

# ENDÜSTRİYEL ROBOTİK OTOMASYON SİSTEMLERİNDE GÖRÜLEN HATALARIN VE SİSTEM GÜVENİLİRLİĞİNİN HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ YÖNTEMİ İLE ANALİZİ\*

Atalay Tayfun Türedi\*\*

WAVIN TR Plastik Sanayi A.Ş.,  
Yüreğir, Adana  
atalaytayfunturedi@yahoo.com

Durmuş Ali Bircan

Yrd. Doç. Dr.,  
Çukurova Üniversitesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü,  
Konstrüksiyon ve İmalat Ana Bilim Dalı,  
Balcalı, Adana  
abircan@cu.edu.tr

## ÖZ

Endüstriyel robotik otomasyon sistemleri, işletmelerin verimliliğine direk etki eden, işçilik, hammadde ve enerji maliyetlerinin optimize edilmesi, ayrıca işçi sağlığının korunması gibi faktörlerin geliştirilmesinde önemli ve artan roller oynamaktadır. Bu sistemlerde en yaygın kullanılan uygulama metotlarından biri olan kartezyen robotlar; malzeme taşıma, montaj, istif, ayırma ve sınıflandırma işlemleri gibi birçok uygulamaya yönelik olarak işletmelerin üretim hatlarında veya lojistik faaliyetlerinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, işletmelerde yaygın olarak kullanılan kartezyen robot uygulamalardan gantry tipi robotlarda tecrübe edilen teknik hatalar ve ilgili hata türleri, Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemiyle irdelenecektir. Elde edilen analiz sonuçları, ekipman güvenilirliği açısından değerlendirilecek ve çalışma sonucu olarak, hataların elimine edilmesi için uygulanması önerilen bakım prosedürleri verilecektir.

**Ahahtar Kelimeler:** Hata türleri ve etkileri analizi (HTEA), kartezyen robot, gantry robot, ekipman güvenilirliği, bakım yönetimi

## INDUSTRIAL ROBOTIC AUTOMATION SYSTEM FAILURES AND SYSTEM RELIABILITY ANALYSIS BY FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS METHOD

### ABSTRACT

Industrial robotic automation systems play direct and increasing significant roles on the shop floors productivity in the manner of labour cost, optimum energy and raw material usage, also health and safety. In these applications, cartesian robots are one of the most common applied systems for material and product lifting, mounting, stacking and classification purposes of shop floors production and logistic issues.

In this study, technical failures about gantry type cartesian robots will be analysed with Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method. Derived results will be evaluated in the view of equipment reliability. Consequently, required and suggested maintenance procedures will be declared for eliminating the failures and taking precautions.

**Keywords:** Failure mode and effect analysis (FMEA), cartesian robot, gantry robot, equipment reliability, maintenance management

\*\* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 10.07.2015

Kabul tarihi : 25.12.2015

\* 8-10 Ekim 2015 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Eskişehir’de düzenlenen VII. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi’nde bildiri olarak sunulan bu metin, yazarlarınca makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

Türedi, A. T., Bircan, D. A. 2016. “Endüstriyel Robotik Otomasyon Sistemlerinde Görülen Hataların ve Sistem Güvenilirliğinin Hata Türleri ve Etkileri Yöntemi ile Analizi,” Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 672, s. 56-61.

## 1. GİRİŞ

İşletme kârlılığı, verimliliğinin nasıl yönetildiği ile direk ilişkilidir. İşletme çıktılarının hedeflenen seviyede sağlanması, kullanılan ekipmanın servis ömrünün mümkün olan en yüksek seviyede ve minimum maliyetli duruşla gerçekleştirilebilmesi ile mümkündür. Bu şartları sağlamanın yolu ise ideal bakım stratejilerinden geçmektedir.

Temel üretim prosesinin gerçekleştirilmesinde kullanılan üretim makineleri kadar, bu makinelerin desteklenmesini sağlayan yardımcı ekipmanlar da bir işletme için yüksek kritikliğe sahiptir. Yardımcı ekipmanların en başında mekatronik otomasyon sistemi ve ekipmanları gelmektedir. Otomasyon sistemleri, düşük yatırım maliyetleri ve sağladıkları esnek üretim modelleri ile işletmelerin vazgeçilmez unsurlarını oluşturmaktadır. Otomasyon sistemleri, entegratör kuruluşlar tarafından sağlandığı gibi, işletme bünyesindeki uzmanlar tarafından ihtiyaç duyulan uygulamaya uygun olarak tasarlanarak imal edilebilmektedir. İşçilik, hammadde ve enerji kullanımlarının optimize edilmesine imkân sağlayan otomasyon sistemlerinin ana ekipmanlarından olan ve yaygın kullanım alanına sahip olan kartezyen robotlar, servo ve pnömatik kontrollü olarak tasarlanmaktadır.

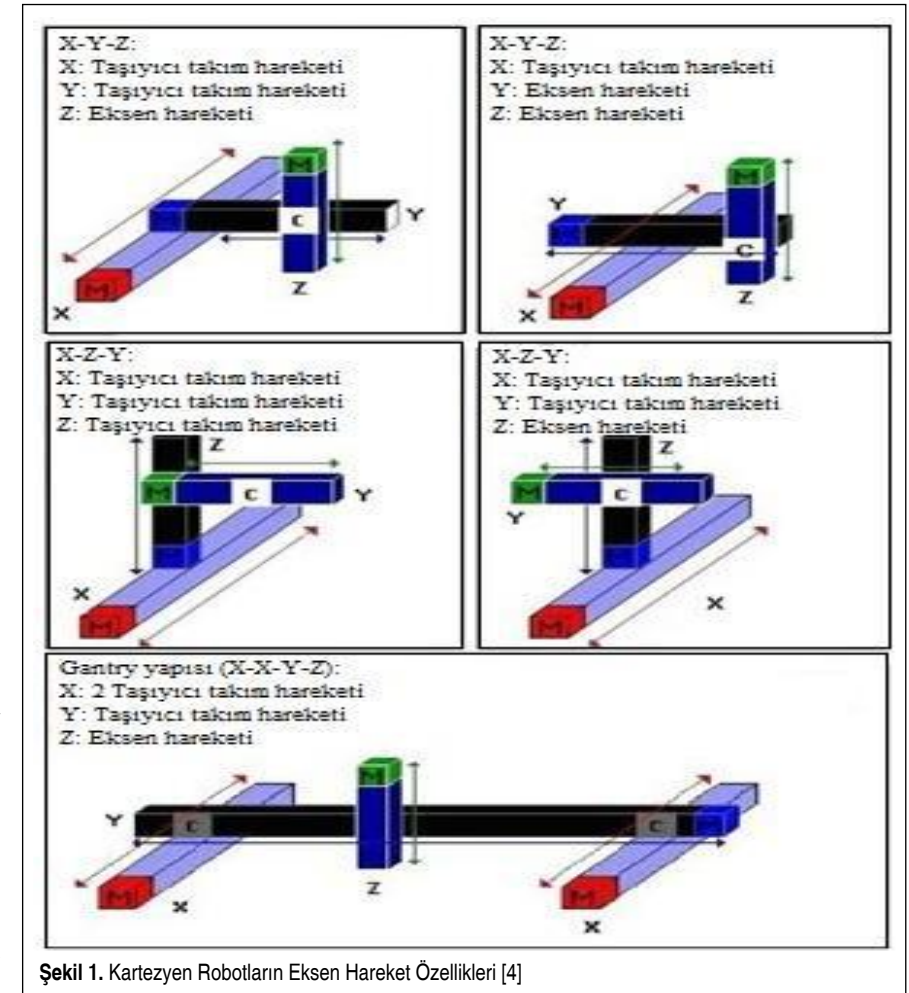
Mekatronik otomasyon sistemleri uygulamaları, ilgili sistem ekipmanlarının tasarlanması ve performans incelemeleri, endüstriyel uzmanlar ve bilim insanı tarafından birçok çalışmada konu edilmiş ve incelenmiştir. Çengelci ve Çimen (2005), üretim sistemlerinde son zamanlarda yaygınlaşmaya başlayan robotların tanıtılıp ülkemizdeki üretim sistemlerine adapte edilmesi ile ilgili çalışmalarını sunmuşlardır [1]. Çallı ve arkadaşları (2004), çalışmalarında, mekatroniğin ilkeleri ve endüstriyel uygulamalardaki etkileri üzerine çalışma yapmışlardır [2]. Berkay ve arkadaşlarının (2008) sunduğu çalışmada, içerisinde otomasyon sistemlerinde önemli bir yeri olan pnömatik robotlar ve uygulamaları hakkında bilgi verilmiş, robot kavramı ve endüstriyel uygulamaları üzerinde durulmuştur. Ayrıca, geliştirilmiş pnömatik tahrikli kartezyen robot uygulamasının detayları sunulmuştur [3]. Bakır ve arkadaşları (2012), üç eksenli bir taşıyıcı sisteme monte edilmiş bir kamera vasıtasıyla siyah bir zemin üzerindeki dikdörtgen, kare, üçgen, daire gibi değişik geometrik cisimlerin görüntü işleme yöntemleri kullanılarak tanınması ve cisimlerin farklı koordinatlardaki kutularda ayırtılması uygulamasını anlatmışlardır [4].

Şimşir (2009), çalışmasında su jeti kesme yöntemi ile uyumlu kartezyen robot tasarımı hakkında verileri paylaşmıştır [5].

Bu çalışmada, imalat sektöründe sıklıkla kullanılan, ürün taşınması, sınıflandırılması ve istiflenmesi uygulamalarına hizmet eden servo kontrollü, üç eksenli gantry tipi kartezyen paletleme robotunun performansına etki eden hata türleri incelenecektir. İlgili inceleme, HTEA yöntemi kullanılarak gerçekleştirilecek ve ekipman kritiklik seviyesi rakamlarla incelenecektir. Bu yöntem, hata türlerini, şiddet, olasılık ve saptama bileşenleri bazında inceleyerek risk verilerinin analiz edilebilmesini sağlamaktadır. HTEA uygulamalarında, her hata türü ve etkisi bileşeni düşükten yükseğe doğru sayısal olarak değerlendirilir. Her hata türü için, ayrı ayrı belirlenen bileşen değerlerinin çarpımı ile elde edilen sayısal değer, Risk Öncelik Sayısı (RÖS) olarak tanımlanır. Elde edilen RÖS değerleri, hatayı önlemeye yönelik aksiyonların alınmasında referans olarak kullanılabilir. RÖS değerleri aynı zamanda ekipmanların operasyonel risk göstergeleridir.

## 2. MALZEME VE METOT

Üç doğrusal eksen den meydana gelen kartezyen robotlar,

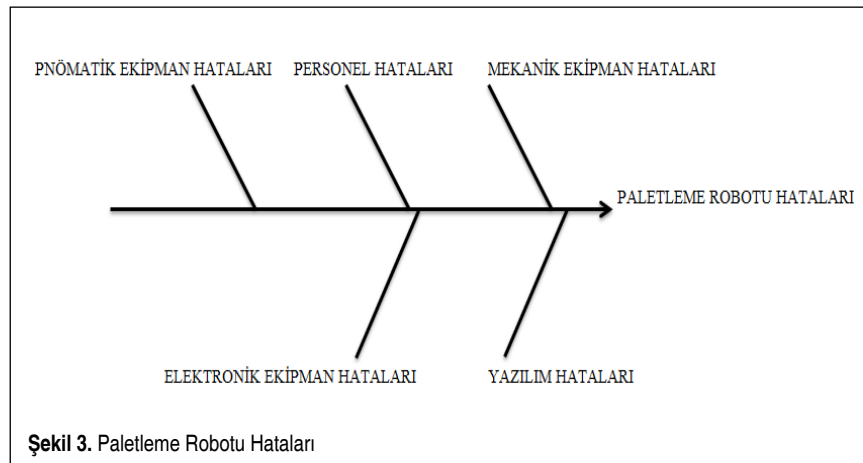


Şekil 1. Kartezyen Robotların Eksen Hareket Özellikleri [4]



paketleme, lojistik, freze, lazer, plazma, oksijen kesme makineleri, su jeti ile kesme, elektro erozyon gibi uygulama alanları bulunur. Kartezyen robotlar birbirine dik eksenlerden meydana gelmektedir. Gantry robotlar da bir kartezyen robot türüdür [4]. Kartezyen robotların eksen hareket özelliklerini gösteren model aşağıda, Şekil 1'de görülmektedir.

İncelenecek olan gantry tipi servo kontrollü kartezyen robot, PLC kontrollüdür ve pnömatik tahrikli tutucu ekipmanlara sahiptir. İstif edeceği malzemenin sevk edilmesinde kullanılan konveyör bant ile haberleşme özelliğine sahip olan robot, gelen malzemeyi konveyörden Z eksenine bağlı olan pnömatik vakumlu tutucu ile almakta ve palet dizme sırasına göre palet üzerine bırakmaktadır. İlgili robotun genel ve en yaygın kons-



trüksiyonu ise bir üreticiye ait olan modeli Şekil 2'de gösterilmektedir.

İlgili sistemin hata analizinin gerçekleştirilmesinde kullanılacak yöntem olan HTEA, bir ürün ya da süreçte bilinen veya olası hataların, önceki deneyimler ya da teknoloji ile belirlenmesi ve bunların engellenmesi için yapılan planlamadan oluşan analitik bir tekniktir. Başarılı bir HTEA uygulaması:

- Her hatanın sebeplerini ve etkilerini belirler.
- Potansiyel hataları tanımlar.
- Olasılık, şiddet ve saptanabilirliğe bağlı olarak hataların önceliğini ortaya çıkarır.
- Problemlerin takibini ve düzeltici faaliyetlerin uygulanmasını sağlar.

Elde edilen sonuçlar iyileştirme programlarına dönüştürülebilir. HTEA uygulaması başarılıdır denilebilir.

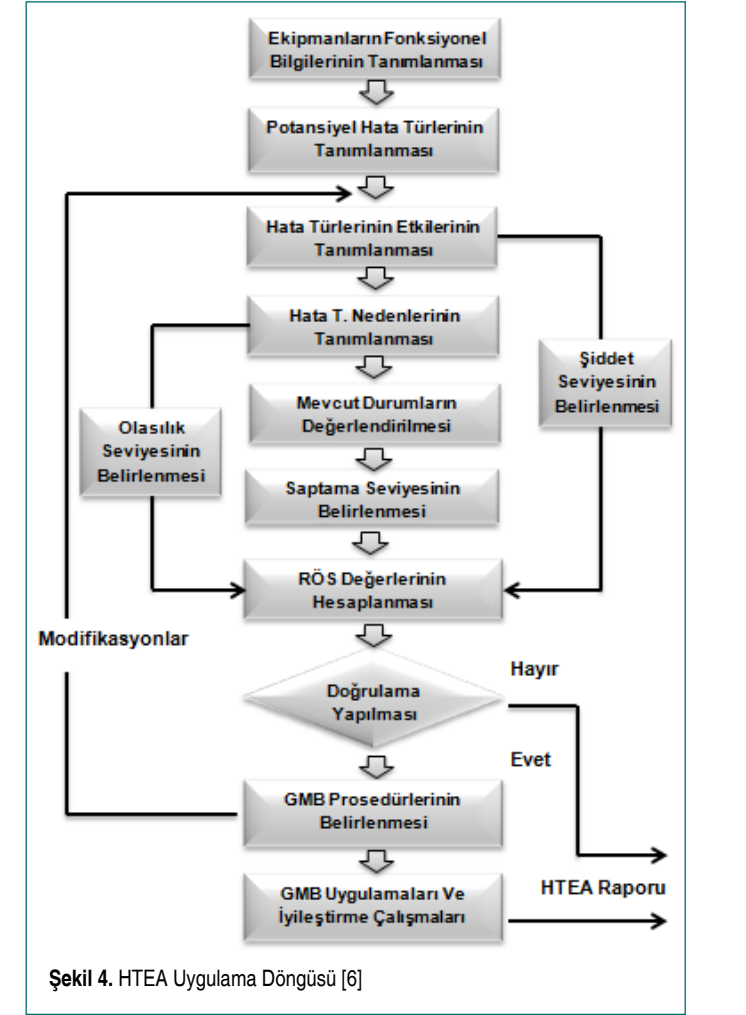
Şekil 3'te, HTEA çalışmasında ele alınacak temel hata modlarının Ishikawa diyagramı ile analizi yer almaktadır. Personel yetersizliği veya ihmalden kaynaklı hataların da dahil edildiği bu gösterimde, hata modlarının oluşumuna neden olan ekipmanlar ana gruplar halinde ele alınmıştır. Robotun istif işlemini gerçekleştirdiği malzemelerde karşılaşılması muhtemel, robotun performansına etki edecek ve hataların oluşumuna neden olacak kalite problemleri etkenlerin dışında tutulmuştur.

Tablo 1'de ise paletleme robotu HTEA uygulamasında kullanılacak olan RÖS bileşenleri ve tanımları verilmektedir. Bu tablodaki veriler ve sayısal değerler, hata türlerine özel, tecrübe edilen vaka detaylarından yola çıkılarak optimum tanımlamayı sağlayacak şekilde elde edilmiştir. Oluşturulacak olan HTEA tablosunda yer alacak RÖS hesaplamaları ve bunların ilerleyen süreçlerdeki güncellemelerinde, Tablo 1'de yer alan, şiddet, olasılık ve saptama durumlarındaki değişikliklere uygun olan sayısal değerler kullanılacaktır.

HTEA analiz tablosu ise endüstriyel kullanıcıların ortak tecrübelerinden elde edilen hata ve arıza kayıtlarından yola çıkılarak oluşturulan hata türleri ve bunların etkileri, numaralandırılarak tanımlanmıştır. Risk öncelik sayısı ise  $RÖS = \text{Ş} \times \text{O} \times \text{S}$  formülasyonu ile belirlenmiştir. HTEA bileşenlerinin tespitinde ve HTEA analiz tablosunun oluşturulmasında izlenen yol ve proses döngüsü Şekil 4'te gösterilmektedir.

Tablo 1. Tanımlanan Şiddet, Olasılık ve Saptama Değerleri

Şiddet	Olasılık
1	Üretim personeli tarafından derhal düzeltilebilir çok önemsiz etki.
2	Bakım personeli tarafından derhal düzeltilebilir önemsiz etki.
3	Düşük ölçekli etki, sistem küçük müdahalelerle eski haline dönebilir.
4	Orta ölçekli etki, düzeltme işlemi için duruş gerekliliği yoktur ve ekipman işlevini tamamen kaybetmez.
5	Orta ölçekli etki, düzeltme işlemi için duruş gerekliliği vardır ve çok kısa süreli duruşa neden olur.
6	Orta ölçekli etki, düzeltme işlemi için duruş gerekliliği vardır ve bir günlük duruşa neden olur.
7	Kritik ölçekli etki, düzeltme işlemi için duruş gerekliliği vardır ve birden fazla gün duruşa neden olur.
8	Çok kritik ölçekli etki, düzeltme işlemi için duruş gerekliliği vardır ve sistem fonksiyonlarının çok büyük zarar görme durumu vardır.
9	Çok kritik ölçekli etki, sistem tamamen durur ve prosesin çökmesine neden olur.
10	En üst düzey etki, sistem ekipmanlama ve personele zarar gelmesi durumu vardır.
Saptama	
1	Hata, direkt ölçümlerle tanımlanabilir.
2	Hata, günlük kontrollerle tanımlanabilir.
3	Hata, anormal sesler ve indirekt ölçümlerle tanımlanabilir.



### 3. UYGULAMALAR

Elde edilen hata verileri, HTEA Tablosunda, RÖS değerleri ve belirlenen risk bileşenleriyle beraber detaylı olarak ele alınmıştır. HTEA analiz verileri, Tablo 2'de görülebilmektedir. HTEA sonuçlarının RÖS değerleri ışığında değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlara göre, eksen hareketlerinde meydana gelen yüksek titreşim ve sesli çalışma hatası en yüksek risk seviyesine neden olan fonksiyonel hatadır. Bu hatanın RÖS bileşenleri incelendiğinde, yüksek şiddet değerinin yanında, olasılık ve saptama değerlerinin de yüksek seviyede olduğu gözle çarpmaktadır. Mekanik bazlı nedenler içeren bu hatanın oluşmasını engelleyici veya risk seviyesinin minimize edilmesini sağlayacak bakım faaliyetlerinin HTEA sonuçlarına göre planlanması, ekipman servis ömrünün güvenilirlik merkezli olarak iyileştirilmesine katkı sağlayacaktır.

### 4. SONUÇLAR

Endüstriyel işletmelerin yenilikçi ve sürekli gelişen ekipmanlarından olan mekatronik otomasyon sistemi ekipmanlarının



Tablo 2. Paletleme Robotu HTEA Tablosu

Fonksiyon	Fonksiyonel Hata	Hata Modu	Hata Nedeni	Hata Etkisi	Ş	O	S	RÖS
Malzeme Taşıma ve İstifleme	Eksen Hareketlerinin Yüksek Titreşim ve Sesli Gerçekleşmesi	1. Eksen konstrüksiyonu ve komponentlerinden kaynaklı hatalar	Robot konsolu bağlantılarında gevşeme	Robotun servis ömrünün kısalması, yüksek maliyetli uzun duruşların oluşması	9	8	5	360
			Yanlış robot konsolu tasarımı					
			Servo motor ve eksen dişlilerinde boşluk oluşması					
			Lineer yataklamalarda boşluk oluşması					
			Lineer yataklamalarda aşınma oluşması					
			Servo motor konsolu vidalı bağlantılarında gevşeme veya deformasyon					
			Şok emicilerin görev yapmaması veya deforme olması					
	Eksenlerde Kesintili Çalışma	2. Servo Motorlar ve Kablo-lamalarda Kaynaklı Hatalar	Eksen servo sürücüsü arızası	Kararsız ve verimsiz çalışma, uzun ve maliyetli duruşların oluşması	9	6	3	162
			Eksen servo motoru arızası					
			Haberleşme kablolarında ve soketlerinde kırılma veya deformasyon					
			Eksen kızaklarında aşınma ve yüksek sürtünme oluşması					
	Parçanın Güvenli Taşınması	3. Gripper Konstrüksiyonu ve Kontrol Elemanlarından Kaynaklı Hatalar	Pnömatik hava bağlantılarında kaçaklar	Kararsız ve verimsiz çalışma, uzun ve maliyetli duruşların oluşması	9	8	3	216
			Sistem hava basıncının düşmesi					
			Pnömatik valflerde mekanik takılma					
			Pnömatik valflerde bobin arızası					
			Pnömatik vantuzlarda diyafram yırtılması					
			Tutucu konstrüksiyonunda deformasyon					
			Pnömatik tutucu kışaklarında deformasyon					
			Sensörler bağlantılarında deformasyon veya gevşeme					
			Sensör kablolarında deformasyon veya gevşeme					
	Hatalı sensör seçimi							

performans durumlarının izlenmesi ve iyileştirilmesi, işletme verimliliğine direkt etkileyen bir faaliyettir. Bilindiği üzere, üretim prosesini gerçekleştiren ekipmanların destek ekipmanları ve son işlem faaliyetlerinde görev yapan otomasyon sistemleri, üretim prosesinin nihai çıktılarının çerçevesini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, güvenilirlik merkezli ekipman takibi ve bakım planlama prosedürlerinin üretilmesinde etkili bir araç olan HTEA yöntemi kullanılmıştır. Ele alınan ekipman ise he-

men her sektör ve işletmede değişik kapasitelerde kullanılan servo kontrollü kartezyen paletleme robotu olmuştur. Tecrübe edilen hata modlarının analiz edilmesi sonucunda, yüksek kritiklik seviyesini oluşturan hata modu ve diğer hata modlarının durumu ortaya çıkarılmıştır. Bu sonuçlar, benzer ekipmanların bulunduğu endüstriyel işletmelerdeki ekipmanların hata analizlerine katkı sağlayabilecek veya kıyas faktörü olarak kullanılabilir.

Tablo 3. Bakım Prosedür ve Periyodları

Bakım Prosedürü	Otonom (Günlük)	Planlı (Yıllık)	Önleyici (3 Ayda Bir)
Sistem Hava Basıncının Kontrolü	x		
Sistem Pnömatik Şartlandırıcısının Fonksiyonel Kontrolü	x		
Lineer Kızakların Gözle Kontrolü ve Temizliği	x		
Lineer Arabaların Gözle Kontrolü ve Temizliği	x		
Hava Kaçaklarının Kontrolü	x		
Hareketli Kablo ve Hortum Taşıyıcıların Fonksiyonel Kontrolü	x		
Vakum Sensörünün Kontrolü ve Testi		x	
Vakum Başlığının ve Griperin Deformasyon Kontrolü		x	
Şase ve Konsol Bağlantılarının Kontrolü		x	
Sensör Braketlerinin ve Bağlantılarının Kontrolü		x	
Sensörlerin Fonksiyonel Kontrolü	x		
Lineer Araba ve Kızakların Yağlanması		x	
Şartlandırıcı Yağ Seviyesinin Kontrolü	x		
Kayış Kasnak Gerginliğinin ve Boşluğunun Kontrolü			x
Servo Motor Parametrelerinin Kontrolü			x
Elektrik Panosu Temizliği ve Sıcaklık Kontrolü			x
Kablo Bağlantılarının Kontrolü		x	
Şok Emicilerin Fonksiyonel Kontrolü	x		

Tablo 3'te ise HTEA sonucunda elde edilen RÖS değerleri ve değerler elde edilmesinde rol oynayan hata nedenleri incelendiğinde, önerilebilecek bakım prosedürleri ve uygulama periyodları tablosu görülebilmektedir.

Bu tabloda yer alan otonom bakım prosedürü, üretim personeli tarafından günlük olarak yapılacak görsel kontrol, yağlama ve düzeltme faaliyetlerini içerir. Planlı bakım prosedürü, bakım personeli tarafından yapılacak detaylı yağlama, deformasyon ve aşınma analizi, parça değişimi faaliyetlerini içerir. Önleyici bakım prosedürü ise üretime devam eden makinada, bakım ve üretim personeli tarafından uygulanacak kondisyon izleme faaliyetlerini içermektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir ( FBA-2015-3747).

## KAYNAKÇA

1. Çengelci, B., Çimen, H. 2005. "Endüstriyel Robotlar," Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, sayı 2, S. 69-78.

2. Çallı, İ., Alemdaroğlu, U., Özer, Ö. 2004. "Mekatronik Bilimi Temelleri ve Uygulama Alanları," SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, cilt 8, sayı 1.
3. Berkay, A., Şeker, M., Esin, E. 2003. "Pnömatik Robot Uygulaması," Elektrik Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, 18-21 Eylül 2003, EMO, İstanbul.
4. Bakır, A., Güney, Ö., Kuncan, M., Ertunç, H. 2012. "3 Eksenli Robot Mekanizmasına Monte Edilmiş Bir Kamera Varsitesiyle Farklı Rotasyon ve Boyutlardaki Geometrik Cisimlerin Tanımlanarak Vakum Tutucu ile Ayrılması," Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 11-13 Ekim 2012, Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Niğde.
5. Şimşir, U. 2009. "Cutting Methods and Cartesian Robots," Journal of Naval Science and Engineering, vol. 5, no. 2, p. 35-42.
6. Türedi, A. T., Yavuz, H., D., Bircan, A. 2014. "Paletli Hidrolik Pompalarda Kondisyon İzleme ve Performans İyileştirme," Uluslararası Katılımlı VII. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi, 22-25 Ekim 2014, MMO, İstanbul.
7. Türedi, A. T. 2013. "Reliability Analysis of Heavy Duty Hydraulic Driven Machinery," Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana.