
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 04.03.2016 <u>Kabul/Accepted</u> 06.07.2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.327098	

Pantograf-katener sistemler için bulanık mantık tabanlı belirlenen pantograf modeli kullanılarak ark tespiti yaklaşımı

Orhan Yaman¹, Ebru Karaköse², İlhan Aydın³, Mehmet Karaköse^{*4}, Erhan Akın⁵

ÖZ

Elektrikli trenler, günümüzde yaygın olarak kullanılan, önemli bir ulaşım türüdür. Diğer ulaşım türleri ile karşılaştırıldığında elektrikli trenlerin güç tüketimi ve çevre kirliliğine olan etkisi daha azdır. Ayrıca konfor ve güvenlik gibi birçok avantajı vardır. Elektrikli trenlerde kullanılan en önemli bileşenlerden biri pantograf katener sistemidir. Pantograf katener sistemi, demiryolu hattı boyunca bulunan katener sistemi ve lokomotif üzerinde bulunan pantograf sisteminden oluşmaktadır. Lokomotifin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi pantograf üst bölgesi ile katener telinin teması sonucunda sağlanmaktadır. Temas sırasında birçok nedenden dolayı arklar oluşmaktadır. Oluşan arklar elektrik enerjisinin sağlıklı aktarılmasını engellemektedir. Lokomotifin sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için elektrik enerjisinin sürekli alınabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle pantograf katener sistemi elektrikli trenler için oldukça kritik bileşenlerdir. Bu çalışmada, pantograf katener sistemi için model ve ark tespiti için yeni bir yöntem önerilmektedir. Görüntü işleme ve bulanık mantık tabanlı bu yöntemde, birçok farklı türde pantograf sisteminin görüntüsü kullanılmıştır. Kullanılan görüntüler üzerinde Canny kenar çıkarımı yapıldıktan sonra Hough dönüşümü ile doğrular elde edilmektedir. Elde edilen doğruların bazı özellikleri bulanık mantığın giriş verileri olarak kullanılmaktadır. Bulanık mantık sonucunda pantograf sisteminin modeli tespit edilmektedir. Tespit edilen pantograf modeli kullanılarak pantograf temas bölgesinde oluşan arklar tespit edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Pantograf-Katener sistemi, Pantograf model tespiti, Pantograf ark tespiti, görüntü işleme, bulanık mantık.

Arc detection approach using fuzzy logic based pantograph model for pantograph-catenary systems

ABSTRACT

Electric trains are now widely used, is an important transport modes. Compared with other types of transportation, the effect of an electric train power consumption and environmental pollution are less. There are also many advantages such as comfort and safety. One of the most important tools used in the electric train is pantograph catenary system. Pantograph catenary system consists of two parts. a catenary system along the railway line and the pantograph system consists placed on the locomotive. The locomotive's electrical energy needs are provided as a result of contact with the upper region of the pantograph and catenary wire. Arcs can occur for many reasons during the contact. The arcing in the electrical energy in a healthy way hinders the transfer. Locomotive must be received continuous electrical energy to function in a healthy way. Therefore, the pantograph catenary system are quite critical components for electric railway. In this study, a new method to model and arc detection for pantograph catenary system is proposed. In this image processing and fuzzy logic based method, images of many different types of pantograph system are used. After Canny edge extraction on the images, the lines are obtained by the Hough transform. Some properties of the obtained lines are used as input data to fuzzy logic. Model of the pantograph system is determined as a result of fuzzy logic. The arcing at the contacts of the pantograph is determined using the pantograph model.

Keywords: Pantograph-catenary system, Pantograph model detection, Pantograph arc detection, image processing, fuzzy logic.

¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, orhanyaman@firat.edu.tr

² Fırat Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksek Okulu, cozbay@firat.edu.tr

³ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, iaydin@firat.edu.tr

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

⁴ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, mkarakose@firat.edu.tr

⁵ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, eakin@firat.edu.tr

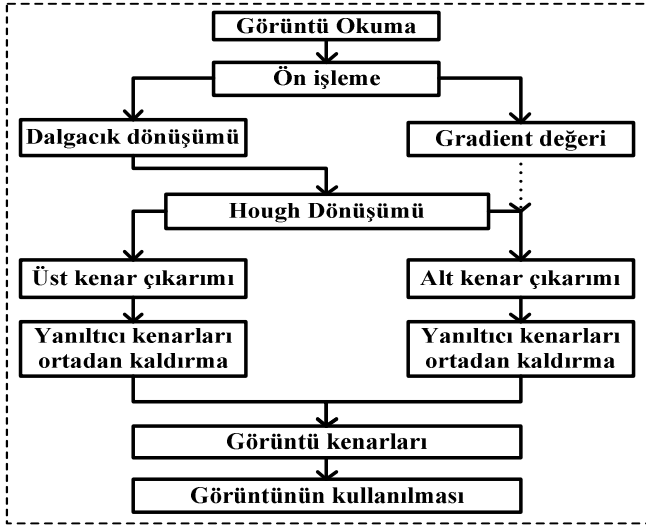
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Güvenilir bir ulaşım türü olan demiryolu ulaşımı, son yıllarda elektrikli trenlerin gelişmesiyle birlikte daha da avantajlı duruma gelmiştir. Elektrikli trenler, ihtiyaç duydukları enerjiyi elektrik hattından aldıkları için diğer ulaşım araçlarına göre düşük maliyetlidir [1,2]. Ayrıca bu trenlerin elektrikle çalışması çevre kirliliğini önlemektedir. Elektrikli trenin hareketi süresince pantograf katener sistemi birbiriyle etkileşim halindedir. Pantograf üst şeridi ile katener temas teli birbirine temas ederek elektrik enerjisini aktarmaktadır. Bu aktarma işleminin sürekliliğinin sağlanması için pantograf katener sistemi önemlidir. Fakat bazı çevre şartları ya da pantograf katener sisteminde oluşan küçük arızalardan dolayı elektrik aktarılması sırasında kesintiler oluşmaktadır. Bu kesintilerin önlenmemesi durumunda daha büyük arızalar oluşarak ulaşımın aksaması, maliyetli bakımlar ve güvenliği tehdit eden unsurlar ortaya çıkabilir. Mevsim şartlarından dolayı katener telinde oluşan buz katmanları, sistemin yanlış yapılandırılması, aşırı sürtünme ve ark oluşumu gibi nedenlerden dolayı büyük arızaları oluşabilir [3]. Bu arızaların erken teşhis edilmesi durumunda daha büyük arızalar oluşmaktadır. Bu nedenle bütün elektrikli sistemlerde olduğu gibi pantograf katener sistemlerde de erken arıza teşhisi oldukça önemlidir.

Pantograf katener sisteminde oluşan arızaların tespit edilmesi için genel olarak iki farklı yöntem bulunmaktadır [4]. Akım gerilim tabanlı arıza teşhis yönteminde pantograf katener sistemde kullanılan elektriğin akım ve gerilim sinyalleri analiz edilerek arıza teşhisi yapılmaktadır [5-8]. Bu arıza teşhis yönteminde pantograf temas bölgesinde oluşan ark arızaları gibi bazı arızalar tespit edilmektedir. Akım ve gerilim sinyallerinin elde edilebilmesi için lokomotifin üzerine bir sistem kurulması gerekmektedir. Ayrıca bu sistemin kurulumu zor olmakla birlikte uzman kişilerin çalışması gerekmektedir. Bu nedenle maliyetli bir arıza tespit yöntemidir. Diğer bir arıza tespit yöntemi ise görüntü işleme tabanlı arıza tespitidir [9-11]. Bu yöntemde, lokomotifin üzerine yerleştirilen kameralardan gerçek zamanlı görüntüler alınarak pantograf katener sistemi analiz edilmektedir. Bu yöntem kullanılarak ark oluşumu gibi birçok arıza tespiti yapılmaktadır. Ayrıca görüntü işleme tabanlı yöntemler

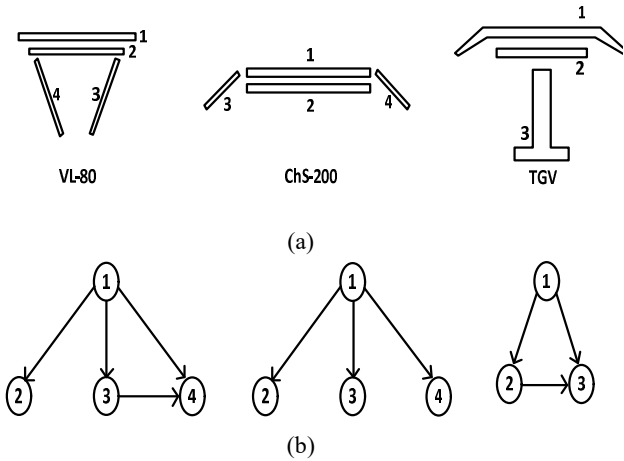
kullanılarak pantograf yüksekliğinin ölçülmesi, katener temas telinin takip edilmesi gibi yöntemler geliştirilmektedir.

Günümüzde, pantograf katener sistemler için birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların büyük çoğunluğu arıza tespiti için yeni yöntemler önermektedir. Genellikle arkım gerilim tabanlı ve görüntü işleme tabanlı arıza tespit yöntemleri kullanılmaktadır. Ayrıca model tabanlı yöntemler kullanılarak pantograf katener sisteminin akım ve gerilim sinyalleri ile birlikte arıza tespiti yapılmaktadır. Matvejevs ve diğ [12]. Pantograf ve katener sistemin model yapısını oluşturarak pantograf sistemin aktif ve pasif kontrolünü gerçekleştirmiştir. Liu ve diğ [13]. Pantograf katener sisteminde oluşan ark arızalarının tespit edilmesi için bir yöntem önermiştir. Mayr ark model kullanarak pantograf sisteminde oluşan arkları modellemiştir. Modelleme sonucunda pantograf sistemde oluşan arkları tespit etmektedir. Görüntü işleme tabanlı arıza tespit yöntemleri düşük maliyetli ve kurulumu kolay yöntemlerdir. Hamey ve diğ [14]. Pantograf sisteminin incelenmesi için görüntü işleme tabanlı bir yöntem önermiştir. CCD kameralar kullanarak pantograf sisteminin görüntüsünden segmentasyon yöntemi kullanarak pantograf sisteminin karbon şeridinde oluşan arızaları tespit etmektedir. Li ve diğ. [15] pantograf temas bölgesinde oluşan aşınmayı algılamak için görüntü işleme algoritması sunmaktadır. Görüntü içinde kenarları elde etmek için dalgacık dönüşümü ve Hough dönüşümü kullanarak pantograf temas şeridinin alt ve üst kenarlarını elde etmiştir. Literatürde önerilen bu yöntemin akış şeması Şekil 1'de verilmektedir. Literatürde yapılan bu çalışmada, sadece pantograf üst bölgesinin görüntüsü kullanılmıştır. Önerilen yöntem bütün pantograf görüntüsü ve farklı türde pantograflar için gerçekleştirilmemiştir. Ayrıca önerilen bu yöntem gerçek zamanlı bir sistem üzerinde gerçekleştirilmemiştir.



Şekil 1. Literatürde kullanılan yöntemin akış şeması [15]. (Flow diagram of the used method in literature [15])

Boguslavskii ve diğ [16]. Bilgisayarlı görme yöntemleriyle pantograf geometrik model tespiti için gerçek zamanlı bir yöntem önermiştir. Farklı türde pantograf görüntüleri kullanılarak her bir pantograf türü için bir model yapı oluşturmuştur. Oluşturulan model yapı ile birlikte graf yöntemi kullanılarak pantografin üst ve yan bölgelerini tespit etmektedir. Önerilen yöntemde kullanılan pantograf modelleri ve graf yapıları Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Literatürde kullanılan pantograf modelleri ve graf yapıları [16]. (a) Pantograf modelleri (b) Graf yapıları (Pantograph models and graph structures used in literature [16] (a)Pantograph models (b) Graph structures)

Şekil 2’de verilen graf yapılarında her üç graf için de öncelikle pantograf üst bölgesi tespit edilmektedir. Daha sonra pantograf yan bölgeleri tespit edilerek pantograf bölgelerini belirlemektedir. Literatürde kullanılan algoritmanın sözde kodu Şekil 3’te verilmektedir.

Algoritma:	
1	İkili tabanlı görüntünün kopyalanması
2	Kenar elemanlarına karşılık gelen piksel sayısını belirle ve pikselleri işlenmemiş olarak işaretle
3	while (Görüntü işlenmemiş pikseller içeriyorsa)
4	Geçerli bölüm olarak belirtilen bir kenar tespit edilir
5	Geçerli bölüm artırılır
6	Geçerli bölüm çıkış veri setine depolanır
7	Geçerli bölüme ait pikseller görüntüde çıkarılır
8	İşlenmemiş piksel sayısını azalt
9	İşlem süresini kontrol et
10	end

Şekil 3. Literatürde kullanılan yöntemin sözde kodu [16]. (Pseudocode of method used in literature [16])

Literatürde yapılan bu çalışmada, pantograf üst doğrusu tespiti 1,6ms, alt doğru tespiti 1,5ms ve toplamda başarılı izleme süresi 3,1ms dir. Başarılı tespit etme oranı ise %83’tür. Boguslavskii ve arkadaşlarının [16] yaptığı bu çalışma önerilen yöntem ile Tablo 4’te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda önerilen yöntemin daha yavaş ama başarı oranının daha yüksek olduğu tabloda görülmektedir.

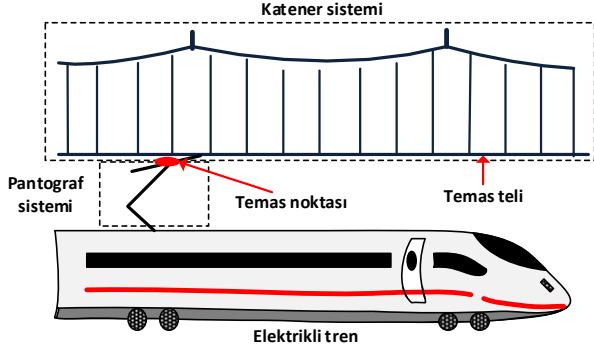
Sacchi ve diğ [17]. Pantograf sisteminde oluşan arızaları tespit etmek için görüntü işleme tabanlı bir yöntem önermiştir. Farklı türde pantografların üstten görüntülerini kullanarak pantograf üst bölgelerini tespit etmektedir. Pantograf temas bölgelerini inceleyerek oluşan arızaları tespit etmektedir.

Bu çalışmada, pantograf katener sistemlerde model tespiti ve ark tespiti için bulanık mantık ve görüntü işleme tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde öncelikle farklı tür pantograflardan alınan görüntüler kullanılarak kenar çıkarımı ile pantograf doğruları elde edilmiştir. Hough dönüşümü ile elde edilen bütün doğruların özellikleri bir bulanık mantık ile birlikte kullanılarak pantograf üst ve yan doğruları tespit edilmektedir. Tespit edilen yan doğruları kullanılarak pantograf modeli belirlenmektedir. Ayrıca pantograf üst doğruları kullanılarak pantograf temas yüzeyinde oluşan arklar tespit edilmektedir. Böylece ark tespiti için görüntü üzerinde sadece belirli bir alan incelenmektedir.

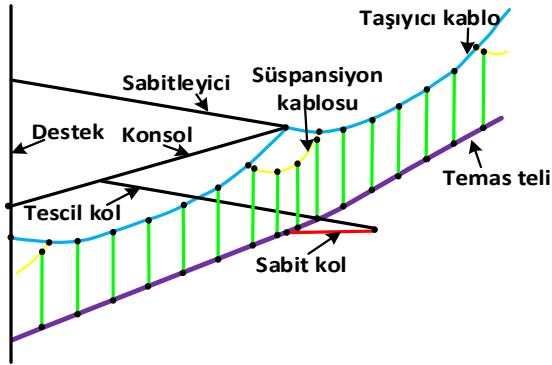
2. PANTOGRAF KATENER SİSTEMLER (PANTOGRAPH CATENARY SYSTEMS)

Pantograf katener sistemi elektrikli trenler için en önemli sistemlerden biridir. Elektrikli trenlerin ihtiyacı olan elektrik enerjisini pantograf katener sisteminden sağlamaktadır [2]. Pantograf sistemi, lokomotifin üzerinde bulunarak katener

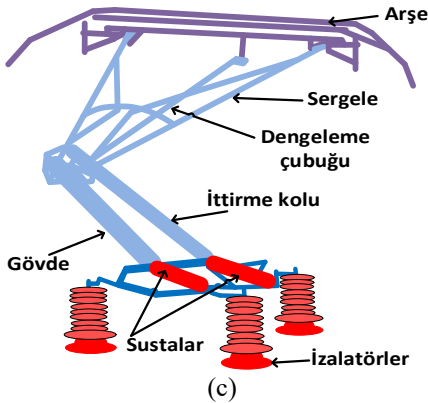
sisteminden aldığı elektrik enerjisini lokomotifte iletmektedir. Katener sistemi ise demiryolu hattı boyunca sabit olup trafo merkezinden alınan elektrik enerjisini pantograf sistemine iletmektedir. Şekil 4'te örnek bir pantograf katener sistemine ait görüntüler verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

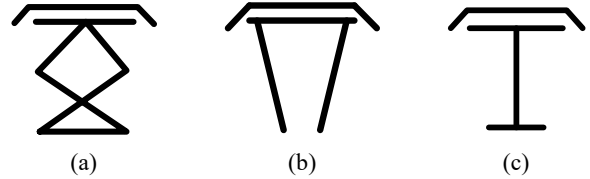
Şekil 4. (a) Örnek pantograf katener sistemi (b) Katener sistemi (c) Pantograf sistemi ((a) Sample pantograph catener systems (b) Catener systems (c) Pantograph systems)

Pantograf katener sistemlerde oluşan arızalar demiryolu ulaşımının aksamasına neden olduğundan oluşan arızaların erken teşhis edilmesi oldukça önemlidir. Günümüzde pantograf katener sistemlerde oluşan arızaların erken teşhisi için gerçek zamanlı kontrol ve takip yöntemleri geliştirilmektedir. Pantograf katener sistemi gerçek zamanlı izlenerek oluşan arızalar erken

teşhis edilmektedir. Pantograf katener sistemlerde görüntü işleme tabanlı arıza teşhis yöntemleri yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Literatürde yapılan çalışmalar taranarak pantograf katener sistemlerin durum izleme ve arıza tespitinde kullanılan sensörler, tespit edilen arıza türleri, arıza tespit yöntemleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

3. ÖNERİLEN MODEL VE ARK TESPİT YÖNTEMİ (PROPOSED MODEL AND ARC DETECTION METHOD)

Bu çalışmada bulanık mantık kullanılarak pantograf görüntüsü üzerinde model ve ark tespiti yapılmaktadır. Pantograf katener sistemlerde birçok farklı türde pantograf modelleri bulunmaktadır. Bu modeller kullanılan elektrikli trenlerin türlerine göre farklılık göstermektedir. Bu çalışmada genel olarak üç farklı türde pantograf modeli kullanılmaktadır. Kullanılan pantograf modelleri Şekil 5'te verilmektedir.

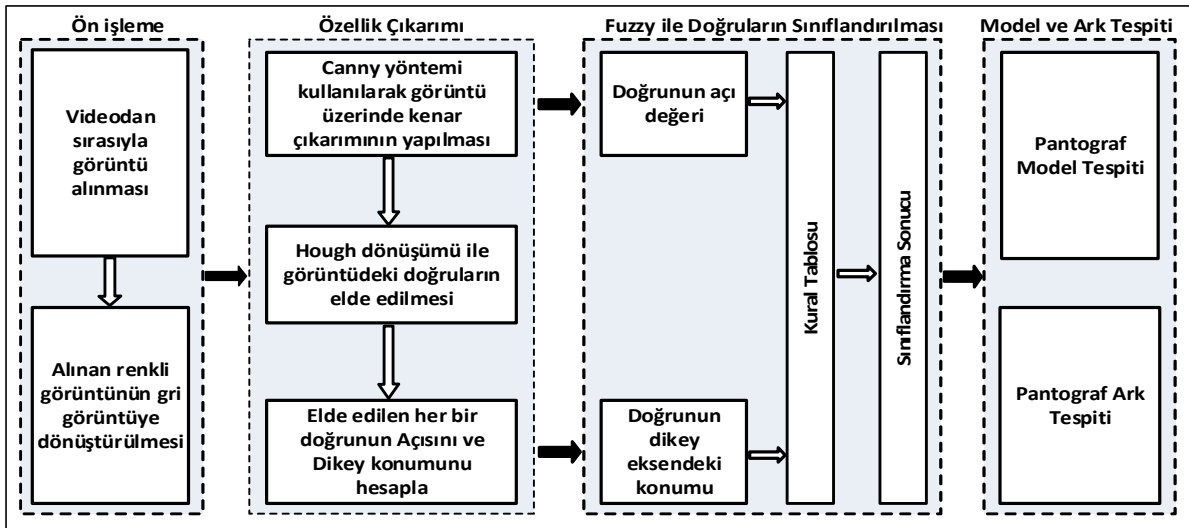


Şekil 5. Pantograf türleri (a) Chs-200 (b) VL-80 (c) TGV (Pantograph types (a) Chs-200 (b) VL-80 (c) TGV)

Şekil 5'te verilen pantograf türleri kullanılarak pantograf model tespiti yapılmaktadır. Günümüzde kullanılan demiryolu araçlarının türlerine göre pantograf katener türleri geliştirilmektedir. Pantograf katener sistemlerde pantograf modellerinin belirlenmesi gerekirse temel olarak üç farklı model bulunmaktadır. Pantograf türleri genellikle Şekil 5'te verilen pantograf modellerine benzerlik göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada çoğu pantograf modelini temsil eden üç farklı model kullanılmıştır. Şekil 5.a'da verilen pantograf modeli 86-sınıfı ve 87-sınıfı lokomotiflerde yaygın olarak kullanılmaktadır. En çok kullanılan pantograf türü Şekil 5.b'de verilen ve 1970 yıllarında geliştirilen BR/Brecknell modelidir. Şekil 5.c'de verilen pantograf modeli 25 kV lokomotiflerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada pantograf model ve ark tespiti için önerilen yöntemin blok şeması Şekil 6'da verilmektedir.

Tablo 1. Arıza ve arıza tespit yöntemlerinin sınıflandırılması (Classification of fault and fault detection methods)

Kullanılan sensörler	Arıza	Kullanılan yöntem
Akım ve gerilim	<ul style="list-style-type: none"> Pantograf arkından bir tahrik sistemindeki dc bileşenlerin analizi Ark arızaları 	<ul style="list-style-type: none"> Parametrelerin deneysel analizi Destek vektör makineleri Bulanık mantık
Normal ve Termal Video görüntüsü	<ul style="list-style-type: none"> Pantograf ile temas telinin pozisyonunun belirlenmesi ve ikisi arasındaki etkileşim Pantograf şeridinin durumunun izlenmesi Temas telinin temas performansı Temas performansının değerlendirilmesi Temas telinin yüksekliğinin tespiti Aşırı sürtünme, yanlış statik temas kuvveti 	<ul style="list-style-type: none"> Kenar çıkarımı ve yapısal geometrik modelleme Kenar çıkarımı Temas kuvvetinin analizi Yapay sinir ağı ile temas teli yüksekliğinin tespiti Watershed segmentasyon yöntemi Otsu segmentasyon yöntemi Diğer segmentasyon yöntemleri Hough dönüşümü Line Segment Detection Mean shift nesne takip algoritması Otsu segmentasyon yöntemi
Ark modelleme	<ul style="list-style-type: none"> Temas telinin performansı 	<ul style="list-style-type: none"> Ark akım ve gerilimi
Modelleme	<ul style="list-style-type: none"> Üst temas telinin analizi 	<ul style="list-style-type: none"> Sinyal işleme
Video görüntüsü	<ul style="list-style-type: none"> İletim tellerinin analizi 	<ul style="list-style-type: none"> Dalgacık analizi
Akım Mikrografik görüntü	<ul style="list-style-type: none"> Pantograf şeridi ve temas telinin aşınmaları ve sürtünmelerin tespiti 	<ul style="list-style-type: none"> Sinyal ve spektrum analizi



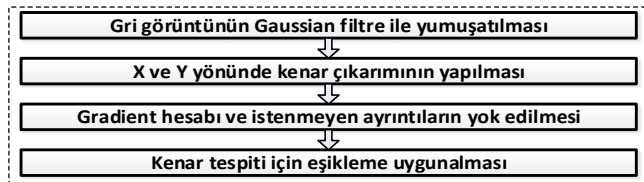
Şekil 2. Önerilen model ve ark tespiti yöntemi için kullanılan blok diyagramı (Proposed model and block diagram using for arc detection method)

Şekil 6'da verilen blok şemasında ön işleme, özellik çıkarımı, fuzzy ile doğruların sınıflandırılması, model ve ark tespiti olmak üzere dört farklı temel adımdan oluşmaktadır. Ön işleme adımında önerilen yöntemde kullanılan pantograf videolarından sırasıyla görüntü alınmaktadır. Alınan renkli görüntüler gri görüntü formatına dönüştürülerek görüntü işleme için uygun duruma getirilmektedir. Özellik çıkarımı adımında gri görüntü üzerinde Canny kenar çıkarım yöntemi uygulanarak pantograf görüntüsünün kenarları elde edilmektedir. Elde edilen kenar çıkarım görüntüsü üzerinde Hough dönüşümü uygulanarak görüntüde bulunan doğrular tespit edilmektedir.

Tespit edilen doğruların açı değeri ve dikey eksenindeki konumu elde edilmektedir. Fuzzy ile doğruların sınıflandırılması adımında görüntü üzerinde bulunan doğruların özellikleri bulanık sistemin girişine verilerek bulanık sistemin çıkışında sonuçları elde edilmektedir. Sınıflandırma sonucunda görüntü üzerinde bulunan doğruların pantograf üst doğrusu, pantograf yan doğrusu veya geçersiz doğru olmak üzere üç farklı sonuç elde edilmektedir. Elde edilen bu sonuçlarda geçersiz doğrular önerilen yöntemde kullanılmamaktadır. Böylece önerilen yöntemin başarı oranı arttırılmaktadır. Model ve ark tespiti adımında ise pantograf üst ve yan

doğruları kullanılarak pantografin modeli ve temas bölgesinde oluşan arklar tespit edilmektedir.

Bu çalışmada özellik çıkarımı adımında kullanılan Canny kenar çıkarım yöntemi kenar çıkarım algoritmaları içerisinde en yaygın olarak kullanılan algoritmadır. Bir görüntüde bulunan kenarlar, kenar bölgelerinde bulunan piksel değerlerinin ani değişmesi olarak tanımlanmaktadır. Kenar çıkarım yöntemleri görüntü işleme uygulamalarında özellik çıkarımı için oldukça önemlidir [18,19]. Canny kenar çıkarım algoritması çok aşamalı olarak gerçekleşen bir kenar çıkarım algoritmasıdır ve diğer kenar çıkarım algoritmalarına göre daha iyi sonuç vermektedir [20]. Canny kenar çıkarım algoritmasının genel akış şeması Şekil 7’de verilmektedir.



Şekil 3. Canny kenar çıkarım algoritmasının akış şeması (Flow diagram of Canny edge detection algorithm)

Şekil 7’de verilen Canny kenar çıkarım algoritmasının akış şemasında dört temel adım bulunmaktadır. Gri görüntünün Gaussian filtreleme ile yumuşatılması adımında öncelikle görüntü gri formata dönüştürülmektedir. Renkli bir görüntünün matrislerinin gri formatı görüntü matrislerine dönüştürülmesi denklem 1’de verilmektedir.

$$f(i, j) = R(i, j) * 0,2989 + G(i, j) * 0,5870 + B(i, j) * 0,1140 \quad (1)$$

Denklem 1’ de kullanılan $f(i, j)$ gri seviyeli görüntü matrisini, $R(i, j)$ red görüntü matrisini, $G(i, j)$ green görüntü matrisini ve $B(i, j)$ blue görüntü matrisini ifade etmektedir. Elde edilen gri formattaki görüntüye gaussian filtresi uygulanarak görüntüde yumuşatma işlemi yapılmaktadır. Gauss filtresinde 5×5 boyutunda bir gaussian maskesi kullanılmaktadır. Gaussian maskesi denklem 2’de verilmektedir.

$$Fg = \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} * \frac{1}{159} \quad (2)$$

Gaussian filtre uygulanarak görüntü yumuşatma işlemi yapılmıştır. Bu işlemin ardından görüntünün X ve Y yönünde kenar çıkarımı yapılmaktadır. Bu aşamada Sobel matrisleri kullanılarak X ve Y yönünde kenar çıkarımı yapılmaktadır. Bu adımda kullanılan S_x ve S_y sobel matrisleri denklem 3’te verilmektedir.

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad S_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Elde edilen görüntü matrisleri üzerinde gradient büyüklüğü hesaplanarak belirli açı sınırlamalarına göre görüntü oluşturulmaktadır. Her piksel için hesaplanan gradient büyüklüğü denklem 4’te verilmektedir.

$$G(i, j) = \sqrt{G_x(i, j)^2 + G_y(i, j)^2} \quad (4)$$

Denklem 4’te her piksel için gradient büyüklüğü hesaplandıktan sonra her pikselin açı değeri denklem 5’te ki gibi hesaplanmaktadır.

$$\alpha(i, j) = \tan^{-1} \frac{G_y(i, j)}{G_x(i, j)} \quad (5)$$

Denklem 5’te hesaplanan açı değerleri dikkate alınarak özel açı olmayan açı değerleri kullanılmayarak istenmeyen ayrıntılar yok edilmektedir.

Kenar tespiti için eşikleme uygulanması adımında ise elde edilen görüntünün ikili formatta bir görüntüye dönüştürülmesi için eşikleme işlemi yapılmaktadır. Bu eşikleme sonucunda görüntüde bulunan kenarlar belirgin bir şekilde görülmektedir. Ayrıca pantograf katener sistemlerde görüntü üzerinde eşikleme yapılarak özellik çıkarımı da yapılmaktadır [20].

Kenar çıkarımı işleminden sonra görüntüde bulunan doğruları elde etmek için Hough dönüşümü kullanılmaktadır. Hough dönüşümü genellikle kenar çıkarımı yöntemleriyle birlikte kullanılarak görüntü üzerinde geometrik modellerin tespit edilmesinde kullanılmaktadır [21]. Hough dönüşümü, kenar bilgisi elde edilmiş imgeler üzerine uygulanmaktadır [22]. Yöntem imge uzayındaki bilgiyi parametre uzayına taşıyarak şekil bulma problemini bir yoğunluk bulma problemine dönüştürür. Hough dönüşümü, şekli tespit edebilmek için görüntü üzerindeki noktaların yan yana veya bağlantılı olmalarını gerektirmemektedir. Önerilen yöntemde kullanılan Hough dönüşümünün sözde kodu Şekil 8’de verilmektedir.

Algoritma:	
1	Image ← İkilik görüntü kenar çıkarımı görüntüsü
2	Sutun ← Image'nin piksel genişliği
3	Satir ← Image'nin piksel yüksekliği
4	for i=1:Sutun
5	for j=1:Satir
6	if (Image(i,j) bir kenar çıkarım pikseli ise)
7	for $\theta=0:\theta_{max}$
8	$r = \text{Sutun} * \cos(\theta) + \text{Satir} * \sin(\theta)$
9	$r = \text{round}(r)$
10	$H(\theta,r) = H(\theta,r)+1$
11	end
12	end
13	end
14	end

Şekil 4. Hough dönüşümün sözde kodu (Pseudocode for Hough transform)

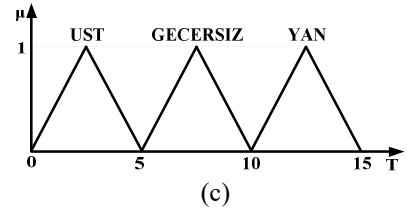
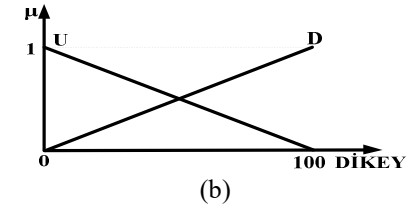
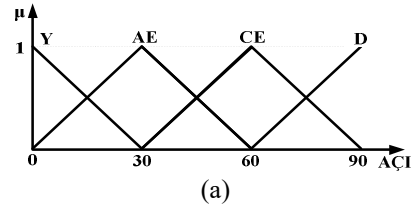
Şekil 8'de verilen Hough dönüşümün sözde kodunda öncelikle kenar çıkarım sonucunda elde edilmiş ikilik tabanlı bir görüntü kullanılmaktadır. Düz doğrular denklem 6'da ki gibi ifade edilmektedir.

$$y = mx + n \quad (6)$$

Bu denklemde herhangi bir düz doğruyu belirtmek için iki parametreye sahiptir. Bu parametreler eğim (m), ve kesişim noktası (n)'dir. Düz doğrular parametre uzayında bir nokta (m,n) olarak gösterilir. Düz doğrular koordinat sistemine dönüştürülerek denklem 7'de ki gibi gösterilmektedir.

$$r = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \quad (7)$$

Bu denklemde orjinden en yakın vektör (r, θ) çifti ile gösterilmektedir. Pantograf görüntüsünden Hough dönüşümü ile elde edilen doğrular model ve ark tespiti için bulanık mantık ile birlikte kullanılmaktadır. Bulanık mantık, arıza teşhis uygulamalarında sınıflandırma ve karar verme işlemleri için yaygın olarak kullanılmaktadır [23, 26]. Görüntüde tespit edilen her bir doğru için özellik çıkarımı yapılmaktadır. Her bir doğru için açı değeri ve dikey eksenindeki konumu dikkate alınmaktadır. Elde edilen özellikler bulanık mantıkta giriş verisi olarak kullanılmaktadır. Pantograf görüntüsünde elde edilen bütün doğrular özellik çıkarımı için bulanık mantık ile birlikte kullanılmaktadır. Pantograf modelinde pantograf üst bölgesi ve pantograf yan bölgeleri önemlidir. Bu nedenle pantograf modelini belirlerken üst ve yan doğrular tespit edilmelidir. Önerilen yöntemde kullanılan giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil 9. Bulanık sistemde kullanılan üyelik fonksiyonları (a) Açı değeri (Y: Yatay, AE: Az Eğik, CE: Çok Eğik, D: Dikey) (b) Dikey konum (U: Yukarı, D: Aşağı) (c) Çıkış üyelik fonksiyonu (Membership functions used in fuzzy system (a) angle value (b) Vertical position (d) Output membership function)

Şekil 9'da verilen giriş üyelik fonksiyonları kullanılarak net giriş değerleri bulanık giriş değerlerine dönüştürülmektedir. Elde edilen bulanık giriş değerleri bir kural tablosuyla birlikte kullanılarak çıkarsama yapılmaktadır. Önerilen yöntem için kullanılan kural tablosu Tablo 2' de verilmektedir.

Tablo 2. Önerilen yöntemde kullanılan kural tablosu (Rule table used in proposed method)

Numara	Kural
Kural-1	Açı = Y & Dikey = U → SONUC = UST
Kural-2	Açı = Y & Dikey = D → SONUC = GECERSİZ
Kural-3	Açı = AE & Dikey = U → SONUC = GECERSİZ
Kural-4	Açı = AE & Dikey = D → SONUC = YAN
Kural-5	Açı = CE & Dikey = U → SONUC = GECERSİZ
Kural-6	Açı = CE & Dikey = D → SONUC = YAN
Kural-7	Açı = D & Dikey = U → SONUC = GECERSİZ
Kural-8	Açı = D & Dikey = D → SONUC = YAN

Tablo 2' de verilen kural tablosu kullanılarak bulanık sonuçlar elde edilmektedir. Elde edilen bulanık çıkış değerleri çıkış üyelik fonksiyonu ile kullanılarak net çıkış değerleri elde edilmektedir.

Önerilen yöntemde pantograf doğrularının türleri belirlendikten sonra geçersiz doğrular kullanılmayarak üst ve yan doğrular kullanılmaktadır. Böylece pantograf modeli belirlenirken geçersiz doğrular göz ardı edilerek daha başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Pantograf modeli belirlenirken yan doğrular

kullanılmaktadır. Elde edilen her bir yan doğrunun eğimleri dikkate alınarak pantograf modeli belirlenmektedir.

Önerilen yöntemde ayrıca bulanık mantık sonucunda elde edilen üst doğrular kullanılarak pantograf temas bölgesinde oluşan arklar tespit edilmektedir. Fuzzy ile sınıflandırma işleminin ardından elde edilen pantograf üst doğrusu kullanılarak görüntü üzerinde pantograf üst bölgesi tespit edilmektedir. Daha sonra pantograf üst bölgesine Otsu yöntemi uygulanarak pantograf temas bölgesinde oluşan arklar tespit edilmektedir.

Otsu yöntemi görüntü üzerinde yapılan bir threshold işlemdir. Görüntü üzerinde piksellerin yoğunluğu dikkate alınarak eşikleme yapılmaktadır [27,28]. Şekil 10'da Otsu yönteminin sözde kodu verilmektedir.

Algoritma:	
1	Görüntü üzerinde K sınıf sayısı belirlenir
2	while (En büyük σ_B^2 değeri elde edilene kadar aşağıdaki adımları tekrarla)
3	K-1 tane eşik değeri belirlenir (T_1, T_2, \dots, T_{K-1})
4	Görüntünün pikseli K farklı sınıfa bölünür (C_1, C_2, \dots, C_K)
5	Her sınıfa karşılık gelen sıfırıncı derecede birikimli momentleri hesaplanır
6	Her sınıfa karşılık gelen birinci derecede birikimli momentleri hesaplanır
7	Bütün imgelerin yoğunluk ortalaması hesaplanır
8	Eşiklenmiş imgenin sınıflar arası değişimi hesaplanır (σ_B^2)
9	end
10	Eşik değerlerini kullanarak görüntü piksellerini sınıflandır

Şekil 5. Otsu yönteminin sözde kodu (Pseudocode for Otsu method)

Şekil 10'da verilen Otsu yönteminin sözde kodunda, her sınıfa karşılık gelen sıfırıncı derecede birikimli momentleri denklem 8'de ki gibi hesaplanmaktadır.

$$\omega_k = \sum_{i \in C_k} P_i = \frac{1}{N} \sum_{i \in C_k} f_i \quad \text{for } k=1,2,\dots,K \quad (8)$$

Denklem 8'de verilen f_i değeri i gri seviyesine sahip olan toplam piksel sayısını ifade etmektedir. N değeri ise görüntü üzerinde bulunan toplam piksel sayısıdır. Birinci derece birikimli momentleri ise denklem 9'da ki gibi hesaplanmaktadır.

$$\mu_k = \frac{1}{\omega_k} \sum_{i \in C_k} i P_i = \frac{1}{N \omega_k} \sum_{i \in C_k} i f_i \quad \text{for } k=1,2,\dots,K \quad (9)$$

Bütün imgelerin yoğunluk ortalaması ise denklem 10'da verilmiştir.

$$\mu = \sum_{k=1}^K \omega_k \mu_k \quad (10)$$

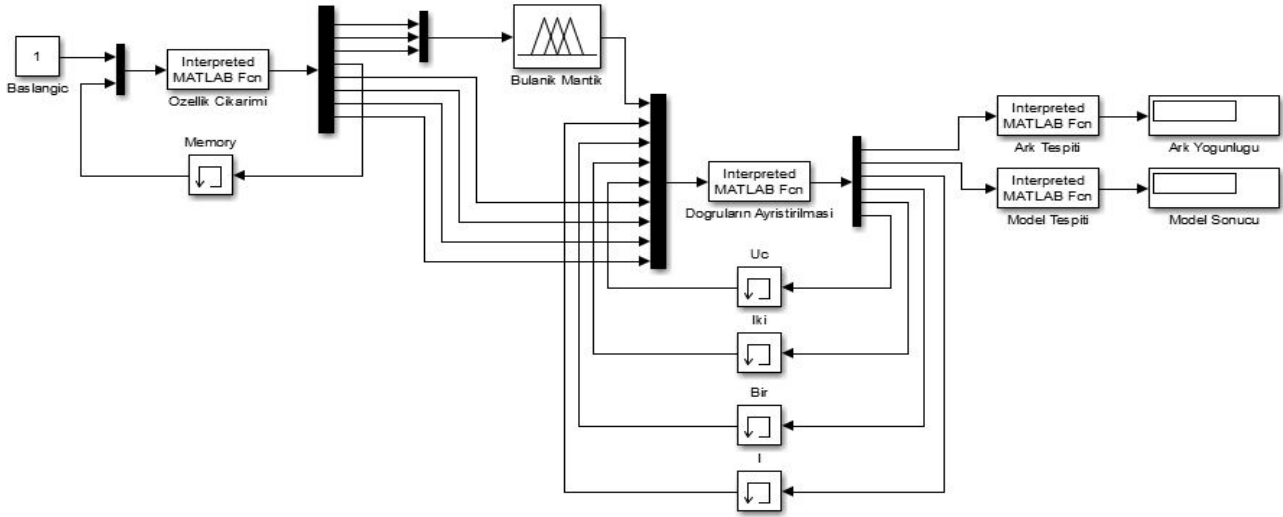
Son olarak, eşiklenmiş imgenin sınıflar arası değişimi denklem 11'de ki gibi tanımlanmıştır.

$$\sigma_B^2 = \sum_{k=1}^K \omega_k (\mu_k - \mu)^2 = \left(\sum_{k=1}^K \omega_k \mu_k^2 \right) - \mu^2 \quad (11)$$

σ_B^2 değerini en büyük yapan eşik değerleri threshold işlemi için en uygun değerlerdir. Belirlenen eşik değerler kullanılarak görüntü üzerinde uygulanmaktadır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Bu çalışmada bulanık mantık tabanlı pantograf model ve ark tespiti yöntemi için birçok farklı pantograf görüntüsü kullanılmaktadır. Pantograf model ve ark tespiti için önerilen yöntem MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Pantograf görüntülerinden Canny kenar çıkarımı ve Hough dönüşümü kullanılarak doğrular elde edilmiştir. Elde edilen doğruların özellikleri kullanılarak bir bulanık sistem ile birlikte kullanılarak pantograf üst ve yan doğruları elde edilmiştir. Elde edilen pantograf üst ve yan doğruları dikkate alınarak pantografin modeli tespit edilmiştir. Ayrıca elde edilen pantograf üst doğruları dikkate alınarak pantografin temas bölgesi tespit edilmiştir. Tespit edilen pantograf temas bölgesine Otsu yöntemi uygulanarak oluşan arklar tespit edilmektedir. Önerilen model ve ark tespiti yönteminde kullanılan Simulink modeli Şekil 11'de verilmektedir.



Şekil 6. Önerilen model ve ark tespiti yönteminde kullanılan MATLAB/Simulink modeli (MATLAB/Simulink model used in proposed model and arc detection method)

Önerilen yöntemde kullanılan Simulink modelinde Özellik Çıkarımı bloğunda görüntülerden özellik çıkarımı yapılmaktadır. Canny kenar çıkarım algoritması ve Hough dönüşümü uygulanarak görüntü üzerinde bulunan doğrular tespit edilmektedir. Tespit edilen doğrular üç girişli bir çıkışlı Bulanık Mantık bloğunda kullanılarak doğrular üzerinde sınıflandırma yapılmaktadır. Doğruların Ayrıştırılması bloğunda ise sınıflandırılmış pantograf doğruları ile bu doğruların özellikleri birleştirilerek Model Tespiti ve Ark Tespiti bloklarına gönderilmektedir. Model tespiti bloğuna gelen pantograf doğrularının özellikleri kullanılarak pantograf modeli tespit edilmektedir. Elde edilen sonuç Model Sonucu bloğunda görüntülenmektedir. Ark Tespiti bloğunda ise pantograf üst doğruları kullanılarak temas bölgesinde oluşan arkların yoğunluğu tespit edilmektedir. Elde edilen sonuç Ark Yoğunluğu bloğunda görüntülenmektedir.

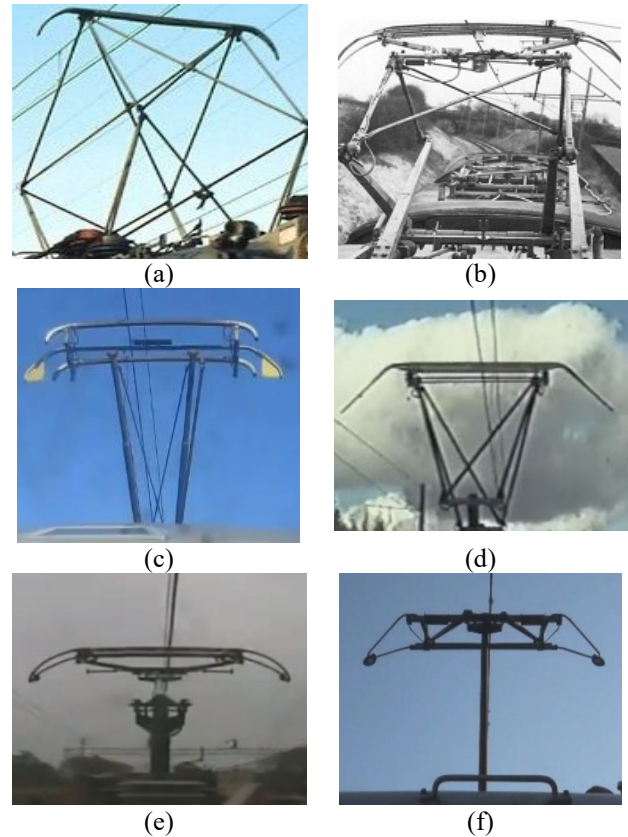
4.1. Önerilen Model Tespiti Yöntemi için Uygulama Sonuçları (EXPERIMENTAL RESULTS FOR PROPOSED MODEL DETECTION METHOD)

Önerilen yöntemde pantograf görüntülerinden pantograf modellerinin belirlenmesi için altı farklı pantograf görüntüsü kullanılmıştır. Kullanılan pantograf görüntüleri Şekil 12’de verilmiştir.

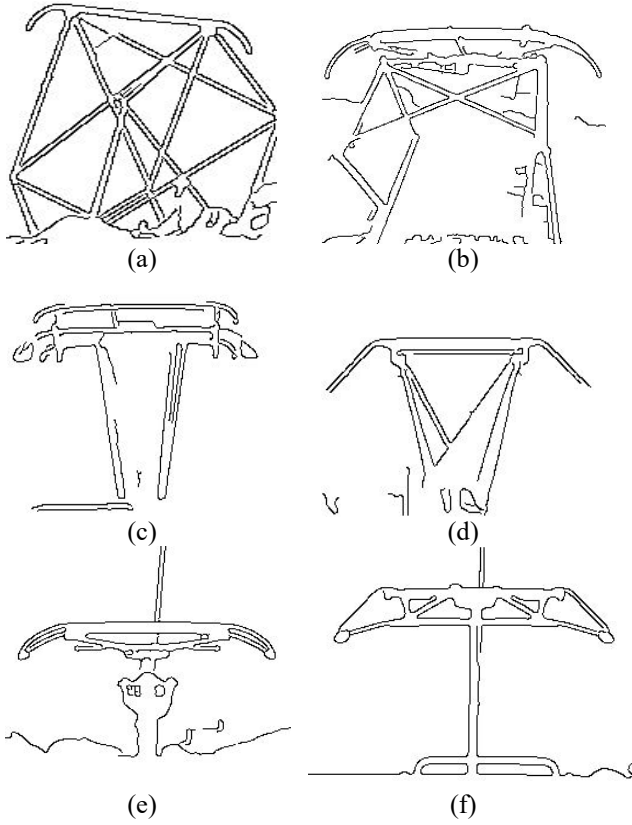
Şekil 12’de verilen farklı türde pantograf görüntüleri kullanılarak bütün pantograf görüntüleri için model tespiti yapılmaktadır. Öncelikle kullanılan görüntüler gri formata dönüştürülerek Canny kenar çıkarımı için uygun hale getirilmiştir. Daha sonra Canny kenar

çıkarması yapılmaktadır. Önerilen yöntemde kullanılan görüntülerin kenar çıkarımı sonucunda elde edilen görüntü Şekil 13’te verilmiştir.

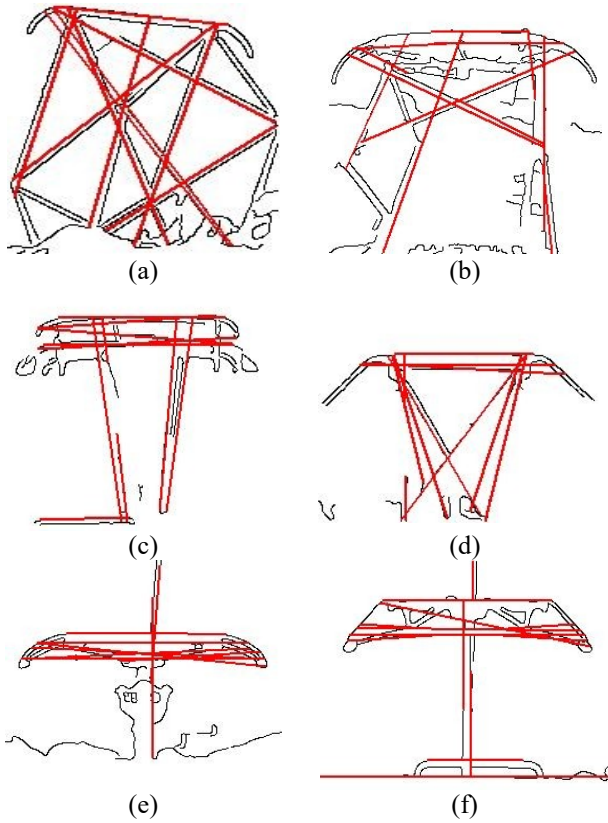
Şekil 13’te verilen kenar çıkarım sonucunda elde edilen görüntüler verilmiştir. Kenar çıkarımı sonucunda elde edilen görüntüler Hough dönüşümü ile birlikte kullanılarak görüntüler üzerindeki doğrular tespit edilmektedir. Tespit edilen doğrular kırmızı renk ile çizdirilerek doğrular daha belirgin bir olarak Şekil 14’te verilmiştir.



Şekil 12. Pantograf model tespiti için kullanılan görüntüler (Images used for pantograph model detection)

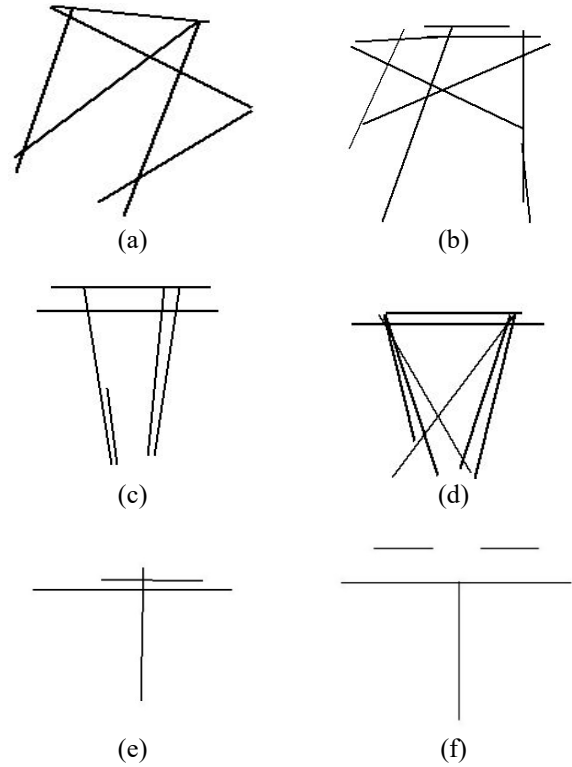


Şekil 13. Pantograf model tespiti için kullanılan görüntülerin kenar çıkarım sonuçları (Edge detection results of images used for pantograph model detection)



Şekil 14. Pantograf model tespiti için kullanılan görüntülerin Hough dönüşümü sonucu (Hough transform result of images used for pantograph model detection)

Şekil 14'te verilen görüntülerde kenar çıkarımı elde edilen görüntüler üzerinde Hough dönüşümü ile doğrular elde edilmiştir. Elde edilen doğruların bazıları pantograf üst ve yan doğrularını temsil ederken bazıları da farklı doğruları tespit edilmektedir. Pantograf modelini tespit edebilmek için öncelikle pantograf modelini belirleyecek doğruların kullanılması gerekmektedir. Görüntüde bulunan bütün doğruların kullanılması durumunda pantograf modelinin türü başarılı bir şekilde belirlenmeyebilir. Bu nedenle Hough dönüşümü ile elde edilen doğruların sadece pantograf üst ve yan doğrularını temsil eden doğrular kullanılmaktadır. Elde edilen doğruların açı değeri ve dikey eksendeki konumu dikkate alınarak pantograf görüntüsünde elde edilen doğruların sınıflandırılması yapılmaktadır. Yapılan sınıflandırma sonucunda elde edilen pantograf üst ve yan doğrular kullanılarak diğer doğrular ise dikkate alınmamaktadır. Şekil 15'te bulanık sistem çıkışında tespit edilen pantograf üst ve yan doğruları verilmektedir.



Şekil 15. Pantograf model tespiti için kullanılan görüntülerden pantograf üst ve yan doğruların elde edilmesi (Getting up and side lines of different type of pantograph images used for pantograph model detection)

Şekil 15’te görüldüğü gibi, bulanık sistem sonucunda pantograf görüntülerinden pantograf üst ve yan doğruları elde edilmektedir. Önerilen model tespiti yönteminde pantograf modelinin belirlenmesinde pantograf yan doğruları daha çok etkili olmaktadır. Bu nedenle pantograf yan doğruları kullanılarak modeli tespiti yapılmaktadır. Pantograf yan çizgilerinin açı değerleri dikkate alınarak pantograf model tespiti yapılmaktadır. Önerilen yöntemde kullanılan görüntülerin model tespit sonuçları ve benzerlik oranları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Önerilen yöntemde kullanılan görüntülerin model tespit sonuçları (Model detection results of images used in proposed model detection method)

Kullanılan görüntüler (Şekil 15)	Benzerlik Gösteren Model Türü	Benzerlik Oranı (%)
a	ChS-200	62.5
b	ChS-200	66.6
c	VL-80	100
d	VL-80	100
e	TGV	100
f	TGV	100

Tablo 3’te de görüldüğü üzere Şekil 15.a ve Şekil 15.b incelendiğinde pantograf yan doğruları diğer pantograf görüntülerindeki pantograf yan doğrularına göre açı değeri düşüktür. Ayrıca Şekil 15.e ve Şekil 15.f görüntüleri incelendiğinde aynı şekilde pantograf yan doğrularının dik olduğu görülmektedir. Bu şekilde pantograf yan doğrularının açı değerleri kullanılarak önerilen yöntemde pantograf modeli tespit edilmiştir. Önerilen yöntem sonucunda Şekil 15.a ve Şekil 15.b görüntülerinde kullanılan pantograflar “ChS-200” türündeki pantograf modeli ile daha çok benzerlik göstermektedir. Şekil 15.c ve Şekil 15.d görüntülerindeki pantograflar “TGV” türündeki pantograf modeli ile benzerlik gösterirken Şekil 15.e ve Şekil 15.f görüntüsündeki pantograflar ise “VL-80” türündeki pantograf modeli ile benzerlik göstermektedir. Önerilen yöntemde benzer bir çalışma literatürde bulunmaktadır [16]. Önerilen yöntemin farklı görüntüler kullanarak gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen performans analizi ve literatürde yapılan çalışmada verilen performans sonucu Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Önerilen yöntem ile literatürün karşılaştırılması (Comparison of proposed method and the study in literature)

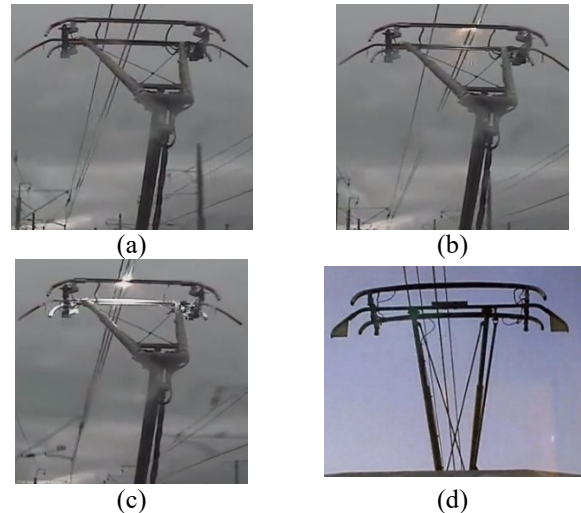
		Ortalama Süre, (ms)	Standart Sapma, (ms)	Oran (%)	Standart Sapma, (%)
Önerilen yöntem	Başarılı işleme	9.6	1.06	94	6.9
	Başarısız işleme	9.6	1.06	6	7.5
	Üst doğru tespiti	4.5	0.60	-	-
	Alt doğru tespiti	4.5	0.60	-	-
Literatürde yapılan çalışma [16]	Başarılı işleme	3.1	0.87	83	-
	Başarısız işleme	3.0	1.43	17	-
	Üst doğru tespiti	1.6	0.64	-	-
	Alt doğru tespiti	1.5	0.60	-	-

Önerilen yöntem literatürde yapılan çalışma ile karşılaştırıldığında literatürde yapılan çalışmanın daha hızlı sonuç verdiği görülmektedir. Önerilen yöntemde daha yüksek bir başarı elde edebilmek için kullanılan algoritmalarından dolayı literatürde yapılan çalışmaya göre daha yavaş sonuç vermektedir. Fakat önerilen yöntemde literatürde yapılan çalışmaya göre daha yüksek başarı oranı sağlamıştır.

4.2. Önerilen Ark Tespit Yöntemi için Uygulama Sonuçları (EXPERIMENTAL RESULTS FOR PROPOSED ARC DETECTION METHOD)

Önerilen yöntemde ark tespiti için iki farklı videodan üç farklı durumda alınan görüntüler kullanılmaktadır. Önerilen yöntem için hiç ark oluşmamış, küçük ve şiddetli ark oluşmuş

görüntüler kullanılmaktadır. Kullanılan pantograf görüntüleri Şekil 16’da verilmektedir.



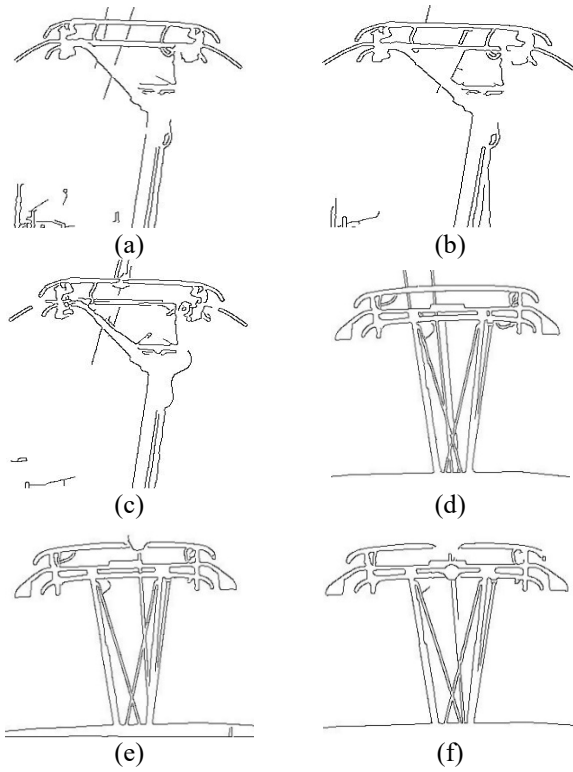


Şekil 16. Pantograf ark tespiti için kullanılan video görüntüleri (Video images used for pantograph arc detection)

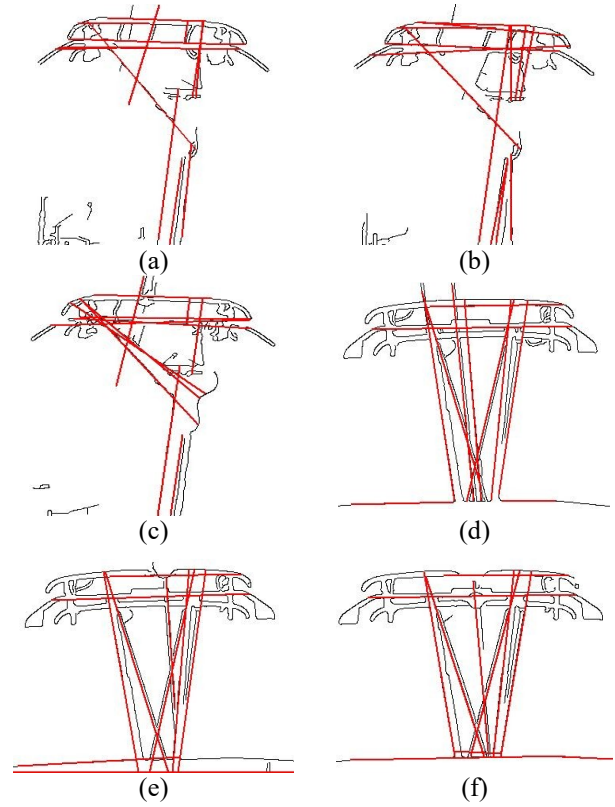
Şekil 16'da verilen pantograf görüntüleri gri görüntüye dönüştürüldükten sonra Canny kenar çıkarım yöntemi uygulanmıştır. Canny kenar çıkarım sonucunda elde edilen görüntüler Şekil 17'de verilmiştir.

Şekil 17'de verilen kenar çıkarımı yapılmış görüntüler üzerinde Hough dönüşümü yapılarak Şekil 18'de verilen görüntülerdeki gibi doğrular tespit edilmiştir. Tespit edilen doğrular kırmızı renk ile çizdirilerek belirgin bir şekilde gösterilmektedir.

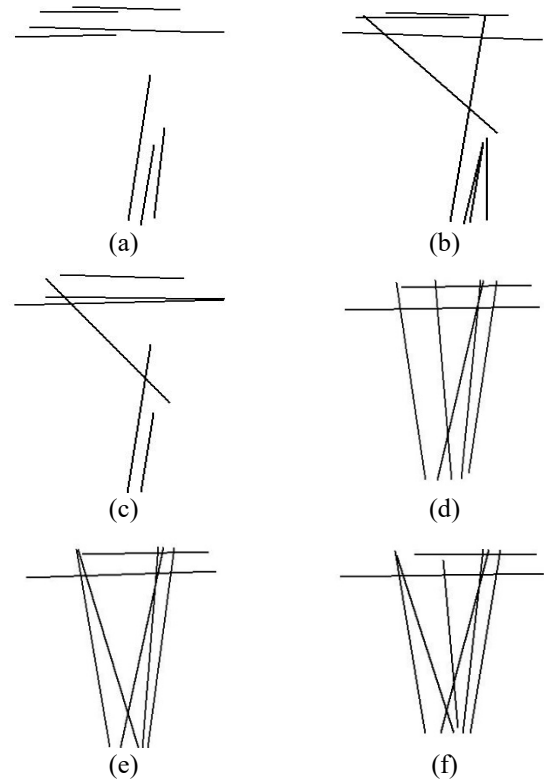
Önerilen yöntem için kullanılan pantograf görüntülerinde tespit edilen doğrular bulanık sistem ile birlikte kullanılarak pantograf üst ve yan doğruları elde edilmiştir. Elde edilen pantograf üst ve yan doğruları Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 17. Pantograf ark tespiti için kullanılan görüntülerin kenar çıkarımı sonuçları (Edge detection results of images used in pantograph arc detection)



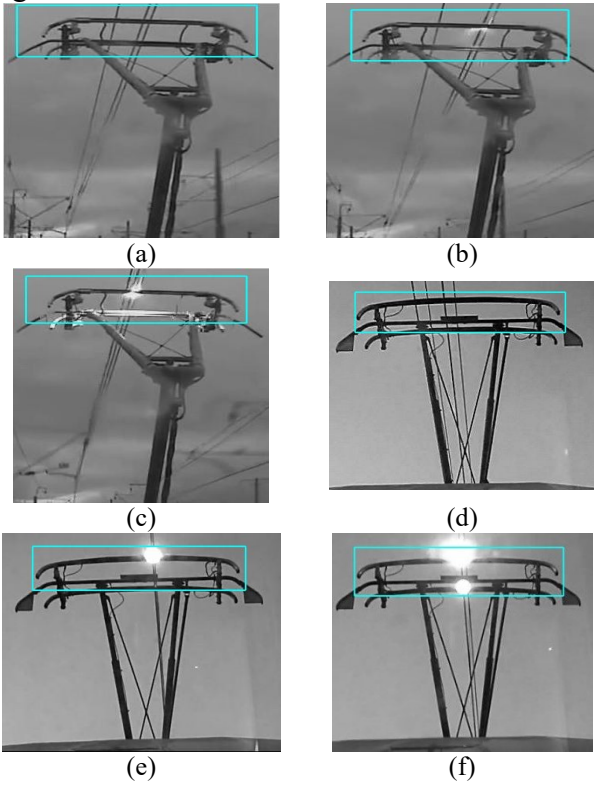
Şekil 18. Pantograf ark tespiti için kullanılan görüntülerin Hough dönüşümü sonucu (Hough transform result of images used for pantograph arc detection)



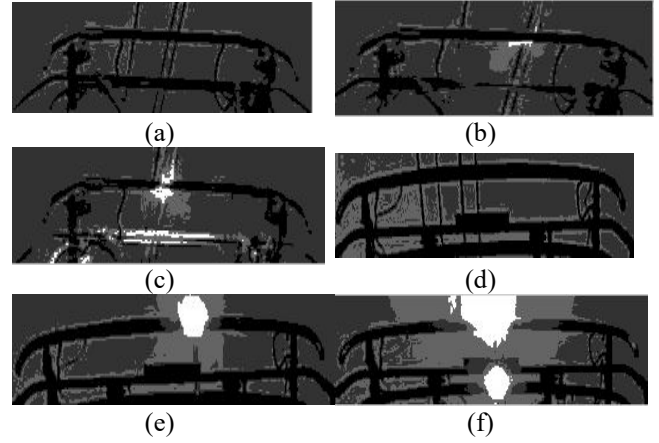
Şekil 19. Pantograf ark tespiti için kullanılan görüntülerden pantograf üst ve yan doğrularının elde edilmesi (Getting side and upper lines of pantograph from image used for pantograph model detection as result of fuzzy logic)

Şekil 19'da verilen pantograf üst ve yan doğruları pantograf şeklini belirtmektedir. Pantograf katener

sistemlerde temas bölgesinde oluşan arkların tespit edilmesi için pantograf temas bölgesi gözlemlenmektedir. Şekil 19’da verilen pantograf üst doğrularından pantograf temas bölgesi elde edilmiştir. Kullanılan pantograf görüntülerinde temas bölgesi bir alan içerisine alınarak Şekil 20’de verilmiştir. Şekil 20’de bütün görüntülerde görüldüğü gibi pantograf temas bölgesi tespit edilerek bir alan içerisine alınmıştır. Daha sonra pantograf temas bölgesine Otsu yöntemi uygulanarak temas bölgesinde oluşan arklar tespit edilmektedir. Önerilen ark tespiti yönteminde kullanılan bütün görüntülerde pantograf temas bölgesinden alınan alana Otsu yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 21’de verilmiştir. Şekil 21’de görüldüğü gibi önerilen yöntemde kullanılan bütün görüntülerden pantograf temas bölgesi kolaylıkla tespit edilmiştir. Tespit edilen temas bölgesine uygulanan Otsu yöntemi ile ark oluşan bölgelerin beyaz olduğu belirlenmiştir. Bu şekilde kullanılan pantograf temas alanı görüntülerinde beyaz bölgeler incelenerek ark tespiti yapılmıştır. Ayrıca beyaz bölgelerin yoğunluğuna göre oluşan arkların şiddeti de belirlenmektedir. Önerilen ark tespiti yönteminde kullanılan görüntülerde ark yoğunlukları Tablo 5’te verilmektedir.



Şekil 20. Pantograf ark tespiti için kullanılan görüntülerden pantograf üst bölgesinin tespit edilmesi (Detection of pantograph upper region from images of pantograph arc detection)

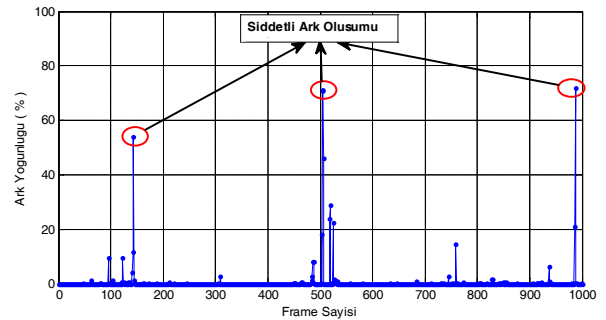


Şekil 21. Pantograf üst bölgesinde Otsu yöntemi ile arkların tespit edilmesi (Detection of arcs as result of applying Otsu method to pantograph upper region)

Tablo 5. Kullanılan görüntülerde oluşan ark yoğunlukları (Arc density at used images)

Kullanılan görüntüler (Şekil 21)	Ark oluşan piksel sayısı	Temas alanındaki toplam piksel sayısı	Ark yoğunluğu %
a	0	16080	0
b	32	14405	0.22
c	345	15232	2.26
d	0	15565	0
e	415	15504	2.67
f	1454	17615	8.25

Tablo 5’te de görüldüğü gibi Şekil 21.a ve Şekil 21.d görüntülerinde hiç ark oluşmadığı, Şekil 21.b’de ark oluştuğu ve oluşan arkın şiddetinin çok küçük olduğu görülmektedir. Şekil 21.c ve Şekil 21.e görüntülerinde ark oluştuğu ve oluşan arkın şiddetinin büyük olduğu, Şekil 21.f’de ise oluşan arkın şiddetinin daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan video görüntülerine önerilen ark tespiti yöntemi uygulandığında 1000 frame için elde edilen sonuç Şekil 22’de verilmiştir.



Şekil 22. Önerilen ark tespiti yönteminin 1000 Frame için uygulanması (Applying proposed arc detection method for 1000 Frames)

Şekil 22’de görüldüğü gibi bir pantograf videosundan alınan 1000 frame için önerilen yöntem uygulanmıştır. Her frame için oluşan ark yoğunluğu elde edilmiştir. Şekil 22’de görüldüğü üzere üç farklı noktada şiddetli arklar oluşmuştur. Oluşan şiddetli arklar pantograf temas bölgesinde arızaların oluşumuna neden olmaktadır. Arkların şiddeti arttıkça temas bölgesinde oluşturduğu zarar daha da artmaktadır.

5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada pantograf model ve ark tespiti için yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde pantograf görüntülerinden pantograf üst ve yan doğrularının tespit edilmesi için bulanık mantık tabanlı bir sistem kullanılmıştır. Öncelikle pantograf model ve ark tespiti için önerilen iki yöntemde de pantograf üst ve yan doğruları tespit edilmektedir. Pantograf görüntülerinden pantograf üst ve yan doğrularının tespit edilmesi için öncelikle özellik çıkarımı yapılmaktadır. Yapılan özellik çıkarımında Canny kenar çıkarım yöntemi ve Hough dönüşümü kullanılarak pantograf görüntüsünde bulunan bütün doğrular elde edilmektedir. Elde edilen doğrular bulanık sistemde kullanılarak pantograf üst ve yan doğruları tespit edilmektedir. Pantograf model tespiti için bulanık sistem sonucunda tespit edilen pantograf yan doğruları kullanılmıştır. Pantograf yan doğrularının açı değerleri göz önünde bulundurularak pantograf modeli belirlenmiş ve hangi tür pantografa daha çok benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Pantograf ark tespiti için önerilen yöntemde ise pantograf üst doğruları kullanılarak pantograf temas bölgesi elde edilmiştir. Pantograf temas bölgesine Otsu yöntemi uygulanarak ark tespiti yapılmıştır. Önerilen ark tespiti yönteminde bütün görüntü üzerine Otsu yöntemi uygulanacağına sadece tespit edilen temas bölgesine uygulanmıştır. Böylece önerilen yöntemin daha hızlı çalışması sağlanarak temas bölgesi dışından oluşan ışık kaynaklarının ark olarak tespit edilmemesi engellenmiştir. Böylece önerilen yöntemde daha hızlı ve daha doğru sonuç vermektedir. Önerilen yöntem ile literatürde yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir.

ACKNOWLEDGMENTS

Bu çalışma TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmiştir. Proje No: 112E067.

REFERENCES

- [1] H. Kim, "Pantograph Detection System using Image Processing Techniques,1", 2015.
- [2] E. Karakose, M. T. Gencoglu, M. Karakose, O. Yaman, I. Aydin, E. Akin, "A new arc detection method based on fuzzy logic using S-transform for pantograph–catenary systems," *Journal of Intell. Manufacturing*, 2015, pp. 1-18.
- [3] I. Aydin, E. Karakose, M. Karakose, M.T. Gencoglu, E. Akin, "A new computer vision approach for active pantograph control", *Innovations in Intelligent Systems and Applications*, 2013, pp. 1-5.
- [4] I. Aydin, M. Karakose, E. Akin, "A Robust Anomaly Detection in Pantograph-Catenary System Based on Mean-Shift Tracking and Foreground Detection," *2013 IEEE Int. Conf. Syst. Man, Cybern., Oct, 2013. pp. 4444–4449.*
- [5] S. Midya, R. Thottappillil, "An overview of electromagnetic compatibility challenges in European Rail Traffic Management System," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 16, no. 5, Oct. 2008, pp. 515–534,
- [6] A. Mariscotti, A. Marrese, N. Pasquino, R.S.L. Moriello "Time and frequency characterization of radiated disturbance in telecommunication bands due to pantograph arcing," *Measurement*, vol. 46, no. 10, Dec. 2013, pp. 4342–4352.
- [7] F. Romano, M. Tucci, M. Raugi, S. Barmada, "Arc detection in pantograph-catenary systems by the use of support vector machines-based classification," *IET Electr. Syst. Transp.*, Nov. 2013, pp. 1–8.
- [8] G. Chiriac, C. Dumitru, N. Costica, "Critical Speed Impact over the Pantograph-Catenary System's Behaviour." *Indian Journal of Science and Technology* 9.40 2016.

- [9] G. Bucca, A. Collina, "A procedure for the wear prediction of collector strip and contact wire in pantograph–catenary system," *Wear*, vol. 266, no. 1–2, Jan. 2009, pp. 46–59.
- [10] J. Skibicki, B. Mikołaj, "Analysis of measurement uncertainty for contact-less method used to measure the position of catenary contact wire, performed with the use of Monte Carlo method." *Measurement* 2016.
- [11] S. Östlund, A. Gustafsson, L. Buhrkall, M. Skoglund, "Condition monitoring of pantograph contact strip," *IET International Conference on Railway Condition Monitoring*, 2008, pp. 1-6.
- [12] A. Matvejevs, A. Matvejevs, "Pantograph-Catenary System Modeling Using MATLAB-Simulink Algorithms," *Publication in a Scientific Journal of the Series of Scientific Journal of RTU*, vol. 44, 2010, pp. 38–44.
- [13] Y. Liu, G. W. Chang, H. M. Huang, "Mayr's Equation-Based Model for Pantograph Arc of High-Speed Railway Traction System," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 3, 2010, pp. 2025–2027.
- [14] L. G. C. Hamey, T. Watkins, S. W. T. Yen, "Pancam: In-Service Inspection of Locomotive Pantographs," *9th Bienn. Conf. Aust. Pattern Recognit. Soc. on Digit. Image Comput. Tech. and Appl.*, Dec. 2007, pp. 493–499.
- [15] M. Li, W. Ze-yong, G. Xiao-rong, W. Li, Y. Kai, "Edge Detection on Pantograph Slide Image," *2nd Int. Congr. Image Signal Process.*, Oct. 2009, pp. 1–3.
- [16] A. A. Boguslavskii, S. M. Sokolov, "Detecting objects in images in real-time computer vision systems using structured geometric models," *Program. Comput. Softw.*, vol. 32, no. 3, May 2006, pp. 177–187.
- [17] M. Sacchi, S. Cagnoni, D. Spagnolettix, L. Ascariz, G. Zunino, A. Piazzzi, "PAVISYS A computer vision system for the inspection of locomotive pantographs," *Pantograph Catenary Interaction Framework for Intelligent Control*, 2011.
- [18] A. Haghi, U. U. Sheikh, M. N. Marsono, "A Hardware/Software Co-design Architecture of Canny Edge Detection," *2012 Fourth Int. Conf. Comput. Intell. Model. Simul.*, vol. 2, no. 2, Sep. 2012, pp. 214–219.
- [19] X. Zhu, X. Gao, Z. Wang, L. Wang, and K. Yang, "Study on the Edge Detection and Extraction Algorithm in the Pantographslipper's Abrasion," *2010 Int. Conf. Comput. Inf. Sci.*, Dec. 2010, pp. 474–477.
- [20] I. Aydın, O. Yaman, M. Karaköse, S.B. Çelebi, "Particle swarm based arc detection on time series in pantograph-catenary system". *IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA) Proceedings*, 2014, pp. 344-349.
- [21] A. Landi, L. Menconi, L. Sani, "Hough transform and thermo-vision for monitoring pantograph-catenary system," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit*, vol. 220, no. 4, Jan. 2006, pp. 435–447.
- [22] D. Rujiao, Z. Wei, H. Songling, C. Jianye, "Automatic inspection of the localizer slope based on improved Hough transform," *IEEE Int. Instrum. Meas. Technol. Conf.*, May 2011, pp. 1–4.
- [23] S. Walters, "Simulation of Fuzzy Control Applied to a Railway Pantograph-Catenary System 2 A Model of a PAC System," *Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, vol.6277, 2010, pp. 322–330,
- [24] O. Yaman, M. Karakose, I. Aydın, E. Akin, "Detection of pantograph geometric model based on fuzzy logic and image processing", *IEEE 22nd In Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2014, pp. 686-689.
- [25] E. Karakose, M.T. Gencoglu, "Adaptive fuzzy control approach for dynamic pantograph-catenary interaction," *IEEE International Symposium on Mechatronika*, 2012, pp. 1-5,
- [26] I. Aydın. "A new approach based on firefly algorithm for vision-based railway overhead inspection system." *Measurement* 74, 2015, pp. 43-55.
- [27] Q. Chen, L. Zhao, J. Lu, G. Kuang, N. Wang, Y. Jiang, "Modified two-dimensional otsu image segmentation algorithm and fast

realisation,” IET Image Processing, vol. 6, Issue. 4, 2012, pp. 426-433.

[28] D.H. AlSaeed, A. Bouridane, A. Elzaart, R. Sammouda, “Two modified Otsu image segmentation methods based on Lognormal

and Gamma distribution models,” International Conference on Information Technology and e-Services, 2012, pp. 1-5.