

# BİLGİSAYARLI GÖRÜNTÜ YARDIMIYLA RULMAN HATALARININ DENETİMİ

Arda MOLLAKÖY

Çankaya Üniversitesi  
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği  
0814046@student.cankaya.edu.tr

Sibel ÇİMEN

Çankaya Üniversitesi  
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği  
c0814016@student.cankaya.edu.tr

Emre YENGEL

Çankaya Üniversitesi  
Mekatronik Mühendisliği  
e.yengel@cankaya.edu.tr

Behçet Uğur TÖREYİN

Çankaya Üniversitesi  
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği  
toreyin@cankaya.edu.tr

## Özet

Bu makalede, rulman üretim hattının son basamağını teşkil eden gözle kalite kontrolüne yardımcı olmak üzere bilgisayarlı görü tabanlı bir kalite kontrol sistemi önerilmektedir. Kamera kullanılarak çekilen rulman imgeleri, geliştirilen görüntü işleme yöntemleri ile denetlenmiş ve rulmanların üretim standartlarına uygunluğu belirlenmiştir. Bu yöntemler yardımıyla rulman kapaklarının kalite kriterlerine uygunluğunu tanımlayan parametrelere göre sınanmıştır. Çalışmaya ilişkin ilk sonuçlar sistemin üretim hattında kontrolörlere yardımcı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

## I. Giriş

Rulmanlar, elektrik motorlarından otomobillere kadar hareketli makine parçası içeren çok sayıda üründe sürtünmeyi en aza indirgeyerek enerji kayıplarını azaltmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Rulmanların standartlara uygun olarak üretilmesi, bunları içeren ürünlerin kalitesini ve ömrünü doğrudan etkilemektedir. Üretim hattının son aşaması olan kalite kontrol, kontrolörler tarafından yapılmakta olup; bu kontrollerin güvenilirliği ise sadece kontrolörlerin deneyimine bağlı olmayıp, kontrol sırasındaki konsantrasyon seviyelerine de bağlıdır. Video tabanlı rulman denetim sistemi, kontrolörlerin iş yükünü azaltacak ve hatalı rulmanların tespit oranını arttıracak yardımcı bir araç olacaktır.

Bu çalışmada tasarlanan video tabanlı sistem ile yılda

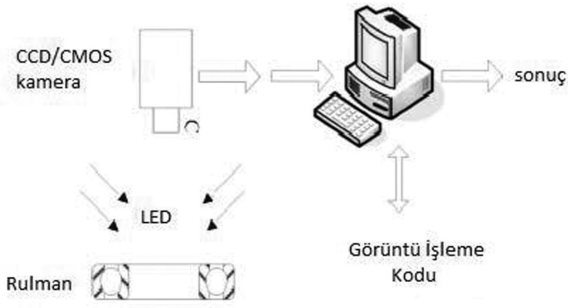
yaklaşık olarak 10 milyon adet üretilen ORS-680106 tipi rulmanlara ait plastik muhafaza kapaklarının kontrolü gerçekleştirilmiştir. Kontrol sonucunda kapaklarının takılı olup olmadığı ve takılı ise düz mü ters mi takılı olduğu belirlenmiştir.

## II. Video Tabanlı Rulman Tespit Yöntemleri

Literatürde yer alan bilgisayarlı görü tabanlı rulman denetimi sistemleri, Şekil. 1'de görüldüğü gibi, denetimi yapılacak rulman örneği, örneğin aydınlatılması için ışık kaynağı, görüntüyü yakalamak için kamera ve görüntü işlemeyi gerçekleştirecek yazılımın koştugu donanımdan oluşmaktadır [1,2,3] .

Görüntünün yakalanması aşamasında dikkat edilmesi gereken hususlar şu şekilde sıralanabilir: sabit ışık kaynağı ile aydınlatma, gölgeden, aşırı parlaklıktan ve hareketli nesnelere kaçınmak [2]. Bu hususlar dikkate alınarak, tasarlanan sistemde sabit bir ışık kaynağı ile aydınlatma yapılmalıdır.

Literatürde bilgisayarlı görüye dayalı benzer bir uygulamada, çizgi-taramalı (line-scan) kameralar kullanılmıştır [4]. Gerçekten de, özellikle hızlı akan üretim hatlarındaki parçaların çözümlenmesi amacıyla çizgi-taramalı kameralar birçok farklı uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. Yakalanan rulman görüntüleri, siyah/beyaza çevrilip, sonraki çözümlenme işlemleri bu resimler üzerinde gerçekleştirilebilir [6]. Bu dönüşüm için en uygun eşik değerleri belirlenir [1, 6, 7]. denetim sistemi. Sistem, denetimi yapılacak rulman, ışık kaynağı, kamera ve görüntü işleme algoritmasının çalıştırıldığı bilgisayardan oluşmaktadır.



Şekil 1: Literatürde yer alan örnek bir bilgisayarlı görüye dayalı rulman denetim sistemi. Sistem, denetimi yapılacak rulman, ışık kaynağı, kamera ve görüntü işleme algoritmasının çalıştırıldığı bilgisayardan oluşmaktadır.

Literatürdeki benzer çalışmalarda görüldüğü üzere kutupsal koordinattan dikgen Kartezyen koordinata dönüşüm rulman denetlemeleri için etkili bir yöntemdir [4]. Koordinat dönüşümü yapıldıktan sonra rulmanlara ait öznitelik vektörleri çıkarılıp rulmanların hatalı olup olmadığına karar verilmiştir.

### III. Önerilen Yöntem

Bu çalışmada önerdiğimiz yöntemle mevcut yöntemlerden biri taban teşkil edecek şekilde alınarak üzerine kapak var/yok, ters kapak durumlarını irdeleyen bir yöntem oluşturulmuştur.

TIS DFK 72BUC02 model numaralı CMOS kamera ile rulman imgeleri kaydedilmiştir. Bu rulman imgeleri işlenmek için MATLAB'a aktarılmıştır. Alınan imgeler ilk olarak siyah/beyaz formata çevrilip arka plandan ayırt edilerek rulman orijinal boyutlarında kesilmiştir. Rulmanların denetlemede ilk aşama olan öznitelik vektörlerinin çıkarılması, elde edilen görüntülerden ayırt ve köşe sezimi yardımı ile kestirilecek rulmanların dik Polar – Kartezyen koordinat dönüşümleri gerçekleştirilmiştir. Polar – Kartezyen koordinat dönüşümleri için Hough Dönüşümü kullanılmıştır [8]. Hough Dönüşümü sayısal görüntü işlemede matematiksel olarak ifade edilebilen şekillerin varlığının, yerinin, açılarının bulunmasında kullanılabilir. Hough Dönüşüm yöntemi köşe sezim bilgisi elde edilmiş gri-seviye imgeler üzerine uygulanır. Yöntem imge uzayındaki bilgiyi parametre uzayına taşıyarak şekil bulma problemini bir yoğunluk bulma problemine dönüştürür [9]. Bu yöntemin rulman imgeleri üzerine uygulanması durumunda şekil bilgileri  $r$ ,  $a$  ve  $b$  olmak üzere 3 parametresi bulunan bir daire denkleminde (1) elde edilir.

$$r^2 = (x - a)^2 + (y - b)^2 \quad (1)$$

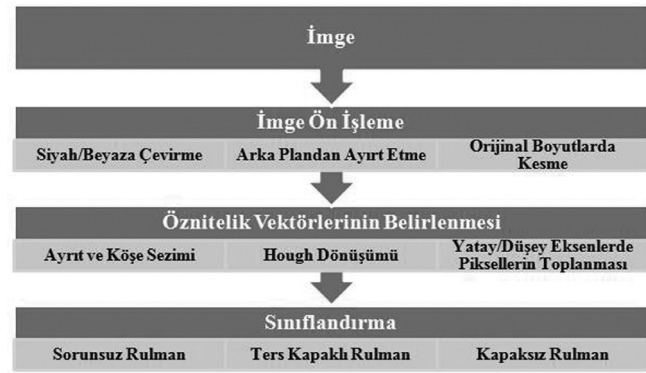
Eşitlik (1)'deki denklemde  $a$  ve  $b$  dairenin merkezini,  $x$  ve  $y$  yönleri,  $r$  ise dairenin yarıçapını temsil etmektedir. Dairenin parametrik ifadesi ise

$$x = a + r \cos \theta \quad (2)$$

$$y = b + r \sin \theta \quad (3)$$

Elde edilen öznitelik vektörlerine bağlı kalınarak rulmanların kapaklı/kapaksız/ters kapaklı ayrımı yapılmıştır.

Şekil 2'de bu yöntemin adımları akış diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 2: Önerilen Yöntem Akış Diyagramı

### IV. Deneysel Bulgular

Ayrımı yapılmak istenen 680106 ve 6203NC3 tipi rulmanlardan sorunsuz/kapaksız/ters rulman örneklerinin her biri için CMOS kamera 2595x1944 piksel çözünürlükteki görüntüleri alınmış ve MATLAB ortamına aktarılmıştır. Bu görüntülerden sorunsuz rulman örnekleri Şekil 3(a) ve Şekil 3(b)'de, kapaksız rulman örnekleri Şekil 4(a) ve Şekil 4(b)'de, ters kapaklı rulman örnekleri Şekil 5(a) ve Şekil 5(b)'de görülmektedir. Bu imgelerdeki iç ve dış yarıçap sınırları Hough Dönüşümüne göre belirlenmiş ve bu sınırlar kullanılarak Polar-Kartezyen koordinat dönüşümü ile yatay düzleme aktarılmıştır. Bu aktarım sonucu sorunsuz rulman örneği Şekil 3(c) ve Şekil 3(d)'de, kapaksız rulman örneği Şekil 4(c) ve Şekil 4(d)'de, ters kapaklı rulman örneği Şekil 5(c) ve Şekil 5(d)'de görülmektedir.

**A. Rulman Örnekleri**

Şekil 3(a): 680106 Tipi Sorunsuz Rulman Örneği



Şekil 3(b): 6203NC3 Tipi Sorunsuz Rulman Örneği

Şekil 3(c): 680106 Tipi Sorunsuz Rulmanın Polar – Kartezyen Koordinat Dönüşümü



Şekil 3(d): 6203NC3 Tipi Sorunsuz Rulmanın Polar – Kartezyen Koordinat Dönüşümü



Şekil 4(a): 680106 Tipi Ters Kapaklı Rulman Örneği



Şekil 4(b): 6203NC3 Tipi Ters Kapaklı Rulman Örneği



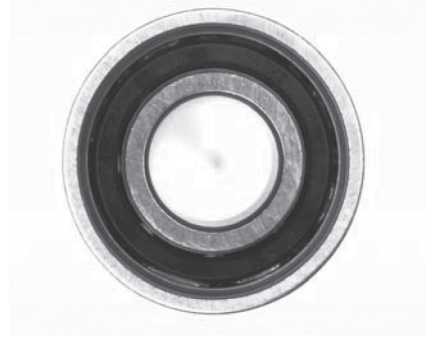
Şekil 4(c): 680106 Tipi Ters Kapaklı Rulmanın Polar – Kartezyen Koordinat Dönüşümü



Şekil 4(d): 6203NC3 Tipi Ters Kapaklı Rulmanın Polar – Kartezyen Koordinat Dönüşümü



Şekil 5 (a): 680106 Tipi Kapaksız Rulman Örneği



Şekil 5 (b): 6203NC3 Tipi Kapaksız Rulman Örneği



Şekil 5 (c): 680106 Tipi Kapaksız Rulmanın Polar – Kartezyen Koordinat Dönüşümü

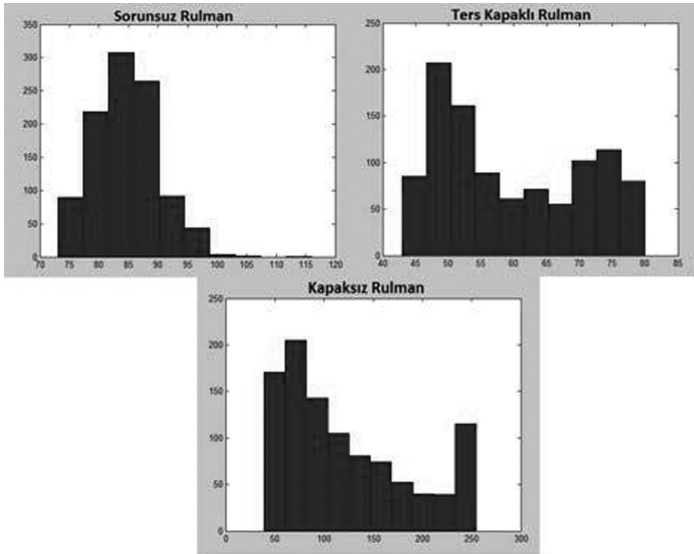


Şekil 5 (d): 6203NC3 Tipi Kapaksız Rulmanın Polar – Kartezyen Koordinat Dönüşümü

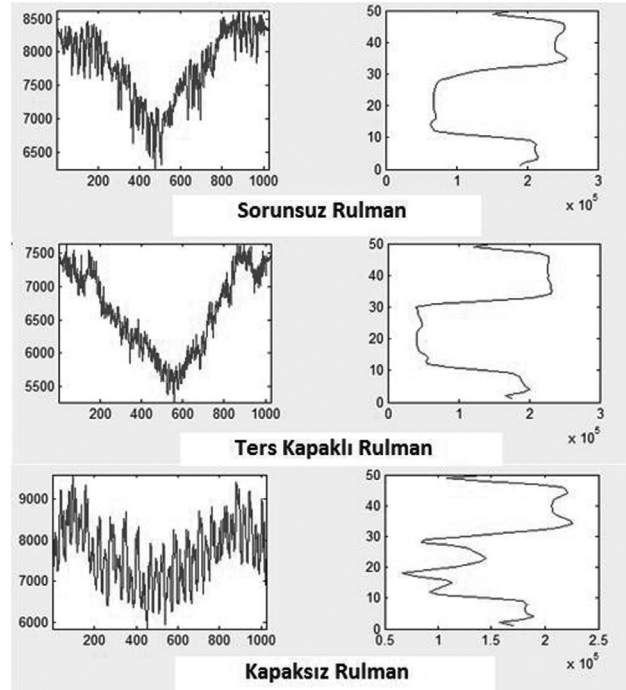
Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilen grafiklerde 680106 tipi ve 6203NC3 tipi rulmanlar için Polar – Kartezyen formunda elde edilen rulman imgelerinin yatay ve dikey eksenindeki piksellerinin renk değerlerinin toplamını gösterilmiştir. Grafiklerde sorunsuz rulman, ters kapaklı rulman ve kapaksız rulman için piksel renk değerlerinin toplamı ayrı ayrı görünmektedir. Birinci kolondaki grafikler dikey, ikinci kolondaki grafikler ise yatay eksenindeki piksellerin renk değerlerinin

toplamını ifade etmektedir. 680106 tipi rulmanlar için elde edilen grafiklerden de görüldüğü üzere, kapağın olma ve olmama durumu karşılaştırıldığında yatay ve düşey eksenlerdeki piksellerin toplamlarında belirgin farklılıklar görülmektedir.

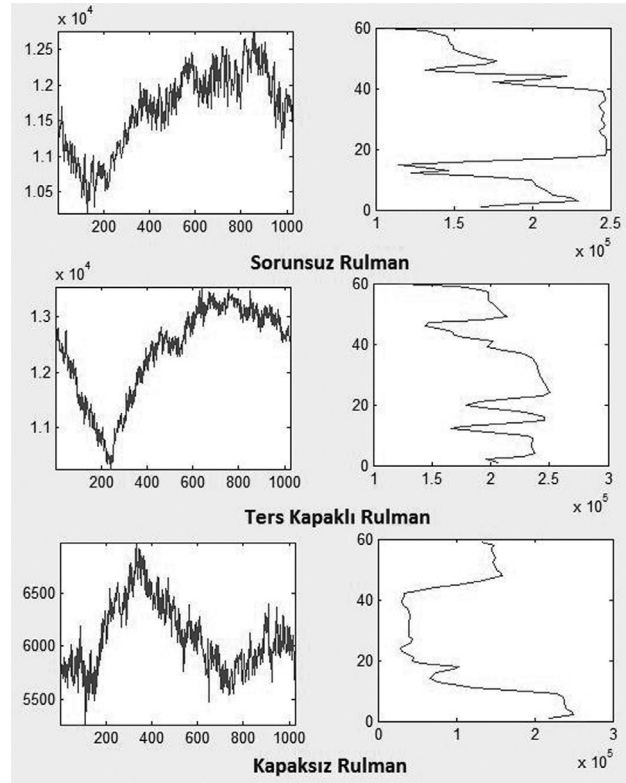
Sorunsuz rulman ve ters kapaklı rulmanların grafikleri arasındaki fark kapak olma durumu ve olmama durumunun grafikleri arasındaki fark kadar belirgin olması beklenemez. Bu da kontrast farkının kapak olma ve olmama durumunda daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Buna rağmen çok büyük farklılıklar olmasa da sorunsuz rulman ve ters kapaklı rulman grafikleri arasındaki farklılıklar da grafikler aracılığı ile gözlenebilmektedir. 6203NC3 tipi rulmanlar ele alındığında ise her üç durum da net bir şekilde farklılıklar göstermektedir. 680106 tipi rulmanlarda kapaklı rulman ve ters kapaklı rulman grafikleri arasında kontrast farkı fazla olmamasına karşın 6203NC3 tip rulmanlardaki fark diğer tip rulmanlara göre daha fazladır. Bu sebepten ötürü sorunsuz ve ters kapaklı rulmanlar için elde edilen grafikler farklılıklar göstermektedir. Her ne kadar aralarında kontrast farkı fazla olsa da, kapaklı ve kapaksız rulmanlar grafikleri karşılaştırıldığında kontrast farkı çok daha büyüktür. Bu fark grafikler aracılığıyla da gözlenmektedir.



Şekil 8: 680106 Tipi Farklı 3 Rulmana ait Histogram Verileri

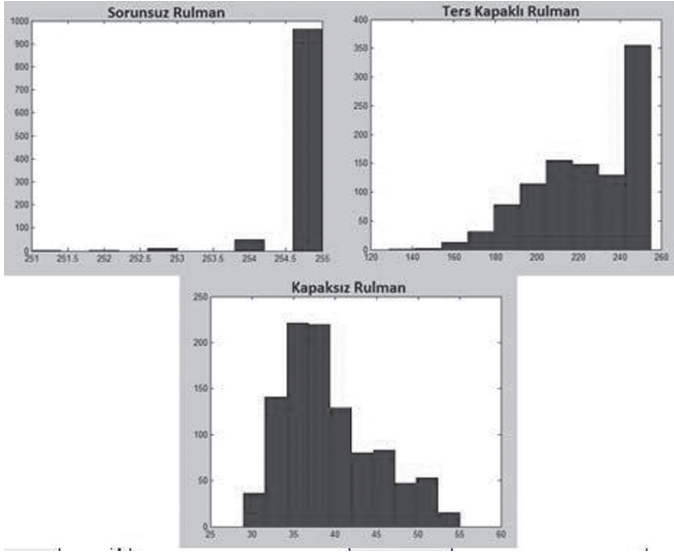


Şekil 6: 680106 Tipi Farklı 3 Rulmana ait Polar – Kartezyen dönüşümü sonrası dikey ve düşey eksen piksel toplamları



Şekil 7: 6203NC3 Tipi Farklı 3 Rulmana ait Polar – Kartezyen dönüşümü sonrası dikey ve düşey eksen piksel toplamları

Şekil 6 ve Şekil 7’ de gösterilen grafiklerdeki veri dağılımlarını göstermek için histogram yöntemi [7] kullanılmış ve bu grafiklerin RGB kanallarından “R” (kırmızı) kanalına bağlı histogram grafikleri 680106 tipi rulmanlar için Şekil. 8’de, 6203NC3 tipi rulmanlar için de Şekil.9’da gösterilmiştir.



Şekil 9: 6203NC3 Tipi Farklı 3 Rulmana ait Histogram Verileri Bunlara bağlı olarak ortalama değer ve standart sapma değerleri de bulunmuş ve şu değerler elde edilmiştir:

680106 Tipi Rulmanlar	Standart Sapma Değeri	Ortalama Değer
Sorunsuz Rulman	5.4784	84.5317
Ters Kapaklı Rulman	10.9421	59.5766
Kapaksız Rulman	64.8358	123.1561

6203NC3 Tipi Rulmanlar	Standart Sapma Değeri	Ortalama Değer
Sorunsuz Rulman	0.3465	254.9229
Ters Kapaklı Rulman	24.7648	224.7385
Kapaksız Rulman	5.5438	39.2956

**Tablo 1:** Farklı tip rulman örneklerine ait kırmızı renk kanalı dağılımlarından elde edilen ortalama değer ve standart sapma değerleri

## V. Sonuç

Bu çalışmada rulman denetimi için bilgisayarlı görü tabanlı bir sistem önerilmiştir. Sistem, rulmanların kapaklı/kapaksız/ters kapaklı olma durumlarına göre rulmanları sınıflandırabilen bir yordama dayanmaktadır. Sisteme ait ilk deneysel bulgular uyarınca, geliştirilen yordamın hedeflenen sonuçları verdiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, sistemin gerçek bir rulman üretim hattına uyarlanabilmesi için farklı aydınlanma şartlarında çalışabilir ve değişik hata tiplerini kapsayacak şekilde geliştirilmesi gerekmektedir. Araştırmaların bu yönde yoğunlaştırılıp sistemin fabrika ortamında işlerlik kazanabilmesine çalışılacaktır.

## Teşekkür

Sorunlarını ve rulman örneklerini bizlerle paylaştıkları için Ortadoğu Rulman Sanayi A.Ş. (ORS)’ye teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- (1) Deng, S., Cai, W., Xu, Q., Liang, B., “Defect detection of bearing surfaces based on machine vision technique”, International Conf. on Computer Application and System modeling, pp. 548-554, 2010.
- (2) Wu, Q., Lou, X., Zeng, Z., He, T., “Defects inspecting system for tapered roller bearings based on machine vision”, International Conf. on Electrical and Control Engineering, pp. 667-670, 2010.
- (3) Shen, H., Li, S., Gu, D., Chang, H., “Bearing defect inspection based on machine vision”, Measurement, 45, 719-733, 2012.
- (4) Chiou, Y., Li, W., “Flaw detection of cylindrical surfaces in PU-packing by using machine vision technique”, Measurement, 42, 989-1000, 2009.
- (5) Yang, C. C., Kim, M. S., Kang, S., Cho, B. K., Chao, K., Lefcourt, A. M., Chan, D. E., “Red to far-red multispectral fluorescence image fusion for detection of fecal contamination on apples”, Journal of Food Engineering, Volume 108, Issue 2, 2012.
- (6) Gonzalez, R. C., Woods, R. E., Eddins S.L., Digital image processing using Matlab (2nd ed.). USA: Gatesmark, 2009.
- (7) Otsu, N., “A threshold selection method from gray-level histogram”, IEEE Trans. Syst. Man Cybern., 9, 64-66, 1979.
- (8) Jain, L., Mahor, D., “Application of Hough transform for finding parametric curves, International Journal of Computer Applications in Engineering Sciences, 1(2), 100- 103, 2011.
- (9) Boztoprak, H., “Gerçek Zamanlı Taşıt Plaka Tanıma Sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2007.