçayı, Myd_{Yatay} , Yatay-Dikey algoritmasında, yatay elli pikselin ortalamasını, Myd_{Dikey} , Yatay-Dikey algoritmasında, dikey elli pikselin ortalamasını göstermektedir. $I_{x,y}$ ise x,y konumlarındaki gri piksel değerini göstermektedir.

Yatay-Yatay algoritmasında önce yatay elli pikselin ortalaması alınmış sonra, elli piksel sonraki satırın yatayda elli pikselinin ortalaması alınarak karşılaştırılmıştır. İki ortalama arasında sıfır ve bir aralığında yakınlık değeri bulunduğu piksel bölgeleri yatay çizgilerle işaretlenmiştir. Yatay-Yatay algoritmasının matematiksel ifadesi, denklem 3’de gösterilmektedir.

$$N = 50 \text{ olmak üzere } Myy_First_{Yatay_{x,y}} = \frac{\sum_{x=0}^N I_{x,y}}{N}$$

$$N = 50 \text{ olmak üzere } Myy_Second_{Yatay_{x,y+50}} = \frac{\sum_{x=0}^N I_{x,y+50}}{N} \quad (3)$$

$$fark = | - Myy_First_{Yatay_{x,y}} - Myy_Second_{Yatay_{x,y+50}} |$$

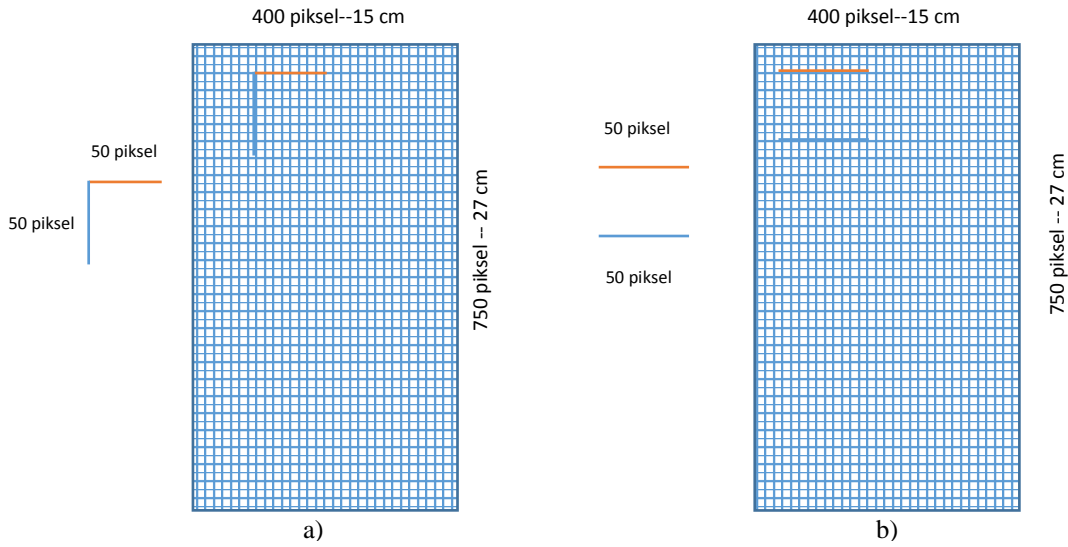
Eğer ($fark \leq 1$)

$\{(x, y) \text{ noktasından Yatay ve } (x, y + 50) \text{ noktasından Yatay Doğrular çiz}\}$
diğer {Tekrar yatay düzlem boyunca ortalama hesaplamaya devam et.

Demiryolu Mühendisliği

Denklemdaki N , elli piksellik parçayı, Myy_First_{yatay} , Yatay-Yatay algoritmasında, birinci yatay elli pikselin ortalamasını, Myy_Second_{yatay} , Yatay-Yatay algoritmasında, ikinci elli pikselin ortalamasını göstermektedir. $I_{x,y}$ ise x ve y konumlarındaki gri piksel değerini göstermektedir.

Tasarlanmış olan Yatay-Dikey ve Yatay-Yatay görüntü işleme yöntemleri Şekil 3 üzerinde gösterilmektedir. Kameradan elde edilen görüntü boyutları 400 x 750 piksel tercih edilmiştir. Bu değerler ölçüm yapılarak belirlenmiştir. 400 piksel değeri ray taban uzunluğunun en büyük ölçüsü olan 15 cm'ye karşılık gelmektedir. Genişlik olarak bu ölçü alındığında, 27 cm ray boyutu sınırı oluşmuştur. Bu ölçüde 750 piksele karşılık gelmiştir. Her iki algoritmada görüntünün ilk pikselinden başlayıp, son pikseline kadar görüntü işleme gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Ray görüntü işleme yöntemleri a)Yatay-Dikey Yöntem b)Yatay-Yatay Yöntem

Elde edilen yatay çizgilerin en fazla bulunduğu, X düzlemi koordinat noktalarından geçen konumda, Y düzlemine paralel olarak dik doğrular çizilmiştir. Bu doğrular ray üzerinde temas yüzeyi boyunca (yeşil çizgiyle) işaretlenmiştir.

Sınırları belirlenmiş gri renkli ray-temas bölgelerinin her sütununun ortalaması alınarak, ilgili sütun için eşik değeri elde edilmiştir. Bu eşik değeri kullanılarak ilgili sütunun bütün piksel değerleri karşılaştırılmış ve kusurlu bölgeler işaretlenmiştir. Bu işlem Denklem 4'te gösterilmektedir. Ray temas bölgesinde kusurlu olmayan alanlar beyaz (255) renkle, kusurlu alanlar ise siyah (0) renkle işaretlenmiştir. .

$$\text{Eğer } \left\{ Ray_{Temas_sütun_{x,y}} > Threshold_{sütun_ort_x} \text{ olduğunda } Ray_{Temas_{x,y}} = 255 \right\} \quad (4)$$
$$\text{diğer } \{ Ray_{Temas_sütun_{x,y}} = 0 \}$$

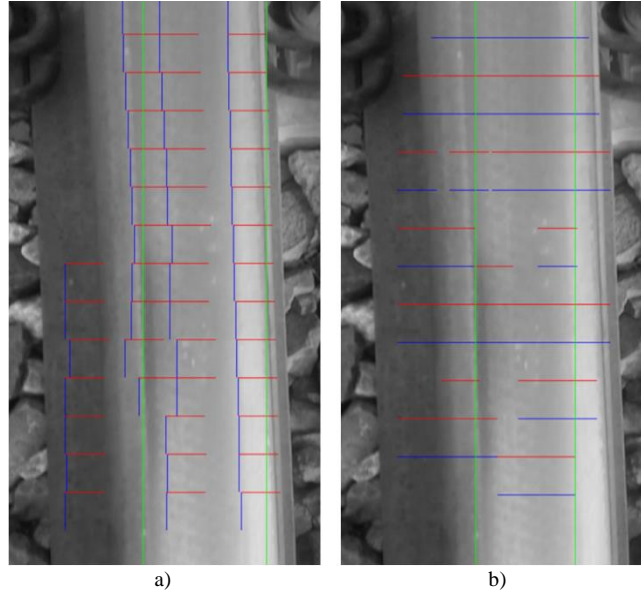
4. Bulgular

Bu çalışmada; demiryolu raylarının görüntüleri bir video kamera yardımıyla alınmıştır. Kamera video görüntüleri rastgele farklı konumlardan elde edilmiştir. Çalışmada rastgele seçilmiş birbirinden farklı 50 görüntü üzerinde Yatay-Dikey ve Yatay-Yatay algoritmalarının ray temas bölgesini tespit etme başarıları ölçülmüştür. Daha sonra tespit edilen bölgeler üzerinde kusur tespit uygulaması yapılmıştır. Kusur tespit aşaması bu çalışmada öneri olarak sunulmuştur.

4.1. Ray-temas bölgesinin tespiti

Ray görüntüsü üzerindeki, Yatay-Dikey (YD) ve Yatay-Yatay (YY) görüntü işleme algoritmalarının uygulama sonucu, Şekil 4 üzerinde görülmektedir. Şekil 4.a) üzerindeki kırmızı çizgiler, yatay pikselleri, mavi çizgiler ise dikey pikselleri göstermektedir. Başlangıç noktaları aynı olan kırmızı ve mavi çizgilerin bulunduğu konumlardaki piksellerin ortalamaları birbirine en yakın demektir. Görüntünün iki taraftaki yeşil çizgiler ise bu yatay çizgilerin en fazla kesiştiği (x koordinatı) noktadan çizilmek üzere, tespit edilen ray-temas bölgesinin sınırını göstermektedir. Şekil 4.b) üzerindeki kırmızı çizgiler, birinci seviye yatay pikselleri, mavi çizgiler ise ikinci seviye yatay pikselleri göstermektedir. Başlangıç ve bitiş noktaları aynı olan kırmızı ve mavi çizgilerin bulunduğu konumlardaki piksellerin ortalamaları birbirine en yakın demektir. Görüntünün iki taraftaki yeşil çizgiler ise bu yatay çizgilerin en fazla kesiştiği (x koordinatı) noktadan çizilmek üzere, tespit edilen ray-temas bölgesinin sınırını göstermektedir.

Ölçümler sonucunda; YD algoritmasının, bir görüntü üzerindeki ray-temas bölgesini ortalama, 0,610 saniyede, YY algoritmasının ise 0,357 saniyede tespit ettiği görülmüştür. Bu sonuçlar YY algoritmasının, YD algoritmasından daha hızlı olduğunu göstermektedir.



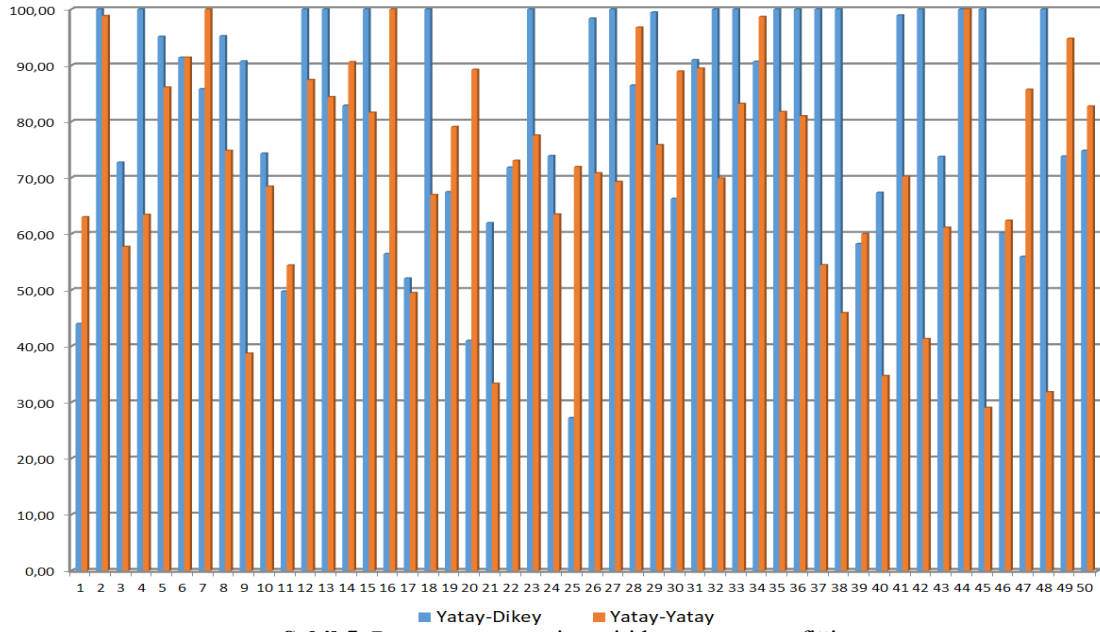
Şekil 4. İki algoritmanın uygulanması a) Yatay-Dikey algoritma uygulaması b) Yatay-Yatay algoritma uygulaması

Tablo 1’de, ray görüntüleri üzerinde Yatay-Dikey (YD) ve Yatay-Yatay (YY) algoritmalarının ray-temas yüzeyleri bulunmuş ve mevcut ray-temas yüzeylerine oranla, başarı değerleri hesaplanmıştır. Bu tabloda x_0 ile soldan ray-temas sınır konumu, x_1 ile de sağdan ray-temas sınır konumu bulunmuştur. Her iki yöntem için başarı oranları ise, bulunan sınırlar içindeki toplam temas yüzey alanlarının, gerçek ray-temas (olması gereken) yüzey alanına oranını göstermektedir. Buradan elde edilen sonuç yüzdelik (%) olarak başarı değerini göstermektedir.

Tablo 1. İki algoritmanın ray-temas yüzeyi tespiti başarı oranları

Ray Görüntü Bilgisi	Yatay-Dikey Ray Temas Yüzeyi Tespiti			Yatay-Yatay Ray Temas Yüzeyi Tespiti			Mevcut Ray Değerleri (M_R_D)			Başarı	Başarı
	Ray x0-Konumu Piksel	Ray x1-Konumu Piksel	YD(alan) Toplam Piksel Sayısı	Ray x0-Konumu Piksel	Ray x1-Konumu Piksel	YY(alan) Toplam Piksel Sayısı	Ray x0-Konumu Piksel	Ray x1-Konumu Piksel	Gerçek Ray Toplam Piksel Sayısı		
rail img1	139	227	66000	174	300	94500	141	341	150000	44,00	63,00
rail img2	115	287	129000	115	285	127500	115	287	129000	100,00	98,84
rail img3	142	302	120000	174	301	95250	99	319	165000	72,73	57,73
rail img4	145	320	131250	174	285	83250	145	320	131250	100,00	63,43
rail img5	179	316	102750	179	303	93000	172	316	108000	95,14	86,11
rail img6	119	268	111750	119	268	111750	119	282	122250	91,41	91,41
rail img7	125	276	113250	125	301	132000	125	301	132000	85,80	100,00
rail img8	162	302	105000	162	272	82500	162	309	110250	95,24	74,83
rail img9	146	303	117750	174	241	50250	146	319	129750	90,75	38,73
rail img10	171	310	104250	171	299	96000	171	358	140250	74,33	68,45
rail img11	173	269	72000	134	239	78750	134	327	144750	49,74	54,40
rail img12	139	306	125250	144	290	109500	139	306	125250	100,00	87,43
rail img13	133	306	129750	144	290	109500	133	306	129750	100,00	84,39
rail img14	140	290	112500	140	304	123000	140	321	135750	82,87	90,61
rail img15	121	306	138750	155	306	113250	121	306	138750	100,00	81,62
rail img16	161	240	59250	150	290	105000	150	290	105000	56,43	100,00
rail img17	128	228	75000	156	251	71250	128	320	144000	52,08	49,48
rail img18	97	315	163500	163	309	109500	97	315	163500	100,00	66,97
rail img19	97	242	108750	142	312	127500	97	312	161250	67,44	79,07
rail img20	174	258	63000	119	302	137250	97	302	153750	40,98	89,27
rail img21	113	271	118500	174	259	63750	103	358	191250	61,96	33,33
rail img22	109	285	132000	132	311	134250	66	311	183750	71,84	73,06
rail img23	109	296	140250	145	290	108750	109	296	140250	100,00	77,54
rail img24	120	290	127500	137	283	109500	120	350	172500	73,91	63,48
rail img25	174	241	50250	104	281	132750	104	350	184500	27,24	71,95
rail img26	122	304	136500	174	305	98250	120	305	138750	98,38	70,81
rail img27	155	334	134250	174	298	93000	155	334	134250	100,00	69,27
rail img28	174	308	100500	153	303	112500	153	308	116250	86,45	96,77
rail img29	125	306	135750	172	310	103500	124	306	136500	99,45	75,82
rail img30	124	232	81000	159	304	108750	147	310	122250	66,26	88,96
rail img31	174	295	90750	174	293	89250	162	295	99750	90,98	89,47
rail img32	124	320	147000	124	261	102750	124	320	147000	100,00	69,90
rail img33	124	320	147000	130	293	122250	124	320	147000	100,00	83,16
rail img34	174	310	102000	160	308	111000	160	310	112500	90,67	98,67
rail img35	174	300	94500	174	277	77250	174	300	94500	100,00	81,75
rail img36	124	308	138000	152	301	111750	124	308	138000	100,00	80,98
rail img37	124	315	143250	174	278	78000	124	315	143250	100,00	54,45
rail img38	124	320	147000	175	265	67500	124	320	147000	100,00	45,92
rail img39	150	249	74250	168	270	76500	150	320	127500	58,24	60,00
rail img40	124	254	97500	174	241	50250	124	317	144750	67,36	34,72
rail img41	132	318	139500	169	301	99000	132	320	141000	98,94	70,21
rail img42	174	312	103500	174	231	42750	174	312	103500	100,00	41,30
rail img43	174	320	109500	174	295	90750	124	322	148500	73,74	61,11
rail img44	124	310	139500	124	310	139500	124	310	139500	100,00	100,00
rail img45	124	310	139500	174	228	40500	124	310	139500	100,00	29,03
rail img46	124	236	84000	174	290	87000	124	310	139500	60,22	62,37
rail img47	150	244	70500	174	318	108000	150	318	126000	55,95	85,71
rail img48	124	322	148500	174	237	47250	124	322	148500	100,00	31,82
rail img49	124	265	105750	124	305	135750	124	315	143250	73,82	94,76
rail img50	124	228	78000	159	274	86250	159	298	104250	74,82	82,73

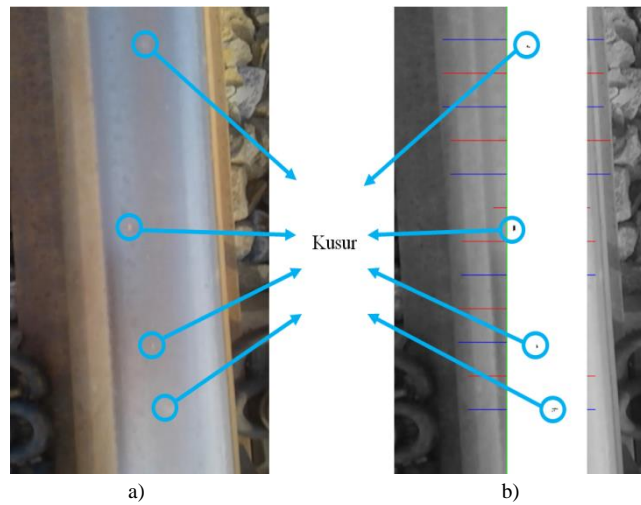
Tablo 1’den elde edilen değerlere göre; YD algoritmasıyla %87,81 başarı ortalaması elde edilmiştir. YY algoritmasıyla başarı ortalaması da %70,39 elde edilmiştir. YY algoritmasıyla, üç kez %100 başarılı ray-temas bölgesinin tespiti, YD algoritmasıyla ise on sekiz kez %100 başarılı, ray-temas bölgesinin tespiti gerçekleştirilmiştir. En düşük %27,24 başarı oranıyla YD algoritması tespit gerçekleştirmiştir. Tablo 1’den elde edilen değerlere göre Şekil 5’deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5. Ray-temas yüzeyi tespiti başarı oran grafiği

4.2. Eşik değeri (Threshold) ve kusur tespiti

Ray temas bölgesi belirlenmiş görüntüler üzerinde kusur varlığının kontrol edilmesi çalışmanın başarısını pekiştirmektedir. Bunu başarabilmek için bir eşik değeri belirlenmesi düşünülmüştür. Her görüntünün ray-temas bölgesi içindeki, bütün sütunları (dikey) için farklı eşik değeri kullanılmıştır. Her sütun için eşik değeri, ilgili sütunun gri değer ortalamaları bulunarak hesaplanmıştır. Hesaplanan eşik değeriyle, ilgili sütunun bütün piksel değerleri karşılaştırılmıştır. Eşik değerinden büyük olan piksel değerleri siyah (0), küçük ve eşit olan piksel değerleri beyaz (255) renk ile boyanmıştır. Siyah renk olan pikseller ile kusur olarak gösterilmiştir. Bu yöntem kullanılarak, her görüntünün kendine özgü eşik değerlerini kullanılması amaçlanmıştır. Yapılan ölçümlere göre; sınırları belirlenmiş bir ray-temas bölgesinin kusur tespiti ortalama, 0,150 saniyede gerçekleştirilmiştir. Böylelikle doğru sonuç veren eşik değeri kullanılmış olmaktadır. Şekil 6 üzerinde, ray-temas bölgesinde gerçek kusurları olan bir ray görüntüsünün kusurlarının, her sütun ortalama eşik değeri kullanılarak doğru şekilde tespit edildiği görülmektedir.



Şekil 6. Ray kusur tespiti a)Ray-temas bölgesinde gerçek kusur olan görüntü b)Ray-temas bölgesi kusurlarının tespit edilmesi

5. Sonuç

Bu çalışmada, demiryolu raylarının yapısında en sık karşılaşılan kusur türleri incelenmiş ve bu kusurların tespit edilmesine yönelik yapılan çalışmalar yorumlanmıştır. Birçok araştırmacı, demiryolu ray yüzeylerinde karşılaşılan kusurları tespit etmek amacıyla, farklı yöntemler kullanmışlardır. Malzeme yapısını muayene etmek için tahribatlı ve tahribatsız yöntemler kullanılmaktadır. Ancak ray yüzeylerindeki kusurları tespit etmek için, en çok tercih edilen yöntemler tahribatsız muayene yöntemleri olmuştur. Çünkü tahribatsız muayene yöntemleriyle muayene aşamasında rayın yapısı bozulmamaktadır. Tahribatlı muayene yöntemlerinde ise muayene aşamasında, ray yapısında hasar oluşabileceğinden bu yöntem genellikle tercih edilmemektedir. Görsel muayene yöntemi, tahribatsız muayene yöntemlerinden biridir. Görsel muayene yöntemi, insan aracılığıyla yapıldığında oldukça yavaş ve güvenilirlik düzeyi zayıftır. Bilgisayar destekli, akıllı bir görüntü işleme sistemiyle muayene yapılması ise hızlı ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bu alanda birçok çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca ray kusurlarını tespit etmek amacıyla birçok şirket kurulmuştur. Her şirket, farklı yöntemleri kullanarak, kusur tespitini gerçekleştirmeye çalışmıştır. Raylı sistem taşımacılığı devamlılık gerektiren bir alan olduğundan, kusur tespitini bu şirketlere yaptırmak büyük maliyetler oluşturacaktır.

Görüntü işleme yöntemi kullanarak, ray yapısı incelenmek istendiğinde en büyük ve en önemli adım rayın tespit edilmesidir. Bu çalışmada, farklı noktalardan elde edilen 50 adet ray görüntüsü üzerinde, özgün olarak geliştirilen iki görüntü işleme algoritması uygulanarak, demiryolu raylarındaki ray-temas bölgeleri tespit edilmiştir ve bu iki yöntem birbiriyle kıyaslanmıştır. Bu algoritmalarından Yatay-Dikey algoritması %87,81, Yatay-Yatay algoritması %70,39 başarı oranıyla ray-temas bölgesini tespit etmiştir. Son aşamada bu temas bölgeleri üzerinde, sütun ortalama eşikleme yöntemi kullanılarak kusurlu alanların bulunabileceği gösterilmiştir. Demiryollarından elde edilen görüntülerde birçok arka plan görüntüsü (taş dolgu malzemesi, trifon civatası, beton bloklar vb.) varlığı mevcuttur. Bundan dolayı ray-temas bölgesinin bulunması zor olabilmektedir. Yapılan çalışmada, arka plan yok edilerek, ray-temas bölgesi başarıyla tespit edilmiş ve işaretlenmiştir. Son adımda ise gerçek kusurları olan bir rayın kusurlu alanları tespit edilmiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, geliştirilen bu iki görüntü işleme yöntemi kullanılarak, daha çok sayıda gerçek kusurlu ray görüntüsü analiz edilebilir. Ayrıca bu ray görüntülerinin ray-temas bölgesi ve kusur tespiti başarı oranları bulunabilir.

Kaynakça

- [1] Y. Berber, Ü. Öztuyak, F. Örs and O. Kalaycıoğlu, “Kardemir’de ray üretimi,” *3. Demir Çelik Sempozyumu*, Karabük, Türkiye, 2018, pp. 15-18.
- [2] Y. Özdemir, “Ray-Tekerlek temasında temas parametrelerinin incelenmesi,” *Demiryolu Mühendisliği Dergisi*, no. 11, pp. 1-13, Oca. 2020.
- [3] S.S.J. Kumar, T.J. Titus, V. Ganesh and V.S.S. Devi, “Automotive crack detection for railway track using ultrasonic sensor,” *International Journal of Engineering Technology and Computer Research (IJETCR)*, vol. 4, no. 5, pp. 34-37, Dec. 2016.
- [4] C. Tastimur, H. Yetis, M. Karaköse and E. Akın, “Rail defect detection and classification with real time image processing technique,” *International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSSE)*, vol. 5, no.12, pp. 283-290, Dec. 2016.
- [5] M. Molodova, Z. Li, A. Núñez and R. Dollevoet, “Automatic detection of squats in railway infrastructure,” In *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*, vol. 15, no. 5, Oct. 2014.
- [6] L. Chen, Y. Liang and K. Wang, “Inspection of rail surface defect based on machine vision system,” *The 2nd International Conference on Information Science and Engineering*, Hangzhou, China, 2010, pp. 3793-3796.
- [7] Y. Santur, M. Karaköse and E. Akın, “Chouqet fuzzy integral based condition monitoring and analysis approach using simulation framework for rail faults,” In *14th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, Poitiers, France, 2016, pp. 345-350.

- [8] R.P.B.J. Dollevoet, "Design of an anti-head check profile based on stress relief," PhD Thesis, Research UT, University of Twente, Enschede, 2010.
- [9] M. Shah, "Automated visual inspection/ detection of railroad track," *Computer Vision Lab*, Final Report, 2010.
- [10] V. R. Vijaykumar and S. Sangamithirai, "Rail defect detection using gabor filters with texture analysis," *In 2015 3rd International Conference on Signal Processing, Communication and Networking (ICSCN)*, Chennai, India, 2015, pp. 1-6.
- [11] G. Joy, H. N, and R. Krishnan, "Rail flaw detection using image processing concepts- a review," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 3, no. 4, pp. 2185-2190, Apr. 2014.
- [12] M. Tuğyanoğlu, A. Keskin, U. Biçer and Ş. Erdoğan, "Yüksek hızlı tren (yht) hatlarında kusurlu ray incelemesi", *2. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE'13)*, Karabük, Türkiye, 2013, pp. 1-8.
- [13] Swiss Federal Railways (SBB) and Swiss Center for Electronics and Microtechnology (CSEM), "Deep Learning of Railway Track Faults using GPUs". Jun. 2018. [Online]. [Accessed April 28, 2020]
- [14] A. Çelik, "Computer vision system for defect detection of hot rolling products," *International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT)*, vol. 40, no. 2, pp. 88-91, Oct. 2016
- [15] İ. M. Orak and A. Çelik, "Üretim aşamasında ray ve profilde oluşan kusurların tespitine yönelik bir paralel kusur algılama algoritması," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 32, no. 2, pp. 439-448, Jun. 2017.
- [16] İ. M. Orak and A. Çelik, "An algorithm (COLMSTD) for detection of defects on rail and profile surfaces," *International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)*, vol. 14, no. 4, pp. 45-50, Apr. 2016.
- [17] İ. M. Orak and A. Çelik, "Parallel noise removing process on hot rolled rail images for defect detection," *Global Journal on Technology*, no. 07, pp. 136-143, Mar. 2015.
- [18] A. Çelik, "Haddeleme işlemi sırasında ray ve profil yüzeylerinde oluşan kusurların tespit edilmesine yönelik paralel işlemci uygulaması," Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2016.
- [19] M.A. Sevim, A.C. Çelt, S. Kabar and Ö. Akgünlü, "Demiryollarında Raylara Uygulanan Tahribatsız Muayene Yöntemleri," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 11, pp. 60 – 74, Oca. 2020.
- [20] The American Society for Nondestructive Testing, "Introduction to Nondestructive Testing", 2019. [Online]. Available: <https://prod.asnt.org/en/MinorSiteSections/AboutASNT/Intro-to-NDT.aspx> (Accessed April 10, 2020).

Özgeçmiş



Ahmet ÇELİK

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Teknolojileri Bölümünde, Doktor Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Lisans Eğitimini Selçuk Üniversitesi'nde, Yüksek Lisans Eğitimini Kütahya Dumlupınar Üniversitesi'nde, Doktora Eğitimini ise Karabük Üniversitesi'nde tamamlamıştır. İlgi alanına giren araştırma konuları; görüntü işleme, paralel sistemler, makine öğrenmesi, veri madenciliği, ağ ve bilgi güvenliğidir.

E-Posta: ahmet.celik@dpu.edu.tr

Beyanlar

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.