



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Peridinamik Tabanlı Bulanık Mantık Algoritması Yardımıyla Ray Yüzeyindeki Kusurların Tam Spektrum Görüntü İşleme ile Tespiti

 Cihan MIZRAK ^{a,*}

^a *Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE*

* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: cihanmizrak@karabuk.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.831852

ÖZET

Bu çalışmada tam spektrum görüntü üzerinden ray kusurlarının belirlenmesine yönelik peridinamik tabanlı bulanık mantık algoritması geliştirilmiştir. Örnek uygulama için tam spektrum ray kusuru görüntüsünün, gri skala tanım kümesinde Gaussian maskeleymesi gerçekleştirilmiş, görüntünün farklı boyut ve mertebelerden türev alma işlemleri peridinamik sayısal türev alma metodu kullanılarak elde edilmiştir. Alınan türevler bulanık mantık sisteminde değerlendirildikten sonra görüntünün RGB ve HSV skalaları üzerinde üç temel dalga boyu dönüşümü yapılmıştır. Bulanık mantık çıktısı üzerine tatbik edilen en etkin üç dalga boyu ile ortak noktaların tespiti gerçekleştirilerek ray kusurlarının daha belirgin bir şekilde ortaya çıkması sağlanmıştır. Ayrıca üç farklı tam spektrum örnek ray kusur görüntüsü ile geliştirilen algoritma test edilip, literatürdeki mevcut kenar bulma algoritmalarına göre daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Peridinamik, Bulanık mantık, Dalga boyu, Ray kusuru*

Detection of Rail Surface Defects by Full Spectrum Image Processing with the Help of Peridynamic Based Fuzzy Logic Algorithm

ABSTRACT

In this study, a peridynamic based fuzzy logic algorithm has been developed for the detection of rail defects on a full spectrum image. For the sample application, Gaussian masking of the full spectrum ray defect image in the gray scale definition set was performed and the derivation operations of the image from different directions and orders were obtained by using the peridynamic numerical derivation method. Three different wavelength transformations were performed on the RGB and HSV scales of the image. By identifying the common points with the three most effective wavelengths applied on the fuzzy logic output, the rail defects are more pronounced. In addition, the algorithm developed with three different full spectrum sample ray defect images was tested and found to be better than the existing edge detection algorithms in the literature.

Keywords: *Peridynamics, Fuzzy logic, Wavelength, Rail defects*

I. GİRİŞ

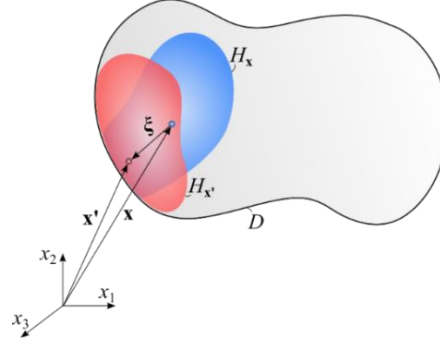
Demiryolları gibi yatırım maliyetleri yüksek olan ulaşım türlerinde hattın sürekli kontrol edilmesi, malzeme yüzeyinde ve içerisindeki kusurların devamlı suretle izlenmesi gerekmektedir. Özellikle malzeme yüzeyinde meydana gelen kusurlar, araç dinamiği ve sürüş güvenliğini önemli ölçüde etkilediğinden temaslı ve temassız yöntemler ile bu kusur ve arızaların tespit çalışmaları yürütülmektedir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte temaslı hasar tespit uygulamaları yerini daha hızlı ve güvenilir temassız yöntemlere bırakmaya başlamıştır. Bu yöntemler içerisinde ultrasonik sinyaller ile ray yüzeyinin izlenmesi ve kusur tespiti [1-2] , sinyal işleme tabanlı yöntemler ile rayın ve ray bağlantı elemanlarının kusurlarının tespiti [3-4], lazer [5-6] ve kızılötesi [7-8] kameralar kullanılarak ray yüzeyinde oluşan kusurların tespitinin yanında görüntü işleme tabanlı algoritmalar ve sistemler de sıklıkla tercih edilir hale gelmiştir. Görüntü işleme tabanlı yapılan çalışmalar diğer temassız yöntemlere göre maliyet ve uygulanabilirlik noktasında daha avantajlı konumda bulunmaktadır. Bu zamana kadar yapılan görüntü işleme tabanlı ray yüzeyinin kusur tespit çalışmaları incelendiğinde;

Zhuang ve arkadaşları [9], ray yüzeyinde meydana gelen kusurların otonom bir şekilde tespiti için geliştirdikleri Haar-Like yöntemi ile ray yüzeyinin muayenesi ve özellik çıkarımı yapmıştır. Görüntüler üzerinde bölümlenme de Otsu yöntemi tercih edilerek 512x512 piksel örnekler üzerinden 24 ms'lik veri işleme hızına ulaşılmıştır. Biao ve arkadaşları [10], uyarlanabilir görüntü ayrıştırma tekniği ile ray yüzey kusurlarının tespitini gerçekleştirmişlerdir. Tek boyutlu sinyal işlemeye dönüştürülen ray görüntüsü üzerinden ani değişimler kusur olarak algılanırken, ray yüzeyinde meydana gelen blok kusurları % 83.17, doğrusal kusurlar ise %78.54 oranı ile belirlenebilmiştir. Gan ve arkadaşları [11], geliştirdikleri kademeli görüntü çıkarım algoritması ile oluşturdukları deney düzeneği üzerinden kaba ve hassas filtreleme yapmak suretiyle yüzey kusurlarının belirgin hale getirmeyi başarmışlardır. Shang ve arkadaşları [12], derin öğrenme yöntemini kullanarak 960x1280 piksel ölçülerindeki ray yüzeyi görüntüsünü sınıflandırma suretiyle işleyerek ray yüzeyinde meydana gelen kusurların tespitini gerçekleştirmişlerdir. Önerilen yöntemin daraltılmış bölge için başarısı %95 seviyelerinde iken orijinal ebatlarda %92 seviyelerinde kaldığı görülmüştür. Faghih-Roohi ve arkadaşları [13], evrişimli sinir ağları algoritması ile ray yüzeyinde meydana gelen altı farklı kusur için 700 kilometre uzunluğunda demiryolu hattında 22408 adet görüntü ile geliştirdikleri yöntemi denemişlerdir. Tastimur ve arkadaşları [14], Hough dönüşümü yardımıyla demiryolu hattının görüntüsünden ray yüzeyinin ayırt etmeyi gerçekleştirmişlerdir. Ayrıştırılan görüntü üzerinden geliştirilen morfolojik tabanlı algoritma ile ray yüzeyinin kusurlarının tespiti mümkün olmuştur. Hu ve arkadaşları [15], demiryolu görüntüsünden ray yüzeyini görüntü işleme ile ayırarak iki kademeli Gaussian filtresi ile ray yüzeyindeki kusurların daha belirgin hale getirilmesi sağlanmıştır. Bu aşamadan sonra eşikleme yapılarak geliştirilen algoritmanın %93.5 doğrulukta çalıştığı tespit edilmiştir.

Çalışmada bu zamana kadar yapılan çalışmalardan farklı olarak tam spektrum (280nm-1200nm) dalga boyunda elde edilen ray yüzeyi görüntülerinin geliştirilen peridinamik tabanlı bulanık mantık algoritması ile işlenerek, ray yüzeyi üzerindeki kusurların belirgin hale getirilmesi hedeflenmiştir. Bu aşamadan sonra uygun eşik değeri ile ray kusurlarının gürültüden ayrılarak netleştirilmesi gerçekleştirilecektir. Böylece ray kusurlarının malzeme içerisine ilerlemeden erken safhada teşhisi daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilmiş olacaktır.

II. PERİDİNAMİK SAYISAL TÜREV METODU

Peridinamik teorisinde skaler alan içerisinde hesaplanan her x değerine karşılık gelen $f=f(x)$ ifadesinde diğer x' noktaları ile etkileşimlerinin etkisi için lokal olmayan gösterim sağlanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Peridinamik x ve x' noktalarının birbirleri arasındaki etkileşimi ve keyfi belirlenen ailelerin şekli ile yapısı

Belirlenen noktalar kendi aile sınırlarının içerisinde H_x veya $H_{x'}$ ancak etkileşimde bulunurlar. Her bir noktanın birbiri ile etkileşimi birimsiz ağırlık fonksiyonu ($\omega(|\xi|)$) ile ifade edilmektedir. Ailelerin büyüklüğü ve şekli farklılık gösterebilir ve bu lokalsizliğin derecesini vermektedir. Ailelerin büyüklüğü azaldıkça lokallik artarken, ailelerin büyüklüğünün artması durumunda lokallikten uzaklaşmaktadır. Genellikle seçilen x noktası kendi ailesi içerisinde uzay-zaman alanında simetrik olmayan konumdadır. Çünkü lokalsizlik zaman doğrultusu boyunca geçmişe bağlıdır. Peridinamik türevlendirmenin geçici olarak yokluğunda, iç noktalar ailenin içerisinde simetrik konumda olmayabilir. Buna rağmen ailenin sınırları yakınında seçilen noktalar her zaman asimettir [16]. Buradan yola çıkarak peridinamik diferansiyel operatör (3);

$$\frac{\partial^{P_1+P_2+\dots+P_M} f(x)}{\partial x_1^{P_1} \partial x_2^{P_2} \dots \partial x_M^{P_M}} = \int_{H_x} f(x + \xi) g_N^{P_1 P_2 \dots P_M}(\xi) dV \quad (1)$$

olarak tanımlanmıştır [17]. Burada p_i türevin x_i değişkenine göre mertebesini ifade etmektedir. $i=1, \dots, M$ olmak üzere herbir nokta arasındaki bağıl vektör $\xi = x' - x$ şeklindedir. Peridinamik fonksiyonlar ortogonal özelliğe sahip olup $g_N^{P_1 P_2 \dots P_M}(\xi)$ şeklindedir (2) [17].

$$\frac{1}{n_1! n_2! \dots n_M!} \int_{H_x} \xi_1^{n_1} \xi_2^{n_2} \dots \xi_M^{n_M} g_N^{P_1 P_2 \dots P_M}(\xi) dV = \delta_{n_1 p_1} \delta_{n_2 p_2} \dots \delta_{n_{M-1} p_{M-1}} \delta_{n_M p_M} \quad (2)$$

Burada peridinamik fonksiyon $n=0, \dots, N$ 'e kadar tekrardan düzenlenecek olursa [17];

$$g_N^{P_1 P_2 \dots P_M}(\xi) = \sum_{q_1=0}^N \sum_{q_2=0}^N \dots \sum_{q_M=0}^{N-q_1-\dots-q_{M-1}} a_{q_1 q_2 \dots q_M}^{P_1 P_2 \dots P_M} \omega_{q_1 q_2 \dots q_M}(|\xi|) \xi_1^{q_1} \xi_2^{q_2} \dots \xi_M^{q_M} \quad (3)$$

(3) elde edilmiş olur. $\omega_{q_1 q_2 \dots q_M}(|\xi|)$ ağırlık fonksiyonunu ifade ederken herbir $\xi_1^{q_1} \xi_2^{q_2} \dots \xi_M^{q_M}$ terimi polinomsal açılımı göstermektedir. Bilinmeyen $a_{q_1 q_2 \dots q_M}^{P_1 P_2 \dots P_M}$ terimi ise [17];

$$\sum_{q_1=0}^N \sum_{q_2=0}^N \dots \sum_{q_M=0}^{N-q_1-\dots-q_{M-1}} A_{(n_1 n_2 \dots n_M)(q_1 q_2 \dots q_M)} a_{q_1 q_2 \dots q_M}^{P_1 P_2 \dots P_M} = b_{n_1 n_2 \dots n_M}^{P_1 P_2 \dots P_M} \quad (4)$$

(4) çözümü ile elde edilmiş olur. $q_i=0, \dots, N$ olmak üzere şekil matrisi (5);

$$A_{(n_1 n_2 \dots n_M)(q_1 q_2 \dots q_M)} = \int_{H_x} \omega_{q_1 q_2 \dots q_M}(|\xi|) \xi_1^{n_1+q_1} \xi_2^{n_2+q_2} \dots \xi_M^{n_M+q_M} \cdot dV \quad (5)$$

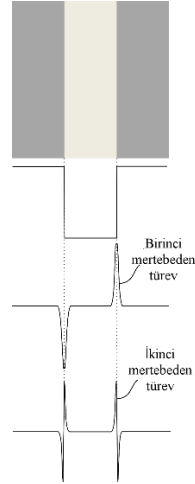
ve

$$b_{n_1 n_2 \dots n_M}^{P_1 P_2 \dots P_M} = n_1! \cdot n_2! \dots n_M! \cdot \delta_{n_1 P_1} \delta_{n_2 P_2} \dots \delta_{n_M P_M} \quad (6)$$

ifadelerinin çözümü ile elde edilmiş olur. Peridinamik diferansiyel operatör ailenin büyüklüğüne bağlı olarak lokal türevlenmeyi kapsamaktadır. H_x küçüldüğü zaman $g_N^{P_1 P_2 \dots P_M}(\xi)$ artmaktadır. Bu durum bize lokalize olmaktan uzaklaşıldığını açıklamaktadır [17].

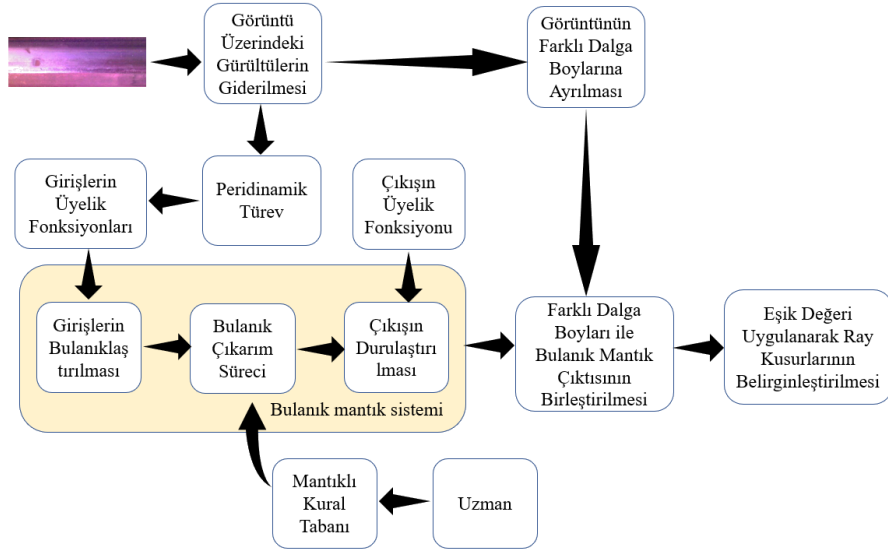
III. ÖNERİLEN YÖNTEM

Ray yüzeyinde meydana gelen kusurların tespitinde birinci ve ikinci mertebeden türevler alınmak suretiyle çeşitli kenar bulma algoritmaları uygulanmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanları Canny, Sobel ve Laplacian operatörleridir [18]. Bu operatörleri görüntü üzerine uygulamadan önce görüntünün gri skalaya çevrilmesi sonrasında ise Gaussian maskeleyme ile gürültünün giderilmesi gerekmektedir [18]. Sobel kenar bulma algoritmasında görüntünün birinci mertebeden türevi alınırken Laplacian operatöründe ise ikinci mertebeden türevi alınarak kenarlar ortaya çıkarılmaktadır [19]. Canny operatörü ise birinci mertebeden türev tabanlı Sobel operatörünün özelleştirilmiş biçimidir. Şekil 2’de Peridinamik sayısal türev metodu ile dikey çizgi ayrımlarının birinci ve ikinci mertebeden türev alınarak kenarlarının tespiti gösterilmiştir.



Şekil 2. Peridinamik türev alma metodu ile kenarların tespiti [20]

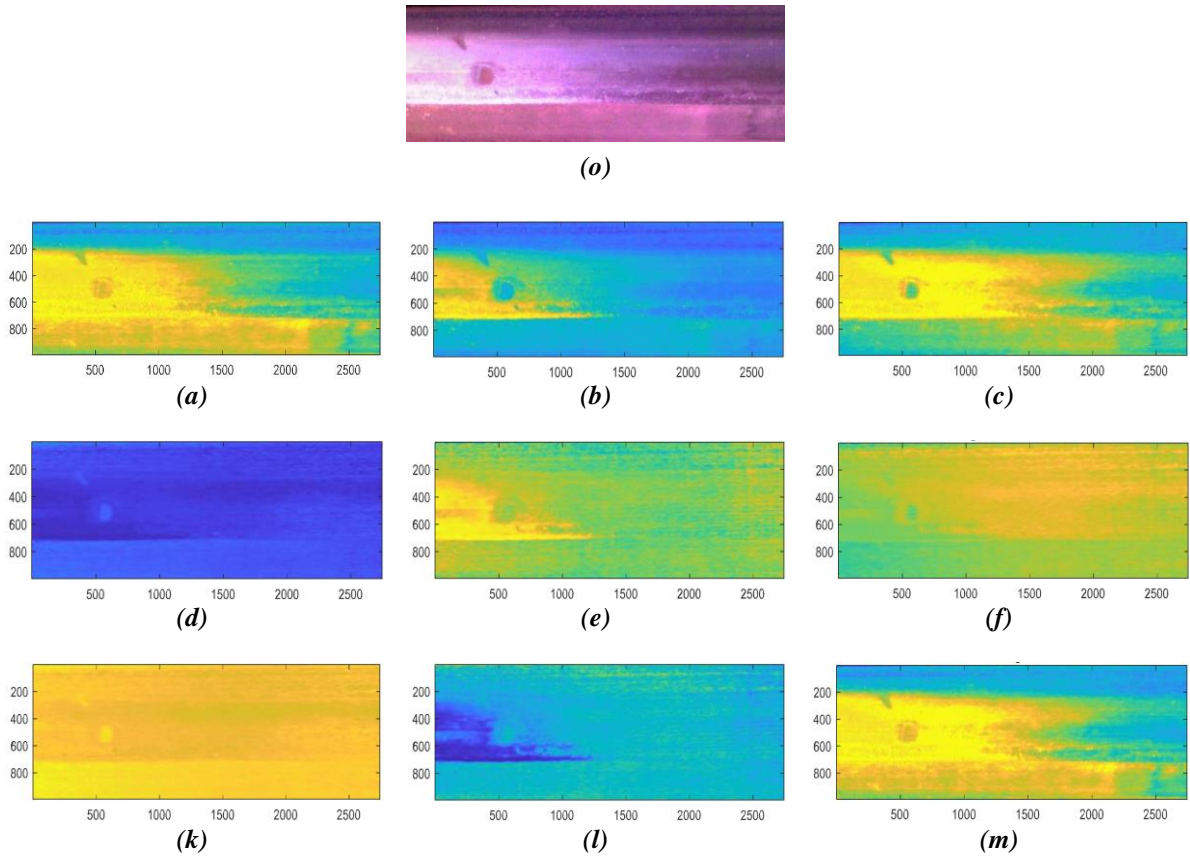
Şekil 3’te gösterilen peridinamik tabanlı bulanık mantık algoritmasında, görüntüye ilk olarak gri skala üzerinden gürültü eliminasyonu için Gaussian maskeleyme uygulanmaktadır. Sonrasında peridinamik sayısal türev alma tekniği ile, görüntünün iki boyutta türevi ve bu iki boyutun birbirlerine göre türevi alınarak, bulanık mantık sistemi için her biri giriş parametresine dönüştürülmektedir. Diğer taraftan gürültüsü alınmış görüntü, RGB ve HSV skalalarında segment ve kanallara ayrıştırılarak üç temel renk türünün sahip olduğu dalga boylarına ayrıştırılmaktadır. Böylece ray kusurlarının hangi dalgaboyunda daha etken olduğu ortaya çıkarılmış olacaktır. Bulanık mantık sisteminde mantıklı kurallar bütünü kullanılarak yapılan durulaştırma işlemi ile elde edilen çıkış görüntüsü, farklı dalga boylarında ki diğer görüntüler ile toplanıp ortak piksellerinin belirlenmesi gerçekleştirilmektedir. Elde edilen görüntü üzerinden belirli boyutun altındaki kusurların eşik değeri kullanılarak elenmesiyle nihai ray kusur görüntüsü elde edilmiş olmaktadır.

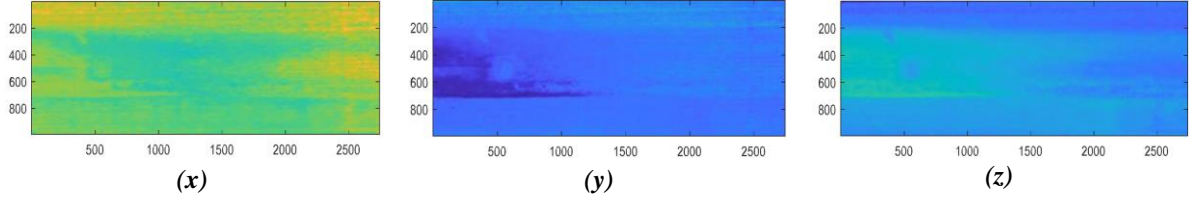


Şekil 3. Geliştirilen peridinamik tabanlı bulanık mantık görüntü işleme algoritması

IV. ÖRNEK UYGULAMA

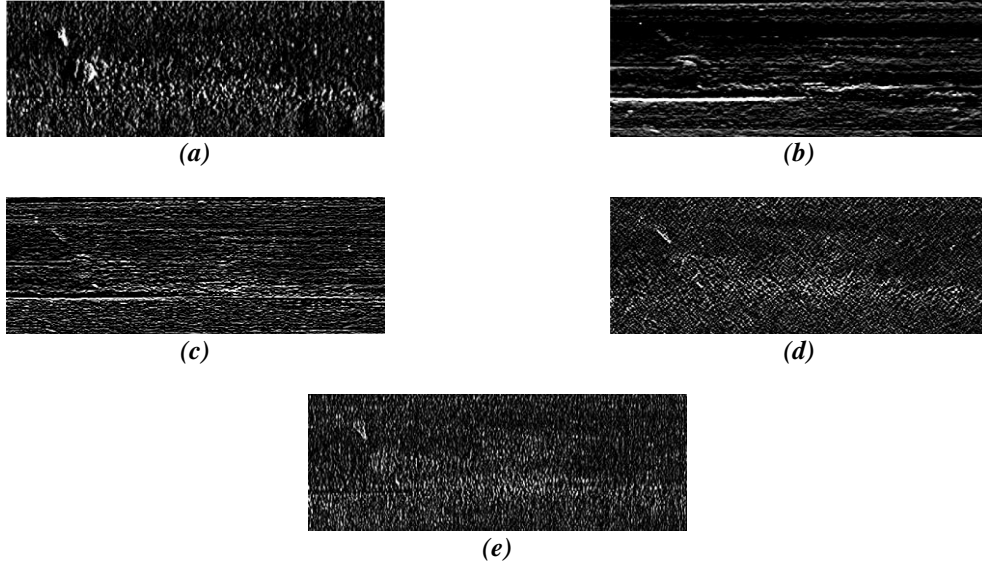
Ray yüzeyinde meydana gelen kusurların tespitine yönelik geliştirilen algoritma için seçilen görüntü üzerinden RGB ve HSV skalaları için belirlenen altı sınıf dalga boyu sınıflandırması Şekil 4'te gösterilmektedir.





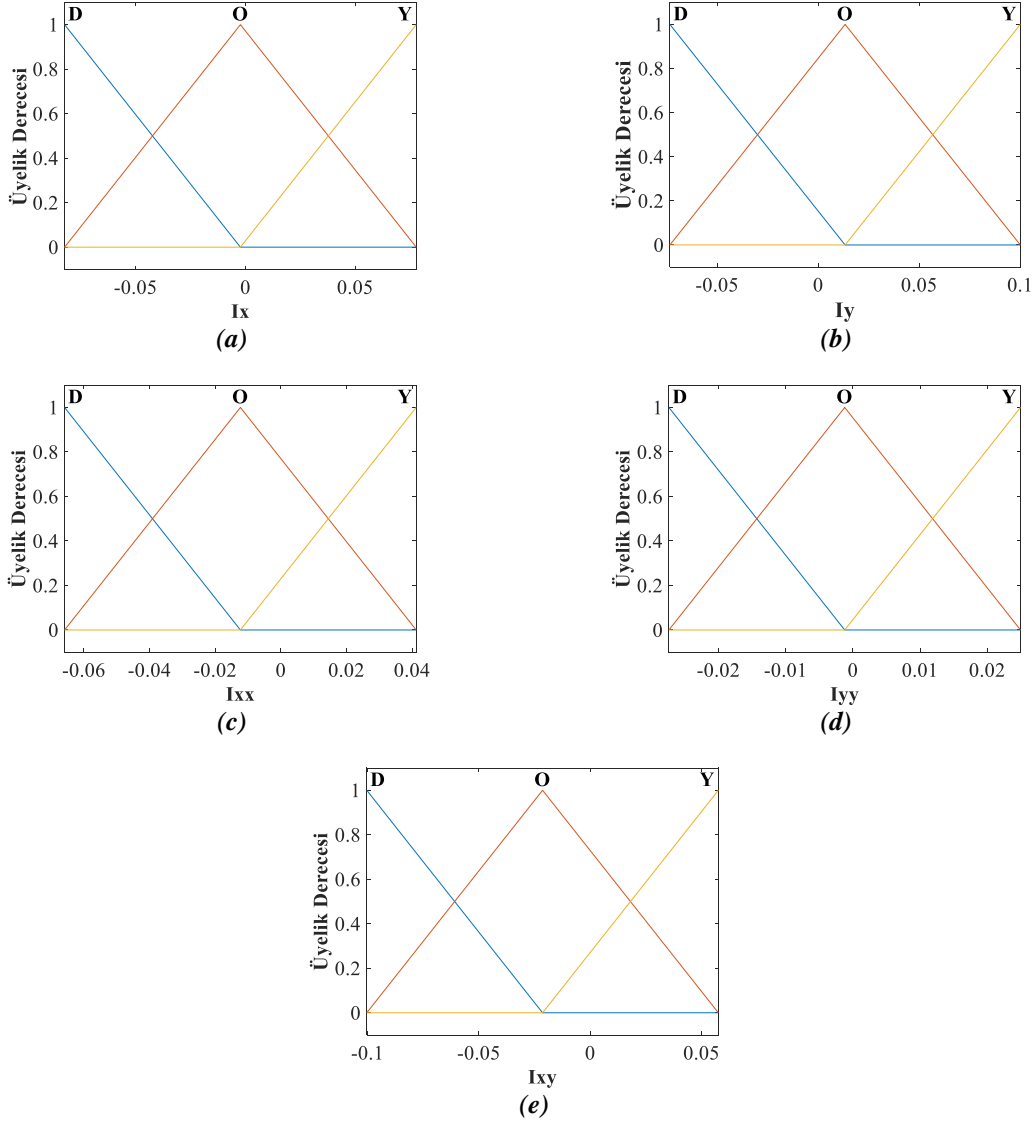
Şekil 4. (o) Ray kusur görüntüsünün, RGB skalasında (a) kırmızı, (b) yeşil, (c) mavi segment ve (d) kırmızı, (e) yeşil, (f) mavi kanal görüntüleri ile HSV skalasında (k) kırmızı, (l) yeşil, (m) mavi segment ve (x) kırmızı, (y) yeşil, (z) mavi kanal görüntüleri

Bu sınıflandırmalar ışığında farklı dalga boylarında ray yüzeyindeki kusurların tepkisi farklı olmaktadır. Özellikle RGB skalasında kırmızı görüntü kanalı ile HSV skalasında kırmızı segment ve mavi kanal dalga boylarındaki tepki görüntülerinde ray kusuru daha belirgin olurken diğer dalga boylarında, kusurlarla birlikte yansımanın etkisi görüntü üzerine dahil olmuştur. Dalga boylarının etkisinin, geliştirilen algoritmaya dahil olabilmesi için bulanık mantık sisteminin oluşturulması gerekmektedir. Geliştirilen bulanık mantık sisteminde giriş parametrelerini, görüntünün iki boyutu için birinci ve ikinci mertebeden türevleri ile bu iki boyutun birbirlerine göre türevleri meydana getirmektedir. Bu türevler peridinamik sayısal türev alma tekniği kullanılarak elde edilmiş ve görüntünün nihai şekli Şekil 5'te gösterilmiştir.



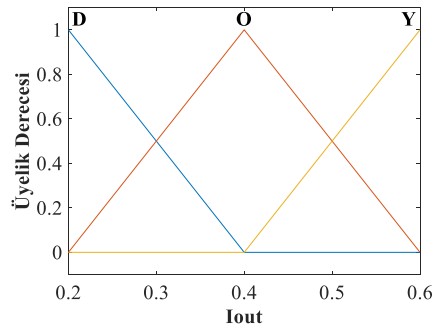
Şekil 5. Ray kusur görüntüsünün peridinamik türev alma metodu ile (a) x ekseninde birinci mertebeden türevi, (b) y ekseninde birinci mertebeden türevi, (c) x ekseninde ikinci mertebeden türevi, (d) y ekseninde ikinci mertebeden türevi, (e) x ekseninin y eksenine göre türevi

Şekil 5'teki türevleri alınmış görüntülerin her biri bulanık mantık sistemi için birer giriş parametresi olarak tanımlanmıştır. Giriş parametrelerinin sınır değerleri için görüntü üzerindeki piksellerin minimum ve maksimum değerleri belirlenmiştir. Bütün giriş parametrelerinin değer aralıkları üç eşit parçaya ayrılıp, tamamında üçgen tipinde üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. (Şekil 6).



Şekil 6. Bulanık mantık sistemi için (a) I_x , (b) I_y , (c) I_{xx} , (d) I_{yy} ve (e) I_{xy} giriş parametrelerinin üyelik fonksiyonları ile tanımlanan değer aralıkları

Çıkış parametresinin alt ve üst sınır değerleri normalize edilmiş şekilde, alt sınır değer 0.2, üst sınır değer ise 0.6 olarak bulanık mantık sistemine dahil edilmiştir. Çıkış parametresinin değer aralıkları, giriş parametrelerinde olduğu gibi üç eşit parçaya ayrılmış ve her biri üçgen tipinde üyelik fonksiyonu şeklinde tanımlanmıştır. (Şekil 7).



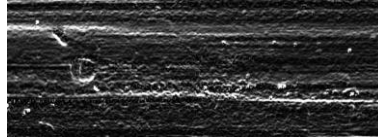
Şekil 7. Bulanık mantık çıkış parametresinin üyelik fonksiyonu ve değer aralıkları

Giriş ve çıkış arasındaki ilişkiyi kuran mantıklı kurallar bütününde, birinci boyutun birinci mertebeden türev ifadesini oluşturan giriş parametresi I_x , ikinci boyutun birinci mertebeden türev ifadesini oluşturan giriş parametresi I_y , birinci boyutun ikinci mertebeden türev ifadesini oluşturan giriş parametresi için I_{xx} , ikinci boyutun ikinci mertebeden türev ifadesini oluşturan giriş parametresi için I_{yy} , ve her iki boyutun birbirlerine göre türev ifadesini oluşturan giriş parametresi de I_{xy} , olarak tanımlanmıştır. Çıkış parametresinin de I_o , olarak tanımlandığı bulanık mantık sistemi için 13 adet kural girilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Bulanık mantık kural tabanı

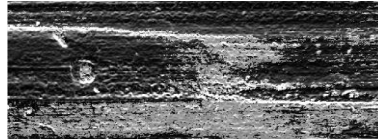
Sıra	Kural
1	Eğer (I_x D) ve (I_y D) ve (I_{xy} D) ve (I_{xx} D) ve (I_{yy} D) ise (I_{out} D)
2	Eğer (I_x O) ve (I_y O) ve (I_{xy} O) ve (I_{xx} O) ve (I_{yy} O) ise (I_{out} O)
3	Eğer (I_x Y) ve (I_y Y) ve (I_{xy} Y) ve (I_{xx} Y) ve (I_{yy} Y) ise (I_{out} Y)
4	Eğer (I_x D) yada (I_y Y) yada (I_{xy} Y) yada (I_{xx} Y) yada (I_{yy} Y) ise (I_{out} O)
5	Eğer (I_x O) yada (I_y Y) yada (I_{xy} Y) yada (I_{xx} Y) yada (I_{yy} Y) ise (I_{out} O)
6	Eğer (I_x D) yada (I_y O) yada (I_{xy} Y) yada (I_{xx} Y) yada (I_{yy} Y) ise (I_{out} O)
7	Eğer (I_x D) yada (I_y D) yada (I_{xy} Y) yada (I_{xx} Y) yada (I_{yy} Y) ise (I_{out} O)
8	Eğer (I_x D) yada (I_y D) yada (I_{xy} O) yada (I_{xx} Y) yada (I_{yy} Y) ise (I_{out} O)
9	Eğer (I_x D) yada (I_y D) yada (I_{xy} D) yada (I_{xx} Y) yada (I_{yy} Y) ise (I_{out} O)
10	Eğer (I_x D) yada (I_y D) yada (I_{xy} D) yada (I_{xx} O) yada (I_{yy} Y) ise (I_{out} O)
11	Eğer (I_x D) yada (I_y D) yada (I_{xy} D) yada (I_{xx} D) yada (I_{yy} Y) ise (I_{out} D)
12	Eğer (I_x D) yada (I_y D) yada (I_{xy} D) yada (I_{xx} D) yada (I_{yy} O) ise (I_{out} O)
13	Eğer (I_x D) yada (I_y D) yada (I_{xy} D) yada (I_{xx} D) yada (I_{yy} D) ise (I_{out} O)

Tablo 1’de tanımlı kurallar yardımıyla giriş ile çıkış arasındaki ilişkilerin oluşturulduğu bulanık mantık sisteminde, ağırlıklı ortalama metodu [18] kullanılarak durulaştırma işlemi yapılmış ve her bir piksel için çıkış parametresinin değeri hesaplanmıştır. Buna göre elde edilen çıkış parametresinin görüntüsü Şekil 6’da gösterilmiştir.

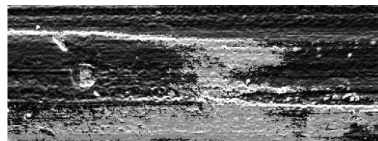


Şekil 8. Bulanık mantık çıkış görüntüsü

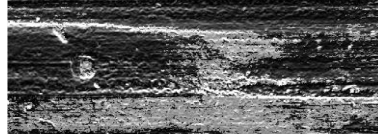
Şekil 8 incelendiğinde ray yüzeyindeki kusurlar belirgin hale gelmiş fakat çevresindeki gürültüler, ray kusurunun ortaya çıkmasına engel olmaktadır. Bu noktada Şekil 4’ te belirlenen farklı dalga boylarındaki ray kusuru görüntülerinden, RGB skalasında kırmızı görüntü kanalı ile HSV skalasında kırmızı segment ve mavi kanal dalga boylarının bulanık mantık çıkış görüntüsünü eklenmesi ve kusurların daha belirgin olarak ortaya çıkartılması Şekil 9’de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 9. RGB skalasında (a) kırmızı görüntü kanalı ile HSV skalasında (b) kırmızı segment ve (c) mavi kanal dalga boylarının bulanık mantık çıkış görüntüsüne eklenmesi

Şekil 9’de üç farklı dalga boyu ile birleştirilen bulanık mantık çıktısının, ortak noktaları tespit edilip, eşik değeri uygulandıktan sonra gürültüden arındırılmış hali Şekil 10’da gösterilmiştir. Burada ray kusurlarının belirgin olması sağlanarak, yansıma gibi gürültüye sebebiyet veren etmenlerin etkisi en aza indirilmesi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin literatürdeki diğer yöntemlere göre karşılaştırılması Şekil 10’da gösterilmiştir.



(a)



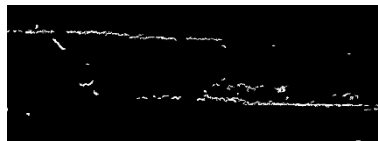
(b)



(c)



(d)



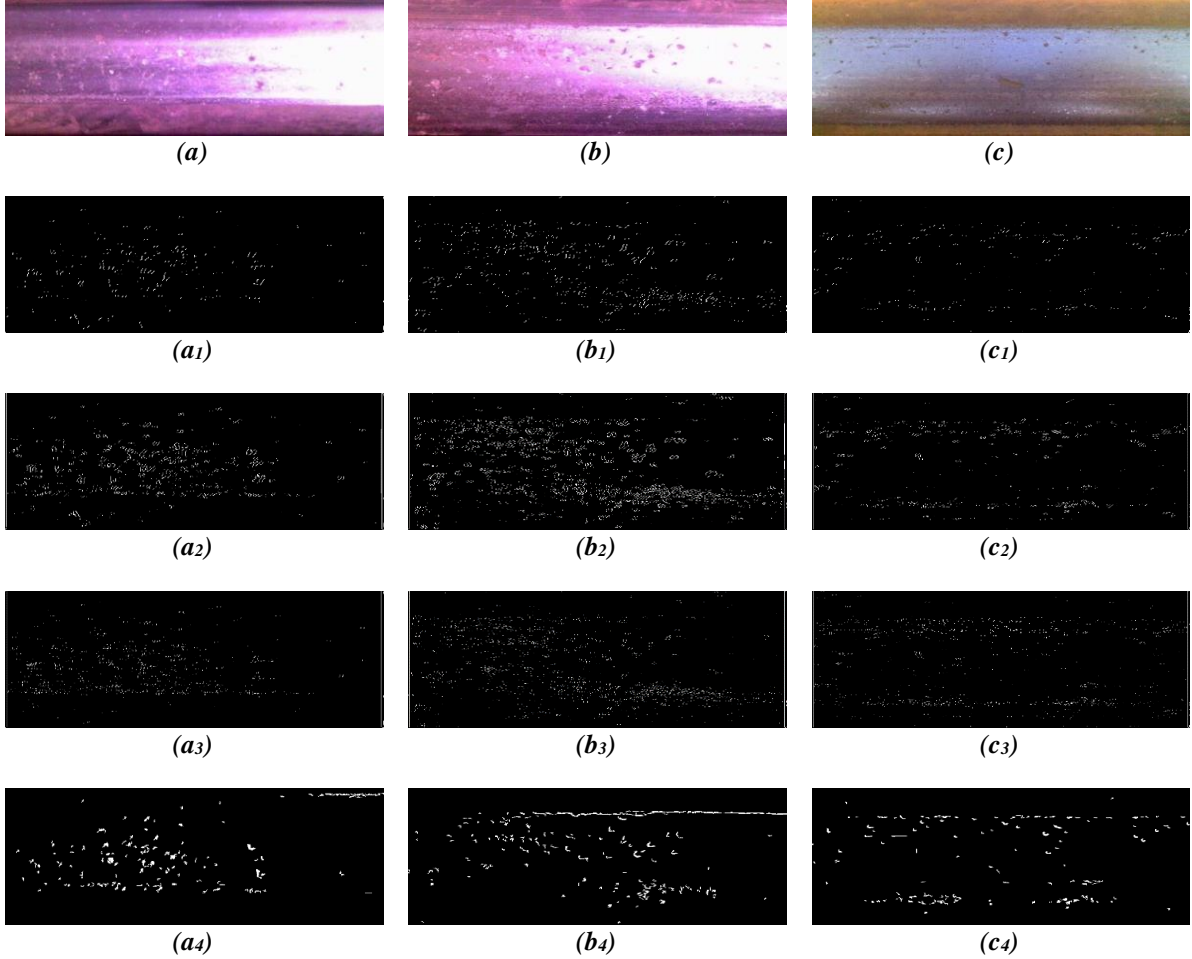
(e)

Şekil 10. (a) Ray kusur görüntüsünün (b) Canny, (c) Sobel, (d) Laplacian operatörleri ve (e) geliştirilen algoritma ile karşılaştırılması.

Şekil 10 üzerinden görüleceği üzere Canny, Sobel ve Laplacian kenar bulma algoritmaları, ray kusurlarını ortaya çıkarmada yetersiz kalırken, geliştirilen algoritma ile oluşturulan kusur görüntüsünün ray yüzeyinde meydana gelen çatlakları daha belirgin hale getirdiği tespit edilmektedir.

IV. SONUC

Geliştirilen peridinamik tabanlı bulanık mantık algoritması ile ray kusurlarının ortaya çıkartılması işlemi, üç farklı ray kusuru örnekleri üzerinde denenmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. (a) Birinci ray kusur görüntüsünün (a1) Canny, (a2) Sobel, (a3) Laplacian operatörleri ve (a4) geliştirilen algoritma ile karşılaştırılması, (b) ikinci ray kusur görüntüsünün (b1) Canny, (b2) Sobel, (b3) Laplacian operatörleri ve (b4) geliştirilen algoritma ile karşılaştırılması, (c) üçüncü ray kusur görüntüsünün (c1) Canny, (c2) Sobel, (c3) Laplacian operatörleri ve (c4) geliştirilen algoritma ile karşılaştırılması

Örnekler incelendiğinde geleneksel kenar bulma algoritmaları ile ray kusurlarının belirlenmesi, ray yüzeyinde oluşan yansıma nedeni ile mümkün olmamaktadır. Geliştirilen peridinamik tabanlı bulanık mantık algoritmasında, görüntü üzerinde alınan farklı doğrultu ve mertebeden türev ifadelerinden oluşturulmuş mantıklı kurallar bütünü ile, ray yüzeyindeki kusurların ayrıştırılması kısmi olarak gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ray kusurlarının farklı dalga boylarına verdiği tepkiden yola çıkarak, bulanık mantık çıkış görüntüsü üzerine uygulanan en etkin üç farklı dalga boyu çıktısının ortak değerleri, ray kusurlarını yansıma gibi gürültülerden ayırarak daha net şekilde ortaya koymayı başarmıştır.

Geliştirilen algoritma tam spektrum üzerine uygulanmış ve ray kusurlarına en fazla etki eden üç farklı dalga boyu saptanabilmiştir. Buna rağmen multi spektrum yada hiper spektrum görüntü üzerinden ray kusurlarına etki eden dalga boyu sayısı artırılarak, bu kusurlarının daha etkin bir şekilde belirlenmesi gerçekleştirilebilir. Bir sonraki çalışmada, peridinamik tabanlı bulanık mantık algoritması için multi spektrum görüntülerinin giriş parametresi olarak kullanılıp, ray kusurlarının daha net şekilde ortaya koyulması planlanmaktadır. Böylece etkin dalga boylarının, algoritma üzerindeki etkisi artırılmış olacaktır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma TÜBİTAK 2219 “Yurt Dışı Doktora Sonrası Araştırma Burs Programı” kapsamında desteklenmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] P. W. Loveday, R. M. C. Taylor, C. S. Long, ve D. A. Ramatlo, “Monitoring the reflection from an artificial defect in rail track using guided wave ultrasound,” *AIP Conference Proceedings*, c. 1949, s. 1, 2018, doi: 10.1063/1.5031566.
- [2] S. Mariani ve F. L. di Scalea, “Predictions of defect detection performance of air-coupled ultrasonic rail inspection system,” *Struct. Heal. Monit.*, c. 17, s. 3, ss. 684–705, 2018.
- [3] A. M. Boronakhin, D. Y. Larionov, L. N. Podgornaya, A. N. Tkachenko, ve R. V. Shalymov, “Detection and classification of rail track flaws using inertial and magnetometric sensors,” *Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering*, 2018, ss. 1066–1070.
- [4] J. Wei, C. Liu, T. Ren, H. Liu, ve W. Zhou, “Online condition monitoring of a rail fastening system on high-speed railways based on wavelet packet analysis,” *Sensors*, c. 17, s. 2, ss. 318, 2017, doi: 10.3390/s17020318.
- [5] Z. Xiong, Q. Li, Q. Mao, ve Q. Zou, “A 3D laser profiling system for rail surface defect detection,” *Sensors*, c. 17, s. 8, ss. 1791, 2017, doi: 10.3390/s17081791.
- [6] Z. Yunjie, G. Xiaorong, L. Lin, P. Yongdong, ve Q. Chunrong, “Simulation of laser ultrasonics for detection of surface-connected rail defects,” *J. Nondestruct. Eval.*, c. 36, s. 4, ss. 70, 2017, doi: 10.1007/s10921-017-0451-3.
- [7] B. Siva, R. Krishna, D. V. S. Seshendra, G. Govinda Raja, T. Sudharshan, ve K. Srikanth, “Railway track fault detection system by using IR sensors and bluetooth technology,” *Asian J. Appl. Sci. Technol.*, c. 1, s. 6, ss. 82–84, 2017.
- [8] N. Karthick, “Implementation of railway track crack detection and protection,” *Int. J. Eng. Comput. Sci.*, c. 6, s. 5, ss. 21476-21481, 2017.
- [9] L. Zhuang, L. Wang, Z. Zhang, ve K. L. Tsui, “Automated vision inspection of rail surface cracks: A double-layer data-driven framework,” *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, c. 92, s. 1, ss. 258–277, 2018.
- [10] B. Yue, Y. Min, ve H. Ma, “An adaptive background adjusting algorithm for rail surface defect image segmentation,” *2nd International Conference on Information Technology and Management Engineering (ITME 2017)*, 2017, ss. 36-40.
- [11] J. Gan, Q. Li, J. Wang, ve H. Yu, “A hierarchical extractor-based visual rail surface inspection system,” *IEEE Sens. J.*, c. 17, s. 23, ss. 7935–7944, 2017.
- [12] L. Shang, Q. Yang, J. Wang, S. Li, ve W. Lei, “Detection of rail surface defects based on CNN image recognition and classification,” *20th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, 2018, ss. 45-51.
- [13] S. Faghieh-Roohi, S. Hajizadeh, A. Nunez, R. Babuska, ve B. De Schutter, “Deep convolutional neural networks for detection of rail surface defects,” *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, 2016, ss. 2584–2589.

- [14] C. Taştımur, E. Akin, M. Karaköse, ve I. Aydın, “Morfolojik özellik çıkarımı kullanan görüntü işleme tabanlı ray arızalarının tespiti,” *23rd Signal Processing and Communications Applications Conference*, Malatya, Türkiye, 2015, ss. 1244–1247.
- [15] Z. Hu, H. Zhu, M. Hu, ve Y. Ma, “Rail surface spalling detection based on visual saliency,” *IEEJ Trans. Electr. Electron. Eng.*, c. 13, s. 3, ss. 505–509, 2018.
- [16] E. Madenci, M. Dorduncu, A. Barut, ve M. Futch, “Numerical solution of linear and nonlinear partial differential equations using the peridynamic differential operator,” *Numer. Methods Partial Differ. Equ.*, c. 33, s. 5, ss. 1726–1753, 2017.
- [17] E. Madenci, A. Barut, ve M. Futch, “Peridynamic differential operator and its applications,” *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, c. 304, s. 1, ss. 408–451, 2016.
- [18] S. Agirbasli, “Bulanık mantık yaklaşımını kullanarak endokardiyalin kenar çıkarımı,” Yüksek Lisans tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [19] A. Gecmez, “İki boyutlu sayısal filtreler,” Yüksek Lisans tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2014.
- [20] C. Mizrak, E. Madenci, Y. Yürekli, ve F. Pehlivan, “Fuzzy logic coupled with peridynamics for image processing to detect cracks in rails,” *Proceedings of the 4th International Symposium on Railway Systems Engineering*, 2018, ss. 419–431.