

## CONTACT POINT ANALYSIS OF CATENAR-PANTOGRAPH SYSTEM BY USING NORMAL AND THERMAL IMAGES

Orhan YAMAN<sup>a</sup>, İlhan AYDIN<sup>a,\*</sup>, Mehmet KARAKÖSE<sup>a</sup>, Erhan AKIN<sup>a</sup>

<sup>a,\*</sup> Computer Engineering Department, Fırat University, Elazığ, Turkey, e-mail: iaydin@firat.edu.tr

<sup>a</sup>Computer Engineering Department, Fırat University, Elazığ, Turkey, e-mails: orhanyamantc@gmail.com, {mkarakose, eakin}@firat.edu.tr,

### Özet

Demiryolları, günümüzde diğer ulaşım türlerine göre daha çevreci, güvenli, konforlu ve daha az enerji kullanımı bakımından üstünlük göstermektedir. Demiryolu ulaşımında son zamanlarda elektrikli raylı sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler diğer demiryolu araçlarına göre daha hızlı olup, daha az enerji tüketir. Elektrikli raylı sistemlerde, elektriğin trene iletilmesi için geliştirilen pantograf katener sistemi oldukça önemlidir. Pantograf temas teli üzerinde hareket eder ve katenerden trene gücü iletir. Bu temas işleminin sürekliliğinin sağlanması son derece önemlidir. Mevsim şartlarından dolayı sıcak havalarda katener tellerinin genişmesi ve soğuk havalarda büzülmesi temas işleminin sürekliliğini yüksek oranda etkilemektedir. Ayrıca temas işleminin sürekliliği sağlanmadığı sürece pantograf katener sistemlerinde birçok arıza meydana gelmektedir. Bu arızaların zamanında tespit edilmesi demiryolu sisteminin bozulmadan onarılmasını ve düşük maliyetli olmasını sağlamaktadır. Ayrıca erken teşhis yapılarak demiryolu ulaşımının aksamaması sağlanmaktadır. Bu çalışmada pantograf katener sistemler için normal ve termal görüntü kullanılarak temas noktasının analizi için bir yöntem sunulmaktadır. Önerilen yöntemde normal ve termal görüntüden katener ve pantograf arasındaki temas noktası kenar çıkarım ve Hough dönüşümü ile bulunmakta, termal görüntüden ise temas noktasının sıcaklığı analiz edilmektedir. Temas noktasındaki aşırı ısınmalar analiz edilerek ark oluşumları tespit edilmektedir. Önerilen yöntemin doğruluğu TCDD Malatya Müdürlüğünde gerçek bir pantograftan alınan deneysel görüntüler ile ispat edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Raylı sistemler, pantograf, Hough dönüşümü, kenar çıkarımı, arıza tespiti.

### Abstract

Railways are more environmentally friendly, safe, and comfortable than other transport types and they are superior in terms of energy use. In railway transport, electric rail systems have been developed recently. These systems are faster than other railway vehicles, and consume less energy. In electric rail systems, developed pantograph-catenary system for the transmission of electricity from the train is very important. Pantograph slides on the contact wire and transmit the power from catenary to the train. This contact is extremely important to ensure continuity of operation. Contact process is affected from expansion of contact wire because of cold weather and shrinkage in hot weather condition. As long as the continuity process has not been ensured in pantograph-catenary system, many fault will occur. Detection of these faults at an early stage ensures the maintenance of railway systems before catastrophic faults have not occurred. Disruptions of railway system can be prevented by detecting faults at the inception stage. In this study, a new method has been proposed to analyze the contact point between pantograph and catenary system by using normal and thermal images. In the proposed method, contact point between catenary and pantograph are found from normal and thermal images by applying edge detection and Hough transform. The temperature analysis of the obtained contact point is done in the thermal image. Arcs are determined by analyzing overheat in contact points. The accuracy of the proposed method is proved by analyzing a real pantograph images taken from directorate of Malatya TCDD.

**Keywords:** Railway systems, pantograph, Hough transform, edge detection, fault detection.

## 1. Giriş

Demiryolları, günümüzde diğer ulaşım türlerine göre daha çevreci, güvenli, konforlu ve daha az enerji kullanımı bakımından üstünlük göstermektedir. Trenlerdeki konforun ve hızın artması, enerji tüketiminin azalmasıyla birlikte demiryolu ulaşımını daha önemli bir ulaşım aracı haline getirmiştir [1]. Her geçen gün ulaşım araçlarına son teknolojiye sahip yeni trenleri de ekleyen demiryolları, ulaşım dünyasında büyük bir öneme sahiptir. Demiryolu ulaşımında son zamanlarda elektrikli raylı sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler diğer demiryolu araçlarına göre daha hızlı, sessiz, konforlu olup, daha az enerji tüketir. Elektrikli raylı sistemlerde, elektriğin trene iletilmesi için geliştirilen pantograf katener sistemi oldukça önemlidir [1-2].

Trenin üzerinde bulunan pantograf demiryolu boyunca sabit olarak yerleştirilen katener sistemine temas ederek elektrik iletimi sağlanmaktadır [2]. Bu temas işleminin sürekliliğinin sağlanması son derece önemlidir. Pantograf katener sisteminin teması sürekli olmazsa, elektrik iletimi kesintili olacağından tren verimli bir şekilde çalışmayacaktır. Mevsim şartları temas işleminin sürekliliğini yüksek oranda etkilemektedir. Temas işleminin sürekliliği sağlanmadığı sürece pantograf katener sistemlerinde birçok arıza meydana gelmektedir. Bu arızaların zamanında tespit edilmesi demiryolu sisteminin bozulmadan onarılmasını ve düşük maliyetli olmasını sağlamaktadır. Ayrıca erken teşhis yapılarak demiryolu ulaşımının aksamaması sağlanmaktadır. Bu nedenle raylı sistemlerde erken teşhis oldukça önemlidir. Pantografin temas teline az baskı uygulaması temasın sürekliliğini azaltırken, çok baskı yapması ise sürtünmeden dolayı birçok arıza türleri oluşmaktadır [3-4]. Pantograf sisteminde aşırı ısınmadan dolayı karbon yapı deformasyona uğramaktadır [5]. Böylelikle daha büyük arızalar oluşmaktadır.

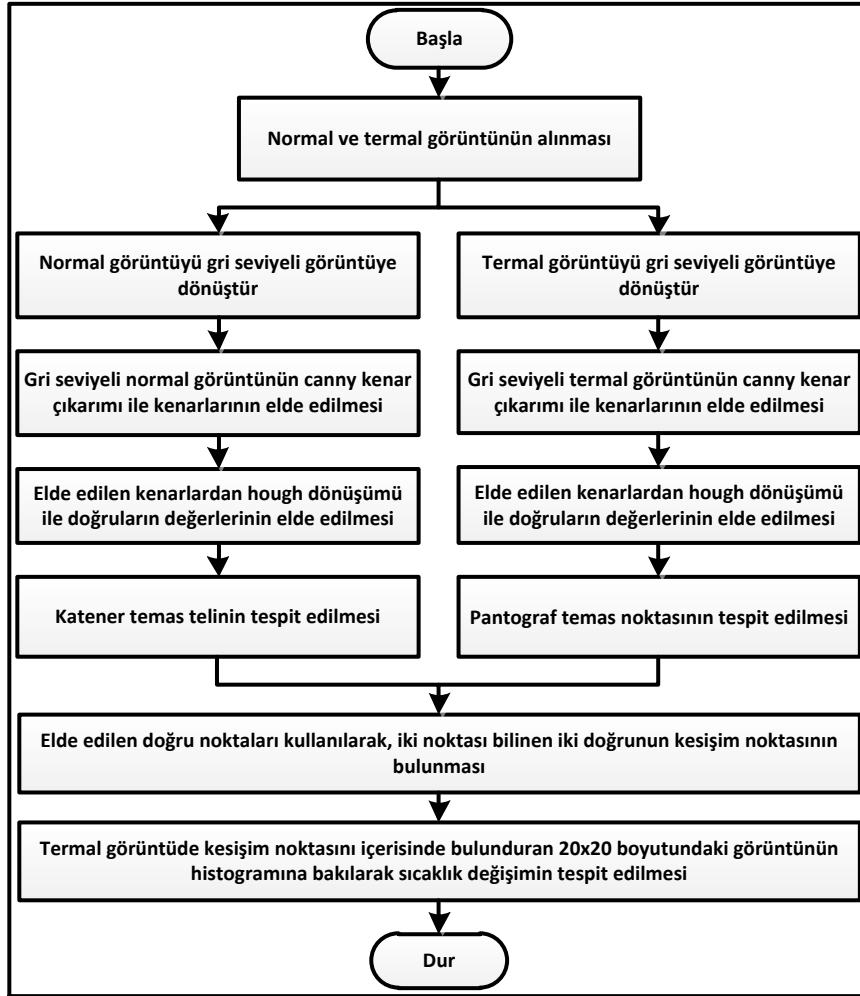
Pantograf katener sistemlerinde pantograf ile katener telinin teması için pantograf modelleme yöntemleri geliştirilmiştir [4]. Böylelikle sürekli bir temas sağlanmaya çalışılmaktadır. Sürtünmeden dolayı pantograf üst çizgisindeki karbon yapının bozulması engellenmektedir. Böylelikle aşırı ısınma ve ark arızalarının oluşması önlenmektedir. Ark oluşumunun tespit edilmesi için gerilim ve akım değerlerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Fakat bu işlem oldukça zahmetli ve maliyetli olduğundan görüntü işleme yöntemleri tercih edilmektedir. Normal kameradan alınan görüntüler ile pantograf katener sistemlerindeki temas noktasına yönelik arıza teşhisi yapılmaktadır [5-6]. Bu yöntem diğer birçok yöntemle göre düşük maliyet ve hızlı sonuç vermesi gibi avantajlarının beraberinde bazı dezavantajları da mevcuttur. Çevre şartları normal kamera görüntülerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle pantograf katener sistemleri için termal görüntü tercih edilmektedir [7-12].

Pantograf katener sistemlerde temas noktasında oluşan arızaların tespit edilmesi için birçok farklı yöntem bulunmaktadır [13-14]. Bu yöntemlerden biri pantograf katener sistemin akım ve gerilim değerleri ölçülerek oluşan arızalar tespit edilmektedir. Facchinetti ve diğ. [15] pantograf katener sisteminin bir biriyle temasını sağlayan model geliştirmiştir. Geliştirilen bu model gerçek zamanlı çalıştırılarak pantograf katener sisteminde oluşabilecek ark, ısınma ve aşınma problemlerini çözmek için uygulama önermiştir. Bu tür yöntemler maliyetli ve uygulanması zor olması nedeniyle bunun yerine görüntü işleme tabanlı arıza teşhisi önerilmektedir [16]. Li ve diğ. [17] pantograf kızıağı üzerinde aşınmayı algılamak için görüntü işleme algoritması sunmaktadır. Görüntü içinde kenarları elde etmek için dalgacık dönüşümü, sürgünün alt ve üst kenarları elde etmek için ise Hough dönüşümü kullanılmıştır. Xiao-heng ve diğ. [18] pantograf kızıağında oluşan aşınmaları kenar algılama ve çıkarım algoritmaları üzerinde incelemiştir. Pantograf katener sistemlerinde genellikle normal kameradan alınan görüntüler kullanılarak arıza teşhisi yapılmaktadır. Fakat normal kameralardan alınan görüntüler hava şartlarından çok erken etkilenmektedir. Bu nedenle termal görüntüler kullanılarak daha doğru arıza teşhisi yapılmaktadır.

Bu çalışmada, termal ve normal görüntüler kullanılarak temas noktasına ait belirli bir bölgenin piksel değerlerine bakılmaktadır. Termal görüntülerden katener temas tellerinin tespit edilememesinden dolayı önerilen yöntemde normal görüntü de kullanılmaktadır. Önerilen yöntemde kullanılan termal kamera aldığı her termal görüntünün aynı zamanda normal görüntüsünü de kaydetmektedir. Bu ayrıcalık kullanılarak normal görüntü üzerinden katener teli tespit edilmektedir. Daha sonra tespit edilen teli, pantograf üst çizgisinin tespit edildiği termal görüntü ile birleştirilmektedir. Elde edilen doğrular ile pantograf üst çizgisinin katener teli ile temas noktası tespit edilmektedir. Tespit edilen temas noktasını içerisinde bulunduran 20x20 boyutundaki görüntünün histogramı alınarak sistemin temas noktasındaki sıcaklık değişimi gözlemlenmektedir.

## 2. Önerilen Yöntem

Pantograf katener sistemlerinde normal ve termal görüntü tabanlı temas noktasındaki sıcaklık değişiminin gözlemlenmesi için yeni bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntemde normal ve termal görüntüler üzerinde canny kenar algılama algoritması ve Hough dönüşümü uygulanarak normal görüntüden temas teli ve termal görüntüden ise pantograf üst çizgisi tespit edilmektedir. Böylece temas noktası kolayca tespit edilmektedir. Her bir görüntü çerçevesinde değişen temas noktasına ait piksel bilgileri alınarak sıcaklık değişimi gözlemlenmektedir. Normal ve termal görüntü işleme tabanlı pantograf katener sistemi için önerilen yöntemin temel akış şeması Şekil 1' de verilmektedir.

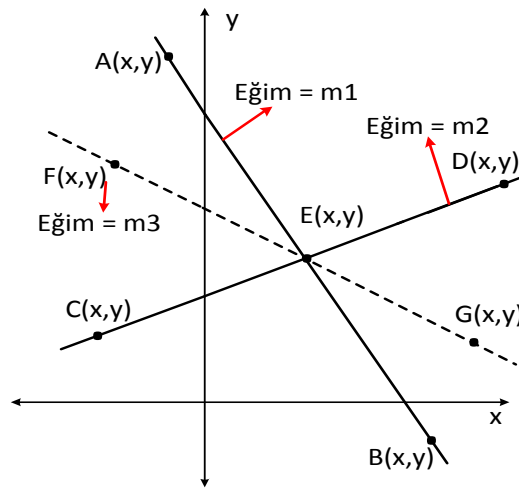


Şekil 1. Önerilen yöntemin temel akış şeması

Şekil 1' de verilen temel akış şemasında normal ve termal görüntü üzerinde ayrı ayrı işlemler yapılmaktadır. Normal ve termal görüntü bir termal kameradan anlık olarak çekilen iki farklı türdeki görüntülerdir. Normal görüntü ile termal görüntü arasında pantografin konumu değişmemektedir. Bu nedenle iki farklı türdeki görüntüler aynı alanların görüntülerine sahiptir. Böylece normal kamera görüntüsünden temas telini temsil eden doğru termal görüntüde kullanılmaktadır. Temas teli pantografa göre çevrenin sıcaklığından farklı sıcaklık değerine sahip olmadığından termal görüntüde temas teli görünmemektedir. Bu nedenle bu yöntemde normal görüntüde kullanılmıştır. Normal görüntü üzerinden kenar çıkarımı ve Hough dönüşümü yapılarak temas telini temsil eden doğrular elde edilmiştir. Bu doğruların elde edilmesinde iki noktası bilinen doğrunun eğimi yönteminden yararlanılmıştır. Pantograf katener sisteminin eğim aralıkları dikkate alınarak temas telini ifade eden doğrular tespit edilir. İki noktası bilinen doğrunun eğimi denklem 1' de verilmektedir.

$$m = \frac{B_y - A_y}{B_x - A_x} \quad (1)$$

Denklem 1' de verilen  $m$  eğim,  $(A_x, A_y)$   $A$  noktasının konum bilgileri ve  $(B_x, B_y)$  ise  $B$  noktasının konum bilgisidir. Bu denklem normal ve termal görüntü üzerinde uygulanarak elde edilen eğim değerine göre temas teli ve pantograf üst çizgisi tespit edilmektedir. Her bir doğrunun kendisine ait iki noktası bilinmektedir. Bu iki doğru kesişerek pantograf katener sistemindeki temas noktasını vermektedir. Temas noktasının hesaplanması için iki noktası bilinen doğrunun kesişim noktası için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Öncelikle normal görüntüden alınan doğruya ait noktalar  $A$  ve  $B$ 'dir. Termal görüntüden elde edilen pantograf üst çizgisi doğrusuna ait noktalar ise  $C$  ve  $D$ 'dir. Bu iki doğrunun kesişim noktası  $E$ 'dir. İki noktası verilen iki doğrunun kesişim noktası Şekil 2' deki gibi analitik düzlemde gösterilmektedir.



Şekil 2. İki noktası bilinen iki doğrunun kesişim noktasının analitik düzlemde gösterilmesi

Şekil 2' de verilen  $E$  noktasının değerlerini hesaplamak için  $E$ ,  $F$  ve  $G$  noktasından geçen başka bir doğru çizilir. Eğimi  $m_3$  olan doğrunun denklemi denklem 2' de verilmektedir.

$$m_3 = \frac{G_y - F_y}{G_x - F_x} \quad (2)$$

Denklem 2' de verilen  $F$  ve  $G$  ye ait konum bilgilerinin hesaplanarak, denklem 2' nin son hali denklem 3' te verilmektedir.

$$m_3 = \frac{((D_y - C_y) * (C_x - A_x)) - ((C_y - A_y) * (D_x - C_x))}{((D_y - C_y) * (B_x - A_x)) - ((B_y - A_y) * (D_x - C_x))} \quad (3)$$

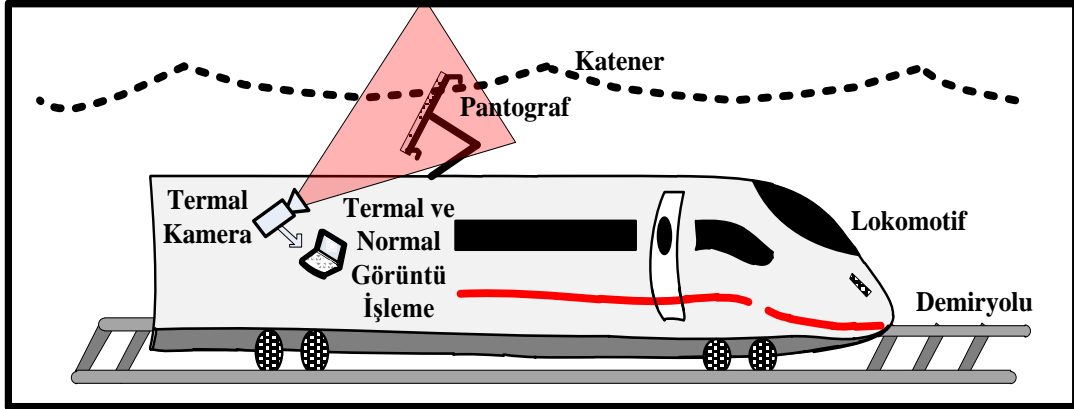
Denklem 3' te verilen  $m_3$  değeri kullanılarak denklem 4' te  $E_x$  ve  $E_y$  değerleri hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} E_x &= A_x + (B_x - A_x) * m_3 \\ E_y &= A_y + (B_y - A_y) * m_3 \end{aligned} \quad (4)$$

Denklem 4' te elde edilen  $E_x$  ve  $E_y$  değerleri kullanılarak termal görüntü üzerinde temas noktasının sıcaklık değişimi gözlemlenmektedir.

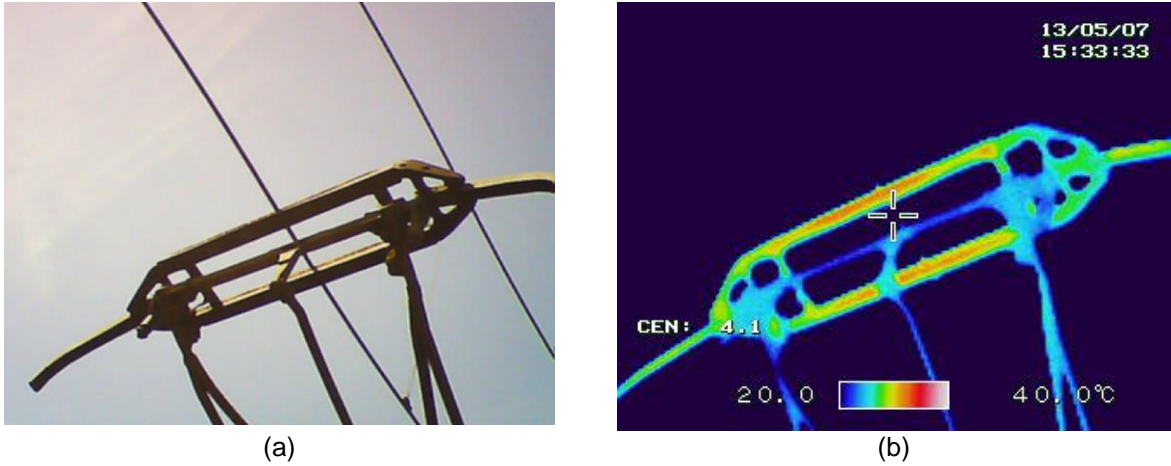
### 3. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada kullanılan görüntüler, Malatya Demir Yollarında kullanılan bir Lokomotiften Şekil 3' te verilen deney düzeneği kurularak alınmıştır.



Şekil 3. Lokomotif üzerine kurulan deneysel düzenek

Şekil 3' te verilen Termal kamera aynı anda normal ve termal görüntü kaydetme özelliğine sahiptir. Deney ortamından alınan bir dizi normal ve termal görüntüler ile önerilen yöntem uygulanmıştır. Termal kameradan alınan pantograf katener sistemin normal görüntüsü Şekil 4.a' da verilirken termal görüntüsü ise Şekil 4.b' de verilmiştir.



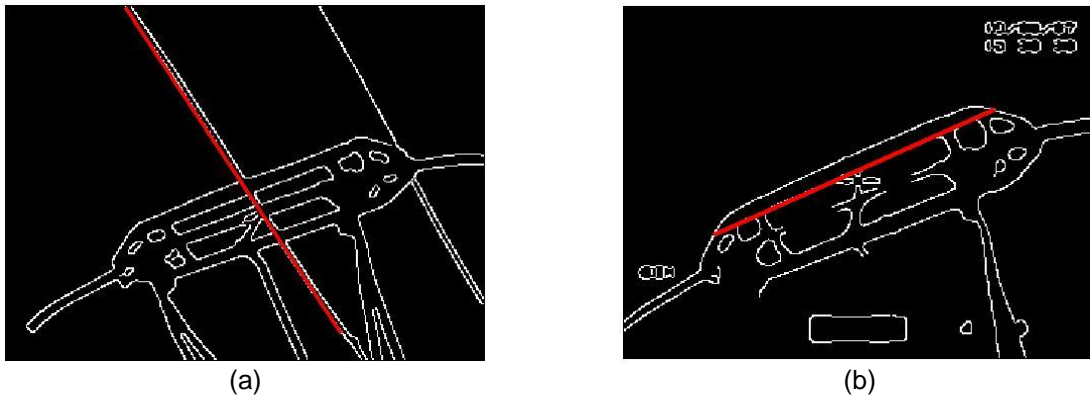
Şekil 4. Termal kameradan alınan pantograf katener sistemin örnek görüntüleri (a) Normal görüntü (b) Termal görüntü

Şekil 4' te verilen normal ve termal pantograf katener örnek görüntüleri üzerinde görüntü işleme yapılmak üzere gri seviyeli görüntülere dönüştürülmüştür. Termal kameradan alınan normal renkli görüntünün gri seviyeli görüntüye dönüştürülmüş hali Şekil 5.a' da, termal görüntünün gri seviyeli görüntü hali ise Şekil 5.b' de verilmektedir.



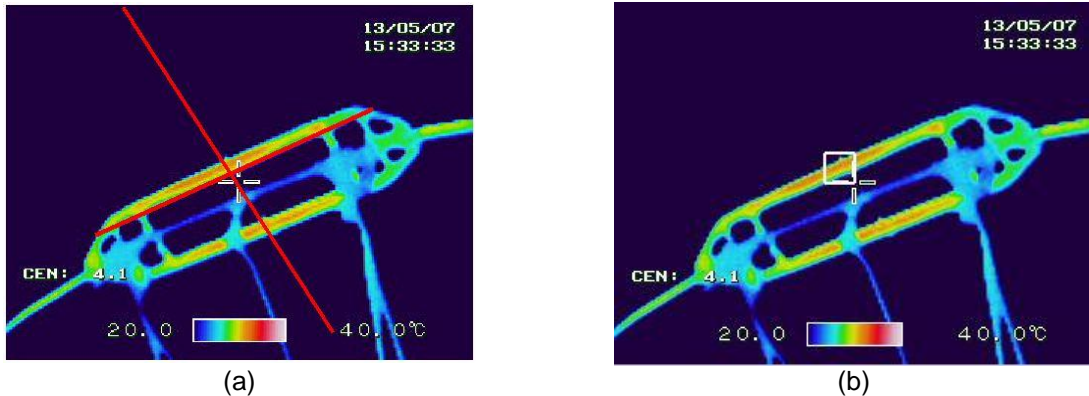
Şekil 5. Termal kameradan alınan pantograf katener sistemin gri seviyeli görüntüleri (a) Normal görüntü (b) Termal görüntü

Şekil 5' de verilen görüntüler kullanılarak üzerinde canny kenar algılama algoritması uygulanarak kenar çıkarımı yapılmıştır. Elde edilen kenar çıkarımlarına hough dönüşümü uygulayarak kenar çizgileri belirten doğrular oluşturulmuştur. Daha sonra doğruların üzerinde bulunan nokta değerleri kullanılarak elde edilen doğruların eğimleri hesaplanmaktadır. Hesaplan eğim sonuçlarına göre katener temas teli ve pantograf üst çizgisi tespit edilmektedir. Görüntülerin kenar çıkarımı doğruların tespit edilmiş durumlarını belirten görüntüler Şekil 6.a ve Şekil 6.b' de verilmektedir.



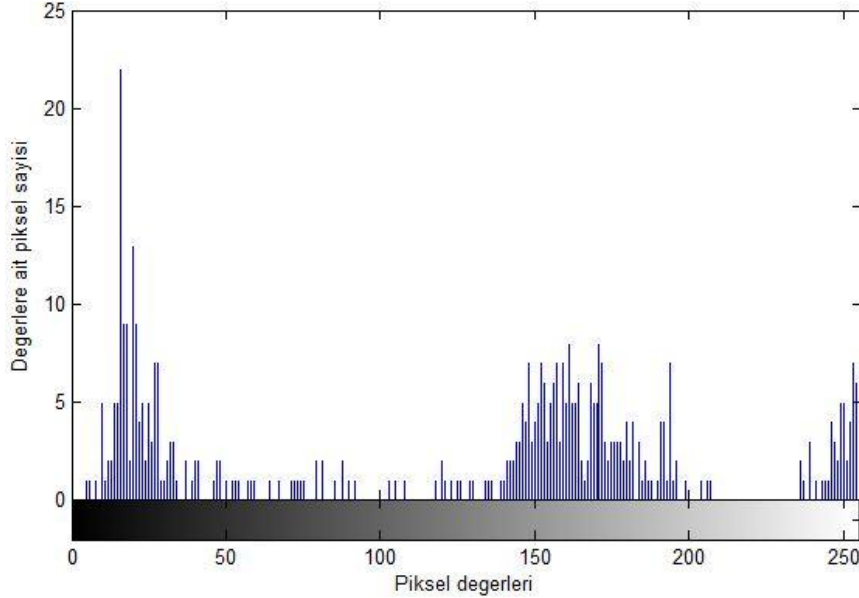
Şekil 6. Normal ve termal görüntüler üzerinde kenar çıkarımı ve doğru tespiti (a) Normal görüntü (b) Termal görüntü

Şekil 6' da elde edilen doğrular kullanılarak termal görüntü ile birlikte kullanılmıştır. Doğruların termal görüntü üzerinde gösterilerek temas noktasının belirlendiği görüntü Şekil 7.a' da temas noktasını içerisinde bulunduran bölgenin gösterildiği görüntü Şekil 7.b' de verilmiştir.



Şekil 7. Termal görüntü üzerinde temas noktasının belirlenmesi ve temas noktasını içerisinde bulunduran bölgenin oluşturulması (a) Kesişim noktasının gösterildiği görüntü (b) Temas noktasını içerisinde bulunduran bölgenin gösterildiği görüntü

Şekil 7.a' da verilen doğruların kesişim noktaları pantograf katener sistemin temas noktasını ifade etmektedir. Şekil 7.b' de verilen temas noktasını içerisinde bulunduran 20x20 boyutundaki görüntünün histogramı alınmıştır. Elde edilen histogram grafiğine bakılarak temas noktasındaki aşırı ısınma tespit edilmektedir. Şekil 7.b' de verilen görüntüde belirtilen temas noktasına ait 20x20 boyutundaki görüntünün histogram grafiği Şekil 8' de verilmiştir.



Şekil 8. Termal kameradan arka arkaya alınan görüntülerde temas noktasının piksel değerleri

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada pantograf katener sistemleri için termal görüntü işleme tabanlı yeni bir yöntem sunulmuştur. Termal kameradan alınan normal ve termal görüntüler kullanılarak pantograf katener sisteminin temas noktasında oluşan aşırı ısınmaların tespit edilmesi için görüntü işlemeye dayalı bir yöntem önerilmiştir. Normal ve termal görüntüler üzerinde canny kenar algılama ve Hough dönüşümleri uygulanmıştır. Bu temel işlemlerin ardından normal görüntüden katener teli, termal görüntüden ise pantograf üst çizgisini temsil eden doğrular oluşturulmuştur. Belirli denklemler kullanılarak elde edilen iki doğrunun kesişim noktası hesaplanmıştır. Kesişen bu iki doğru termal görüntü üzerinde gösterilerek kesişim noktasını içerisinde bulunduran bölgenin histogram grafiğine bakılarak aşırı ısınmalar ve ark oluşumları gözlemlenmektedir. Önerilen yöntem gerçek zamanlı uygulamalar için ideal olup gerçekleştirilmesi düşük maliyetli olmasıyla birlikte kurulumu ve kullanımı oldukça kolaydır.

#### Teşekkür

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

#### Kaynaklar

- [1] Aydın, İ., Karakose, M., and Akin, E., A New Contactless Fault Diagnosis Approach for Pantograph-Catenary System, 15th IEEE International Conference On Mechatronika, Prague, Czech Republic, 5 – 7, 2012.
- [2] Barmada, S., Landi, A. and Sani, L., Wavelet Multiresolution Analysis for Monitoring the Occurrence of Arcing on Overhead Electrified Railways, Journal of Rail and Rapid Transit, vol. 217, 177-187, 2003.
- [3] Zhang, W., Zhou, N., Li, R., Mei, G. and Song, D., Pantograph and Catenary System with Double Pantographs for High-Speed Trains at 350 Km/H or Higher, Journal of Modern Transportation, vol. 19, 7-11, 2011.

- [4] Midya, S., Bormann, D., Schütte, T. and Thottappillil, R., Pantograph Arcing in Electric Railways—Mechanism and Influence of Various Parameters—Part II: With AC Traction Power Supply, *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 24, 1940 - 1950, 2009.
- [5] Hamey, L. G. C., Watkins, T. and Yen, S. W. T., Pancam: In-service Inspection of Locomotive Pantographs, *IEEE Conference on Digital Image Computing Techniques and Applications*, Los Alamitos, CA., 493-499, 2007.
- [6] Boguslavskii A. A. and Sokolov S. M., Detecting Objects in Images in Real-Time Computer Vision Systems Using Structured Geometric Models, *Pleiades Publishing, Inc.*, vol. 32, 177–187, 2006.
- [7] Ding, T., Chen, G.X., Bu, J. and Zhang, W.H., Effect of temperature and arc discharge on friction and wear behaviours of carbon strip/copper contact wire in pantograph–catenary systems, *Wear*, vol. 271, 1629– 1636, 2011.
- [8] Genest, M., Pulsed thermography image processing for damage growth monitoring, *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*, vol. 31, 721 – 728, 2011.
- [9] Ma, S. and Ma, Q., Modified Infrared Images Contrast for Pulsed Thermography, *Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, vol. 2, 632 – 635, 2011.
- [10] Hulin, B. and Schussler, S., Concepts for Day-Night Stereo Obstacle Detection in the Pantograph Gauge, *5th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, vol. 1, 449 – 454, 2007.
- [11] Chih-Lung, L. and Kuo-Chin, F., Biometric Verification Using Thermal Images of Palm-dorsa Vein-patterns, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 14, 199 – 213, 2004.
- [12] Landi, A., Menconi, L. and Sani, L., Hough transform and thermo-vision for monitoring pantograph–catenary system, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, vol. 220, 435 – 447, 2006.
- [13] O'Donnell, C., Palacin, R. and Rosinski, J., Pantograph Damage and Wear Monitoring System, *IEEE Conference on Railway Condition Monitoring*, London, England, 178 - 181, 2006.
- [14] Boffi, P., Cattaneo, G., Amoriello, L., Barberis, A., Bucca, G., Bocciolone, M. F., Collina, A. and Martinelli, M., Optical Fiber Sensors to Measure Collector Performance in the Pantograph-Catenary Interaction, *IEEE Trans. on Sensors*, vol. 9, 635-640, 2009.
- [15] Facchinetti A. and Bruni S., Hardware-in-the-loop hybrid simulation of pantograph–catenary interaction, *Journal of Sound and Vibration*, 2783-2797, 2012.
- [16] Koyama, T., A Method to Measure the Contact Force of Pantographs through Image Processing, *Railway Technology Avalanche*, 219, 2011.
- [17] Li M., Ze-yong W., Xiao-rong G., Li W. and Kai Y., Edge Detection on Pantograph Slide Image, *International Congress on Image and Signal Processing*, 1 – 3, 2009.
- [18] Xiao-heng Z., Xiao-rong G., Ze-yong W., Li W. and Kai Y., Study on the Edge Detection and Extraction Algorithm in the Pantograph slipper's Abrasion, *International Conference on Computational and Information Sciences*, 474 – 477, 2010.