

Makalenin Geliş Tarihi : 21.07.2008
Makalenin Kabul Tarihi : 28.01.2009

MADEN EKİPMANLARININ ÖNCELİKLİ ARIZA TIPLERİNİN BELİRLENMESİNDE GRAFİKSEL YAKLAŞIM

Sermin ELEVLİ¹, Yakub Han YILMAZ²

ÖZET : Belirli bir zaman süreci içerisinde herhangi bir işletmenin işlerliliğinin devamı, her şeyden önce sistemi oluşturan ekipmanların arızalanmadan çalışmasına ve bir arıza durumunda da mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde çalışır hale getirilmesine bağlıdır. Bu nedenle ekipman arıza tiplerinin süre, sıklık ve maliyet gibi parametreler esas alınmak suretiyle önceliklendirilmesi ve faaliyetlerin bu bilgi ışığında planlanması bakım departmanlarının en temel işlerinden biri haline gelmiştir. Bu çalışmada bir maden işletmesinde faaliyet gösteren kamyon filosunun öncelikli arıza tiplerinin belirlenmesi amacıyla Pareto Diyagramı ve Logaritmik Serpme Diyagramından yararlanılmıştır. Her iki yaklaşım neticesinde de aynı sonuçlara ulaşılmasına rağmen tek bir kriter yerine iki kriter altında değerlendirme yapılmasına olanak tanıyan Logaritmik Serpme Diyagramının üstünlüğü ön plana çıkmıştır. Çalışmada ayrıca tespit edilen arıza tiplerinin kök nedenlerinin belirlenmesine dönük Ağaç Diyagramları geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Pareto Diyagramı, Logaritmik Serpme Diyagramı, Ağaç Diyagramı.

GRAPHICAL APPROACH IN DETERMINING PRIOR FAILURE TYPES OF MINING EQUIPMENTS

ABSTRACT : In a certain period of time, the continuity of any operation formed by different types of equipment depends on keeping equipment running without failure and activating them as soon as possible when failed. On this account, prioritization of equipment failure types on the base of parameters such as time, frequency and cost, and planning activities in the light of this information has become one of the essential works of maintenance departments. In this study, Pareto Diagram and Logarithmic Scatterplot(LS) have been used for determining the types of prior failures of a truck fleet used in a mining company. Despite reaching the same results by using two approaches, the advantage of Logarithmic Scatterplot that makes evaluation possible with one criterion instead of two came to scene. In addition, tree diagrams have been developed to determine the root causes of failure types that were found by LS.

Keywords: Pareto Diagram, Logarithmic Scatterplot(Scatterdiagram), Tree Diagram.

^{1,2} Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 43100, KÜTAHYA

I. GİRİŞ

Ekipmanların yoğun bir şekilde kullanıldığı madencilik sektöründe işletme maliyetlerinin %30 ila %60'ını ekipman bakım maliyetleri oluşturmaktadır [1]. Bu nedenle sektörün bakım faaliyetlerinin planlanmasına ve maliyet azaltımına olan ilgisi artarak devam etmektedir.

Madencilikte üretim büyük oranda birbirleriyle seri bağlı bir şekilde çalışan ve yüksek yatırım bedelli ekipmanlara bağlı olduğundan, yöneticiler özellikle ekipmanların hazır bulunma (availability) oranının artırılmasına odaklanmaktadır. Bir ekipmanın gerektiği zaman memnun edici düzeyde çalışma olasılığını ifade eden hazır bulunma oranını artırmak için arıza sayılarının ve/veya tamir için gerekli sürenin azaltılması gerekmektedir. Her iki seçenekte bir yandan bakım maliyetlerinin azalmasına diğer yandan üretim kaybından kaynaklanan maliyetin azalmasına yol açacaktır.

Arıza sayılarının ve tamir için gerekli sürenin azaltılması güvenilirlik (reliability) ve bakım kolaylığı (maintainability) analizi çalışmalarını gerektirmektedir. Bu kapsamda bazı örnek uygulamalar Kumar [2], Kumar ve Klefsjo [3], Kumar ve Vagenas [4], Paraszcak ve Perreault [5], Vagenas ve Diğ. [6], Samanta ve Diğ. [7], Hall ve Daneshmend [8], Barabady [9], Barabady ve Kumar [10] ve Elevli ve Diğ. [11] tarafından verilmiştir. Bu çalışmalar arıza ve tamir verilerinin çeşitli istatistiksel dağılımlara uygunluğunun araştırılması ve buna bağlı olarak bir sonraki arıza zamanının tahmini gibi çeşitli hesaplamaları içermektedir. Son yıllarda yukarıda değinilen çalışmalara ek olarak öncelikli olarak ele alınması gereken kritik ekipman, alt sistem veya arıza tiplerinin arıza sayısı ve tamir süresi bazında tespit edilmesine dönük çalışmalara da ağırlık verilmeye başlanmıştır. Bu kapsamda bazı örnek uygulamalar ise Hall ve Diğ. [1], Knights [12], Sorin ve Gabriel [13] ve Elevli ve Diğ. [11] tarafından verilmiştir.

Bu çalışmada bir açık ocak maden işletmesinde faaliyet gösteren bir kamyon filosunun hazır bulunma oranını artırma amacına dönük olarak öncelikli olarak ele alınması gereken arıza türleri belirlenmeye çalışılacaktır. Bu kapsamda arıza sayısı ve tamir süresini ayrı ayrı ele alan Pareto Grafiği ve birlikte ele alan Logaritmik Serpme Diyagramından yararlanılacaktır. Ayrıca öncelikli arıza tiplerinin kök nedenlerini bulmak için ağaç diyagramları geliştirilecektir. Bu çalışmalar ışığında problemlerin belirlenmesi ve çözülmesine yönelik olarak bilgi ve veri üretimi sağlanarak, işletmenin bakım yöneticilerinin etkili bir bakım planlaması yapmalarına olanak sağlanması hedeflenmiştir.

II. METOT

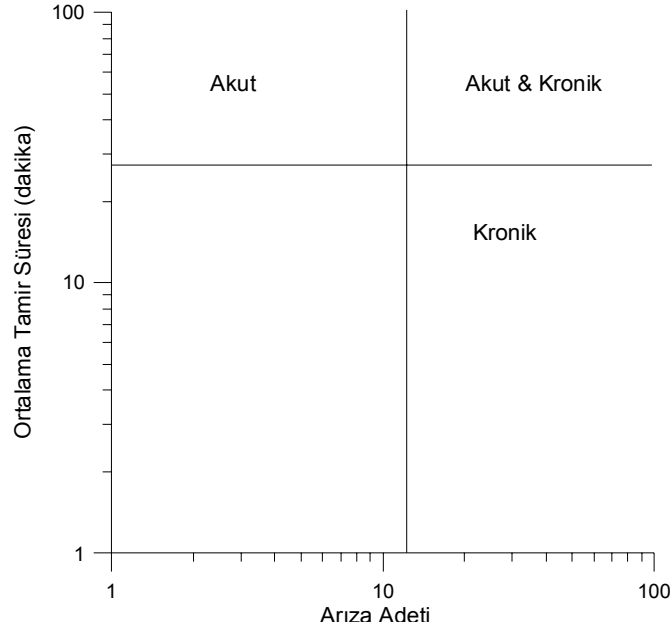
II.1. Pareto Analizi

İtalyan ekonomist Vilfredo Pareto, 1897 yılında gelir dağılımının eşitsizliğine dönük olarak gelirin çok büyük bir diliminin (%80), küçük bir azınlık (%20) tarafından sahiplenildiğine dikkat çekmiştir. Bu yaklaşımı Juran, kalite kontrol alanına uygulayarak problemlerin sınıflandırılmasında “hayati azınlık” ve “önemsiz çoğunluk” kavramlarını getirmiştir. “Hayati azınlık” (vital few), sayıca az, fakat önemce büyük etmenlerden oluşur. “Önemsiz çoğunluk” (trivial many) ise sayıca çok olmalarına rağmen etkileri fazla olmayan faktörleri barındırır [14]. Juran, hayatın geneline uygulanabilecek bu kurala “*Pareto Prensipleri*” adını vermiştir. Bu prensibe göre uygunsuzlukların çok büyük bölümü belli birkaç sebebe dayanmakta ve bu sebeplerin tespiti, sorunların giderilmesinde kilit rol oynamaktadır.

Pareto diyagramı azalan bir sırada düzenlenmiş ve frekansları gösteren bir çubuk diyagram olup, büyük kayıplara neden olan az sayıdaki sorunun belirlenmesine olanak sağlar. Olayların sıklık sırasına göre sıralanması, hangi sorunun daha önce ele alınması gerektiği hususunda konu üzerinde çalışanlara yardımcı olur. Bakım mühendisliği alanındaki uygulamalarda, bakım maliyeti ya da duruş süresinin önemli bir bölümünden sorumlu olan arıza türlerinin tespit edilmesinde kullanılır. Bu şekilde bakım departmanı elemanlarına yol göstererek emeklerinin en verimli sahada yoğunlaştırılmasına ve isabetli kararlar verilerek gerekli tedbirlerin alınmasına olanak sağlar [12,15].

II.2. Logaritmik Serpme Diyagramı

Logaritmik Serpme (Serpilme) Diyagramı (LSD), arızaları sınıflandırırken iki kriter altında değerlendirme yapılmasına olanak sağlayan grafikselle bir araçtır. Temel olarak her bir arıza türüyle ilgili arıza sayılarına karşılık, ortalama duruş sürelerinin gösterildiği logaritmik ölçekli bir x-y diyagramıdır [12,15]. LSD’ de grafik üzerine birer nokta olarak işaretlenen her bir arıza türünün iki özelliğe (adet- süre) ve birbirine göre ilişkileri tespit edilebilmektedir (Şekil 1). Bu şekilde LSD aynı etkiye sahip farklı arıza gruplarının ön plana çıkmasını sağlayarak, hangi arıza veya arızalara odaklanılması gerektiği konusunda oldukça yararlı bilgiler sunar.



Şekil 1. Logaritmik serpmeye diyagramı.

LSD, x- eksenini kesen ortalama arıza adedi (OAA) ve y- eksenini kesen ortalama tamir süresi (OTS) sınırları (çizgileri) ile Akut&Kronik, Akut ve Kronik olmak üzere üç bölgeye ayrılır (Şekil 1). Söz konusu sınır değerler (1) ve (2) nolu eşitlikler kullanılmak suretiyle hesaplanmaktadır..

$$Limit_{OAA} = \frac{N}{m} = \frac{\sum n_i}{m} \quad (1)$$

$$Limit_{OTS} = \frac{T}{N} = \frac{\sum t_i}{\sum n_i} \quad (2)$$

Burada;

m = Arıza Türü Sayısı,

n_i = i . Arıza Türünün Arıza Sayısı ($i=1,2,\dots,m$),

$N = \sum n_i \Rightarrow N$ = Toplam Arıza Sayısı,

t_i = i . Arıza Türünün Toplam Tamir Süresi ($i=1,2,\dots,m$) ve

$T = \sum t_i \Rightarrow T$ = Toplam Tamir Süresi'ni

ifade etmektedir.

Tamiri uzun zaman alan arıza tipleri “Akut Problemler”, sıklıkla tekrarlayan arıza tipleri ise “Kronik Problemler” olarak adlandırılmaktadır. Ekipman hazır bulunma oranını arttırmak için öncelikle tamiri uzun zaman alan ve sık tekrarlayan arıza tipi/tiplerine odaklanılması gereklidir. Bu nedenle Şekil 1’deki grafikte Akut&Kronik bölgesine düşen arıza tipleri öncelikli olarak ele alınmalıdır. Daha sonra, akut bir arızanın tekrarının önlenmesi kronik bir arızanın tekrarının önlenmesine göre daha büyük bir fayda sağlayacağı için Akut bölgesine düşen arıza tipleri ele alınmalıdır.

II.3. Ağaç Diyagramı

Herhangi bir problemin kök nedenlerinin anlaşılması, muhtemel tekrarlarının önlenmesi açısından oldukça önemlidir [16]. Ağaç diyagramı, bir problemi çözmek için birbirini takip eden tüm aşamaları ve bu aşamalarda etkisi olduğu düşünülen tüm sebepleri hiyerarşik bir düzende dikkate alarak problemin kök nedenlerinin bulunmasını sağlayan bir yönetim aracıdır.

Bakım faaliyetlerinde ağaç diyagramı, odaklanılacak arıza tipi/tipleri tespit edildikten sonra kök nedenlere ulaşana kadar “Bu arıza neden oluştu?” sorusunun tekrar tekrar sorulması suretiyle oluşturulur. Her bir kademede verilen cevaplar ağaç diyagramının bir seviyesini oluşturur. Özellikle kritik arıza tiplerine dönük olarak gerçekleştirilecek ağaç diyagramları arıza oluştuğu zaman arıza nedeninin tespit edilmesi aşamasında kaybedilen zamandan önemli ölçüde tasarruf edilmesine yol açacaktır.

III. ANALİZ

III.1. Arıza Verileri

Bu çalışmada bir maden işletmesi bünyesinde faaliyet gösteren 30 tonluk 15 adet kamyon dan oluşan bir filonun 2006–2008 yıllarına ait arıza verileri kullanılmıştır. Arızalar; motor arızaları (M), diferansiyel arızaları (D) ve şanzıman arızaları (T) olmak üzere 3 ana grup altında incelenmiştir. Her bir arıza grubuyla ilgili toplanan veriler sırasıyla Tablo 1, 2 ve 3’te verilmiştir.

Çizelge 1. 2006–2008 arasında meydana gelen motor arızalarına ait veriler

Arıza Kodu	Arıza Adı	Arıza Adeti	Toplam Tamir Süresi (dakika)
M1	Motor ana parça arızası	18	54000
M2	Gaz pedalı arızası	16	720
M3	Mazot pompası arızası	27	15570
M4	Gergi polisi arızası	7	450
M5	Piston arızası	19	228
M6	Radyatör arızaları	26	31980
M7	Subap arızası	10	6000
M8	Devirdaim arızası	9	1350
M9	Kulak/şaft civata arızası	5	450
M10	Çatlak eksoz/eksik eksoz contası	16	2400
M11	Silindirik kapağın enjektör iticisini kırması	3	450
M12	Aşırı sarsıntı	3	765
TOPLAM		159	114363

Çizelge 2. 2006–2008 arasında meydana gelen diferansiyel arızalarına ait veriler

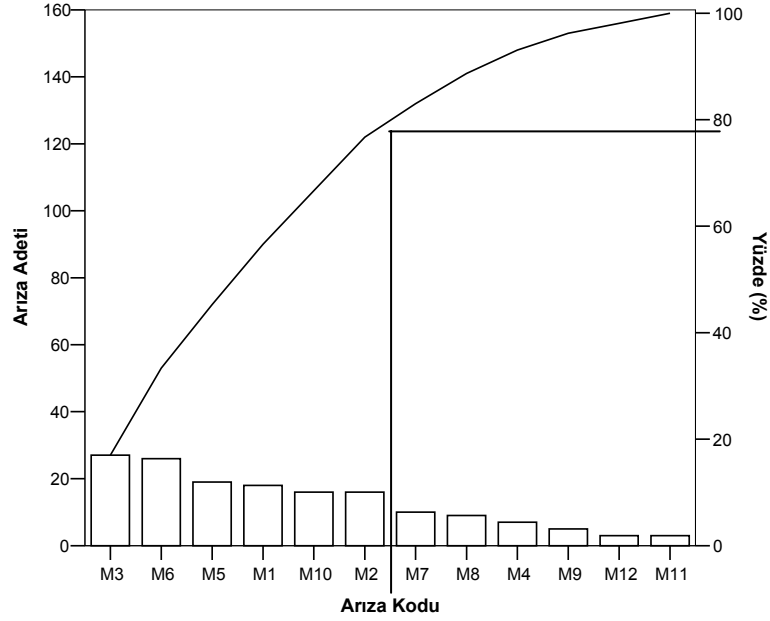
Arıza Kodu	Arıza Adı	Arıza Adeti	Toplam Tamir Süresi (dakika)
D1	Frenin merkezden hava kaçırması	11	412,5
D2	Diferansiyelin rulman dağıtması	28	93600
D3	Kompresör arızası	14	8400
D4	Rot kırma	5	975
D5	Hava kaçakları	13	1365
D6	Su kaçakları	15	5550
D7	Diferansiyelin dişli kutusunu kesmesi	18	52800
D8	Direksiyon yönlendiricisi arızası	7	3360
TOPLAM		111	166462,5

Çizelge 3. 2006–2008 arasında meydana gelen şanzıman arızalarına ait veriler

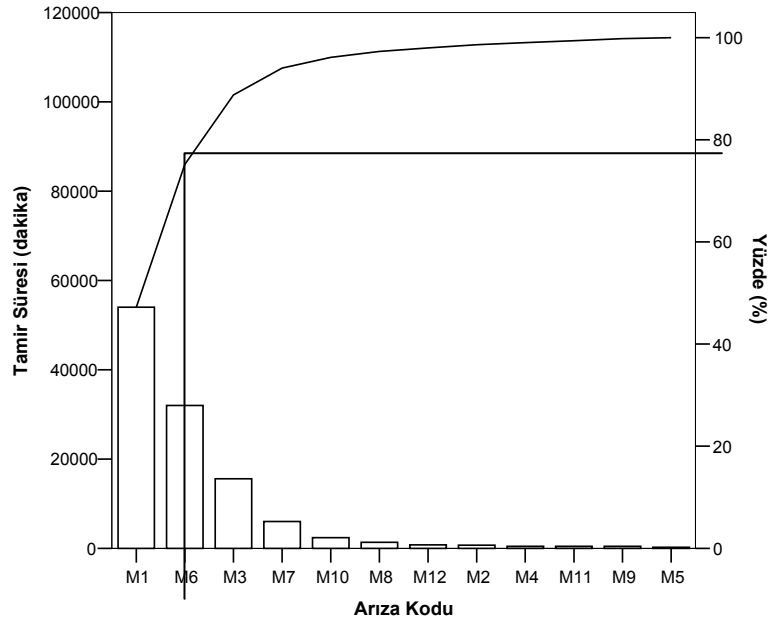
Arıza Kodu	Arıza Adı	Arıza Adeti	Toplam Tamir Süresi (dakika)
T1	Yağ kaçağı	30	15010
T2	Basınç valfi arızası	8	1000
T3	Tork konventörünün devreye girmemesi	5	1212,5
T4	Hidrolik pompa arızası	13	3315
T5	Dişli rulman boşluğu	6	6120
T6	Şanzıman filtresi arızası	5	35
T7	Fren arızası	60	30150
T8	Vites arızası	9	9180
T9	Direksiyon takımı arızası	8	1940
TOPLAM		144	67962,5

III.2. Pareto Analizi

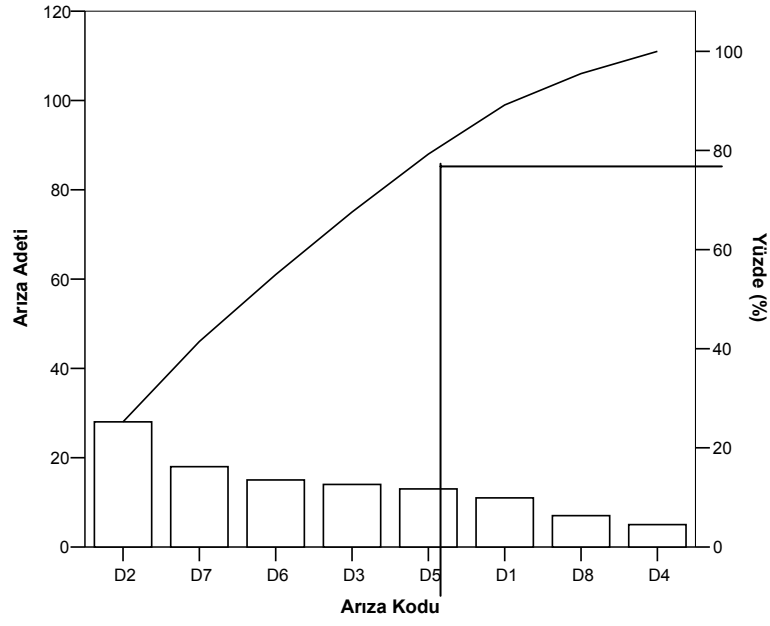
Her bir arıza grubu için arıza adedi ve toplam tamir süresi bazında geliştirilen Pareto diyagramları Şekil 2-7' de verilmektedir.



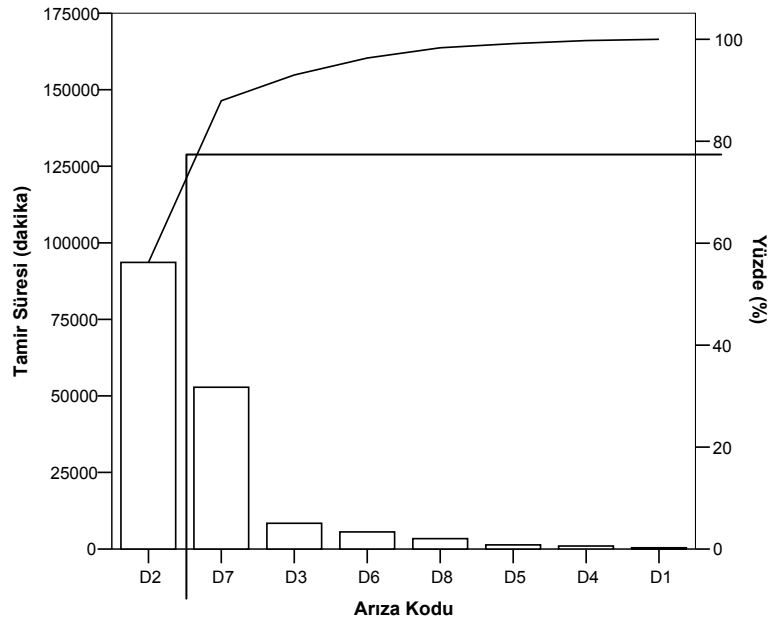
Şekil 2. Motor arızaları grubunda arıza frekansları için pareto diyagramı.



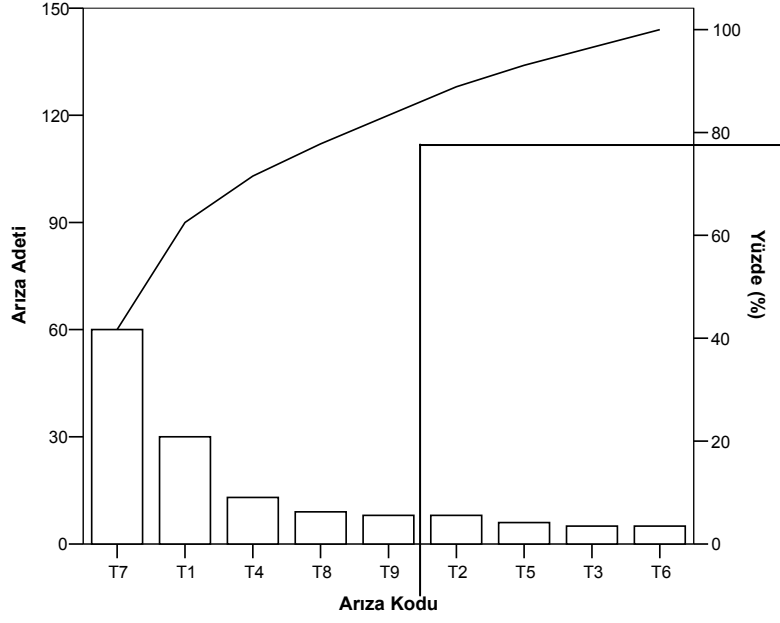
Şekil 3. Motor arızaları grubunda arızaların tamir süresi için pareto diyagramı.



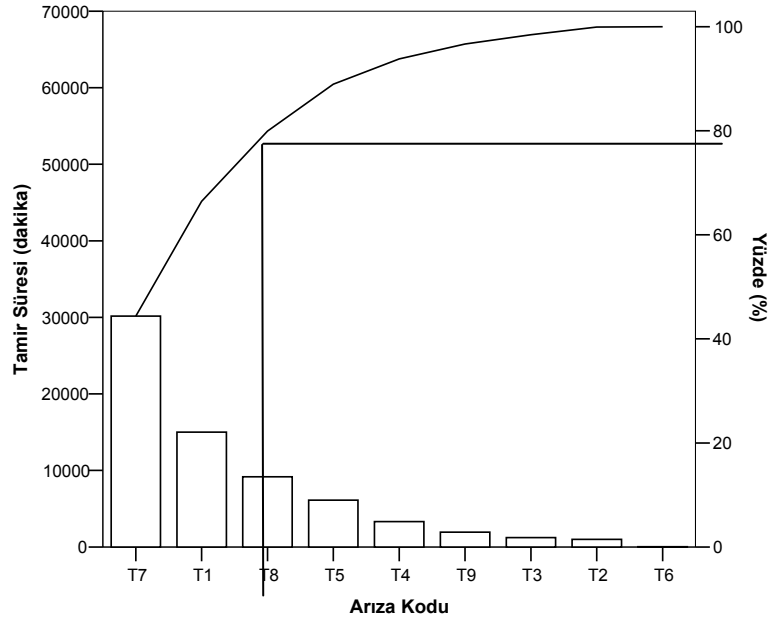
Şekil 4. Diferansiyel arızaları grubunda arıza frekansları için pareto diyagramı.



Şekil 5. Diferansiyel arızaları grubunda arızaların tamir süresi için pareto diyagramı.



Şekil 6. Şanzıman arızaları grubunda arıza frekansları için pareto diyagramı.



Şekil 7. Şanzıman arızaları grubunda arızaların tamir süresi için pareto diyagramı.

Oluşturulan pareto diyagramlarından tamir süresi ve arıza adedine göre 80/20 kuralı gereği tespit edilen öncelikli hata türleri, her bir ana grup temelinde Çizelge 4’ de sıralanmıştır.

Çizelge 4. Her bir ana grup için öncelikli arızalar

Ana Grup	Arıza Adedi	Tamir Süresi
Motor	M3, M6, M5, M1, M10, M2	M1, M6
Diferansiyel	D2, D7, D6, D3, D5	D2, D7
Şanzıman	T7, T1, T4, T8	T7, T1, T8

Tamir süresine göre geliştirilen Pareto diyagramları “Akut Problemler” olarak adlandırılan tamiri uzun zaman alan öncelikli arıza tiplerini tespit etmiştir. Örneğin motor ana grubunda toplam tamir süresinin %80’ ininden M1 ve M6 arıza tiplerinin sorumlu olduğu bulunmuştur.

Bununla birlikte öncelikli “Kronik Problemleri” tespit etmek üzere hazırlanan arıza adedi esaslı Pareto diyagramları “öncelikli azınlık” konusunda beklenildiği gibi sonuç vermemiştir. Örneğin, motor grubunda toplam 12 arızadan 6’ sı toplam arıza sayısının %80’ ininden sorumlu çıkmıştır. Bu durum arıza sayılarının tamir süresine kıyasla birbirine daha yakın değerler almasından kaynaklanmıştır.

Pareto diyagramlarının özetini veren Tablo 4’ ten anlaşılan diğer bir husus ise akut problemlerin (M1, M6, D2, D7, T7, T1, T8) aynı zamanda kronik problemler de olduğudur. Bununla birlikte M1 ve T8 arıza türlerinin öncelik sırası arıza adedine göre geliştirilen Pareto diyagramlarında yer değiştirmiştir. Örneğin, M1 arızası tamir süresi bazında birinci önceliğe sahipken, arıza adedi bazında dördüncü sırada bulunmaktadır.

Oluşturulan Pareto diyagramlarına göre bakım departmanının öncelikli olarak ele alması gereken arıza tipleri hem akut hem de kronik nitelikli M1, M6, D2, D7, T7, T1 ve T8 kodlu arızalardır. Bunlardan sonra başka akut karakterli arıza bulunmadığından diğer kronik arızalara (M3, M5, M10, M2, D6, D3, D5, T4) yönelmek doğru bir yaklaşım olacaktır.

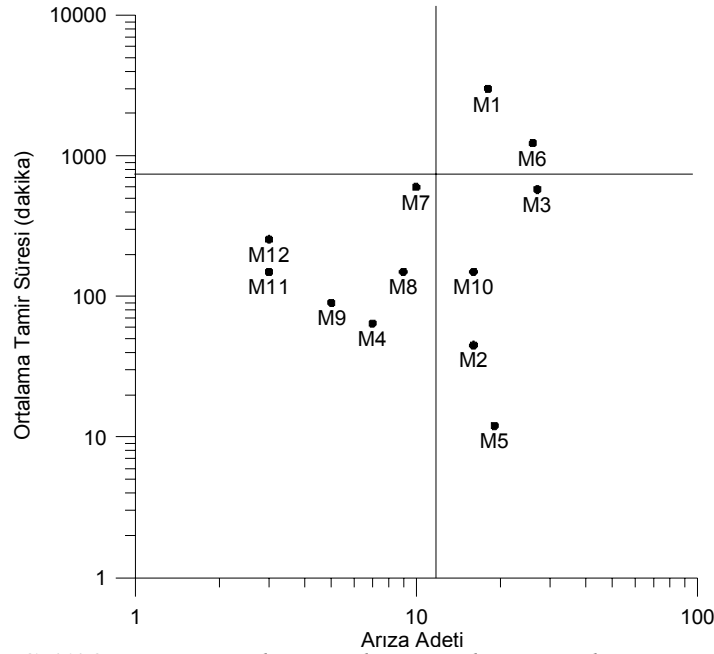
III.3. Logaritmik Serpme Diyagramı

Logaritmik Serpme Diyagramı oluşturulması aşamasında gerekli olan sınır değerler Tablo 1, 2 ve 3' teki ilgili verilerin (1) ve (2) nolu eşitliklerde yerine konulması suretiyle hesaplanmış olup, sonuçlar Tablo 5' te verilmiştir.

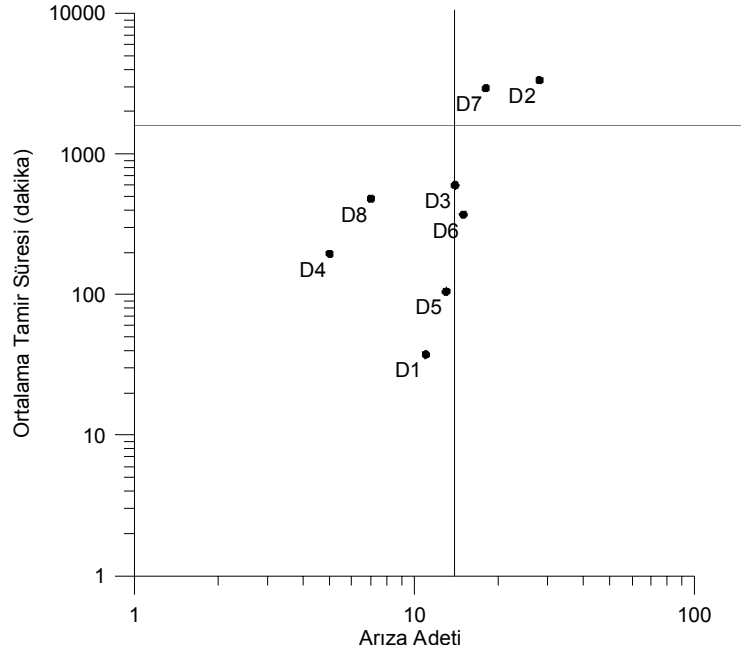
Çizelge 5. LSD sınır değerleri

	Motor Arızaları	Diferansiyel Arızaları	Şanzıman Arızaları
Limit _{OAA}	13,25	13,88	16
Limit _{OTS}	719,26	1499,66	471,96

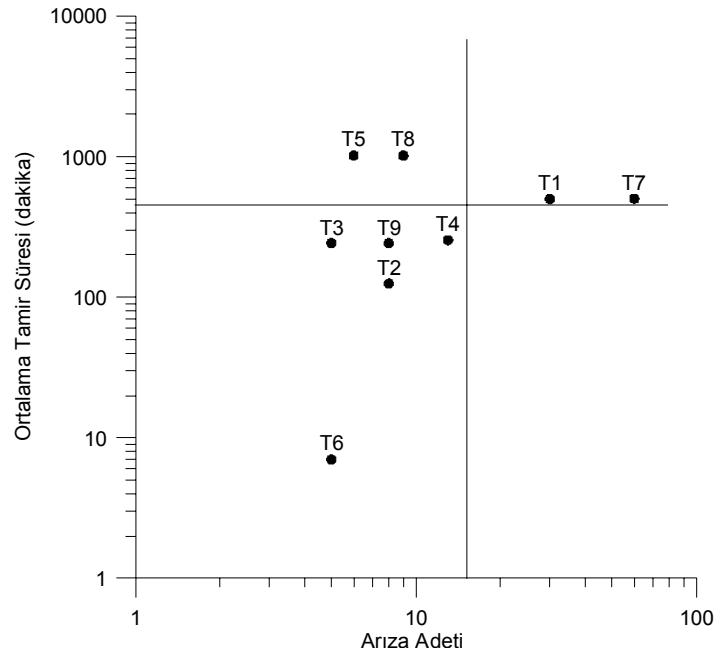
Oluşturulan LS diyagramları sırasıyla Şekil 8, 9 ve 10' da görülmektedir. Akut&Kronik bölgesinde yer alan arıza tipleri şanzıman grubundaki bir arıza tipi (T8) dışında Pareto analizi sonucunda elde edilen bilgilerle tutarlıdır. T8 arızası Akut&Kronik bölgesinde yer almamasına rağmen, yüksek tamir süresi nedeniyle Akut bölgesinde yer almıştır. Bununla birlikte T7 ve T1 arızalarından sonra ele alınması gereken ikinci öncelikli bölgede bulunduğundan sonuçlar açısından önemli bir farklılık meydana gelmemiştir.



Şekil 8. Motor arızaları için logaritmik serpme diyagramı.



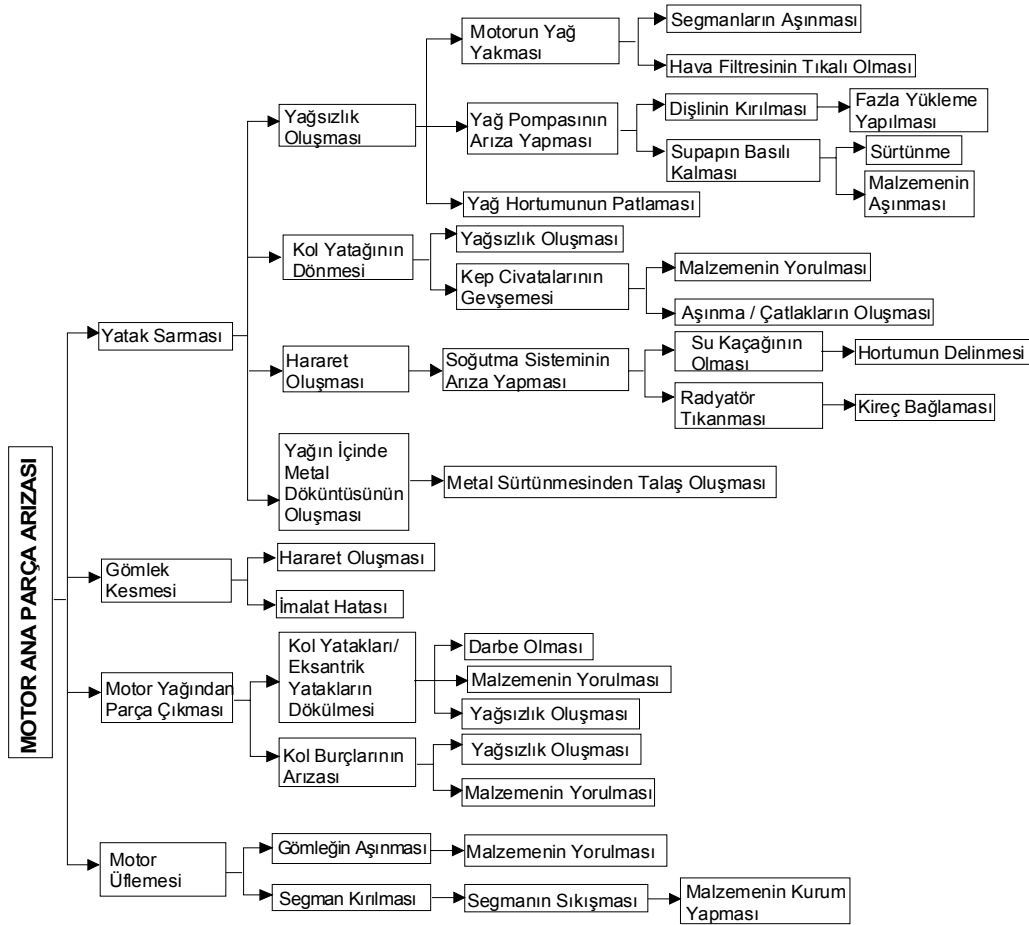
Şekil 9. Diferansiyel arızaları için logaritmik serpme diyagramı.



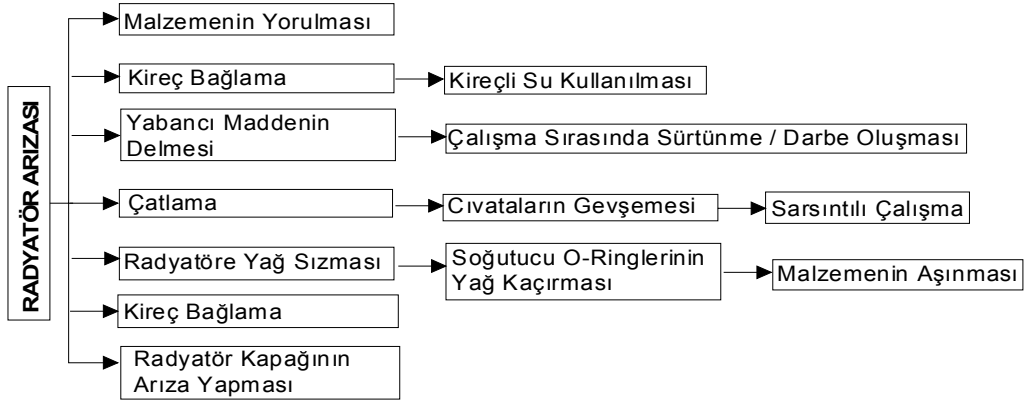
Şekil 10. Şanzıman arızaları için logaritmik serpme diyagramı.

III.4. Ağaç Diyagramı

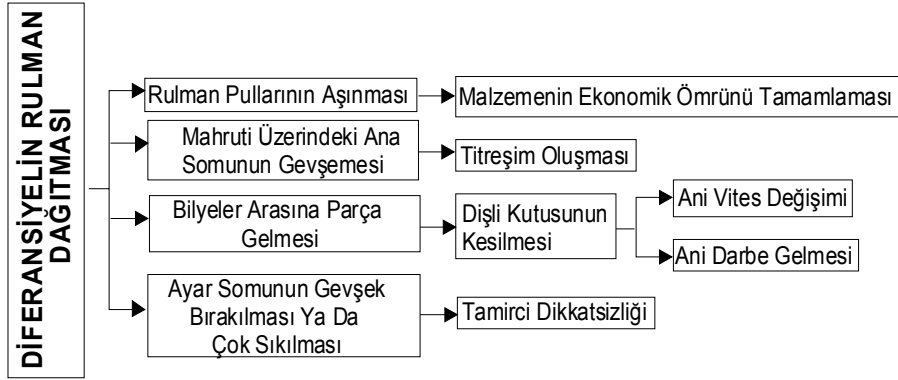
Öncelikli arıza türleri belirlendikten sonra, her bir arıza türünün muhtemel sebeplerinin tespit edilmesine dönük ağaç diyagramları geliştirilmiş olup sırasıyla Şekil 11, 12, 13, 14, 15 ve 16’ da verilmektedir. Ağaç diyagramları oluşturulurken çalışma ve ekipman koşulları ile ilgili bilgileri ve tecrübeli olmaları nedeni ile maden işletmesinin bakım atölyesi çalışanları ve ekipman operatörlerinden yararlanılmıştır. Bu diyagramların geliştirilmesinin ana amacı, arızanın kök nedeninin tespit edilme süresini, dolayısıyla ekipmanı yeniden çalışabilir hale getirmede gerekli olan süreyi kısaltmaktır. Ayrıca bakım kaynaklarının (yedek parça, bakım personeli, bakım aletleri, bakım atölyesinde yer) doğru bir şekilde tespit edilmesine ve zamanında hazır bulunmasına olanak tanınmaktadır.



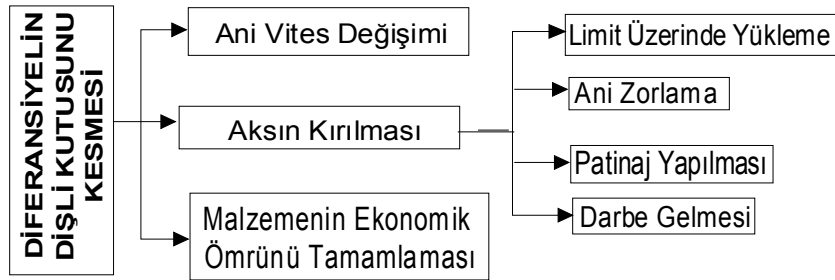
Şekil 11. M1 kodlu motor arızası için ağaç diyagramı.



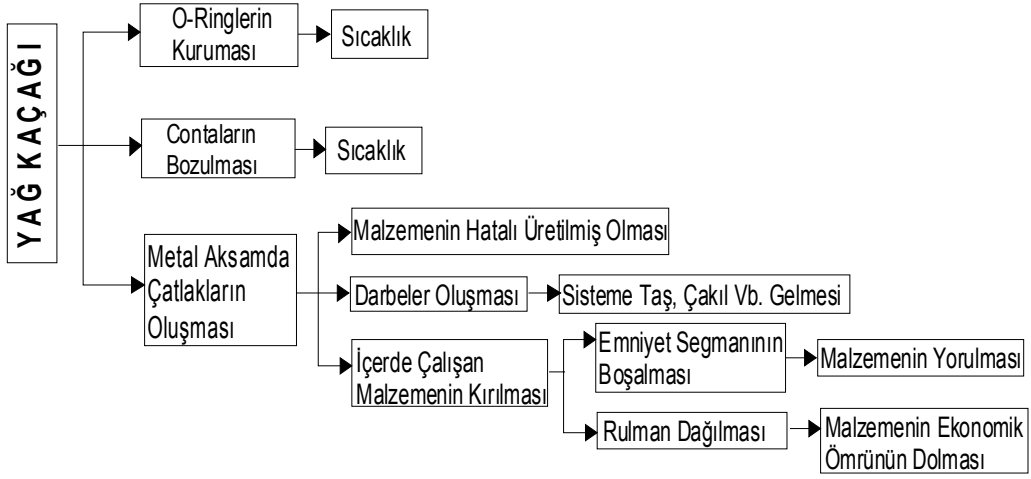
Şekil 12. M6 kodlu motor arızası için geliştirilen ağaç diyagramı.



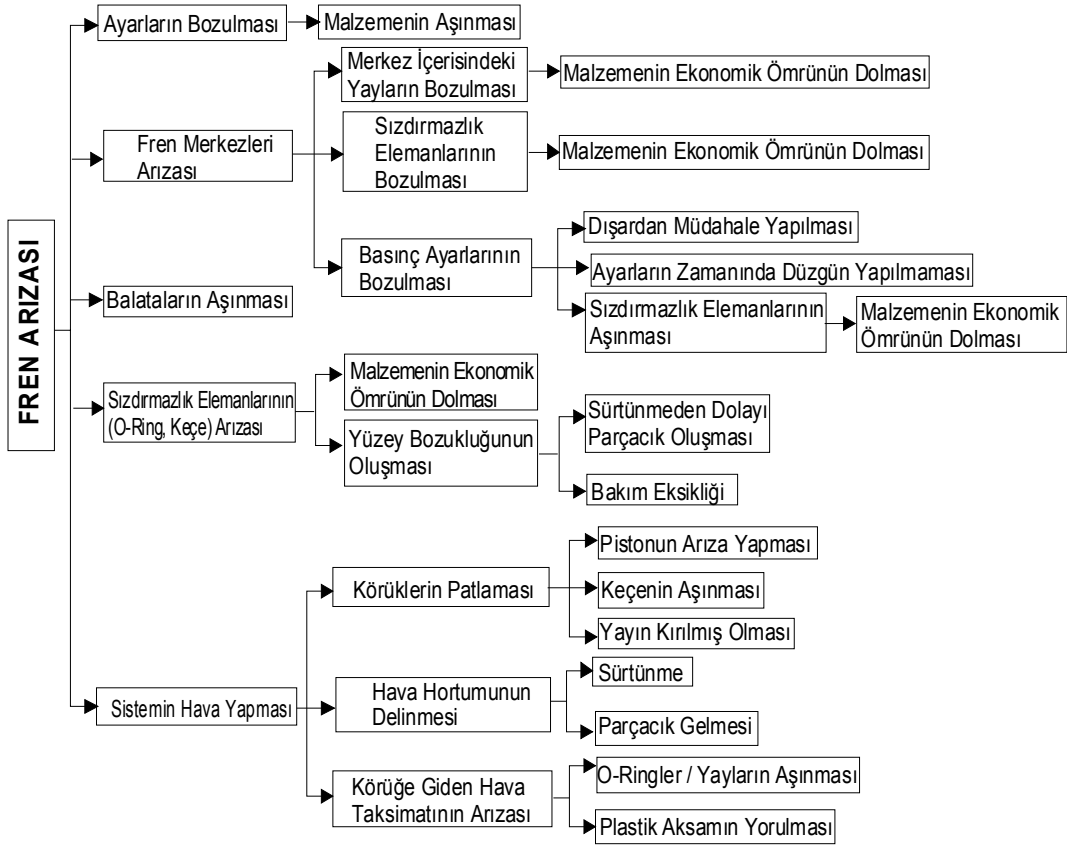
Şekil 13. D2 kodlu diferansiyel arızası için ağaç diyagramı.



Şekil 14. D7 kodlu diferansiyel arızası için ağaç diyagramı.



Şekil 15. T1 kodlu şanzıman arızası için ağaç diyagramı.



Şekil 16. T7 kodlu şanzıman arızası için ağaç diyagramı.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ekipman yoğun bir sektör olan madencilikte, üretim faaliyetlerinin sürekliliğini garanti altına almak, gittikçe artan verimlilik ve maliyet baskıları nedeniyle işletme yöneticilerinin bakım planlamasına olan ilgilerinin daha da artmasına neden olmaktadır. Bu kapsamda öncelikli arıza tiplerinin ve bunların kök nedenlerinin araştırılması, bakım faaliyetlerine yön vermesi nedeni ile kritik görevlerden birisi haline gelmiştir.

Bu çalışmada öncelikli arıza tiplerini belirlemek amacıyla Pareto ve Logaritmik Serpme Diyagramlarından yararlanılmıştır. Özellikle bu uygulamada olduğu gibi birden fazla parametrenin göz önüne alınması gerektiği durumlarda LSD ile daha fazla bilgiye ulaşmanın mümkün olduğu görülmüştür. Ayrıca kalite kontrol uygulamalarında sıkça kullanılan ağaç diyagramının da bakım alanında arızaların kök nedenlerinin araştırılması aşamasında rahatlıkla kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Söz konusu maden işletmesinde faaliyet gösteren kamyonlar ana gruplar bazında ele alındığında, özellikle tamir sürelerinin yüksek olması nedeniyle diferansiyel arızalarından (D2, D7) başlamak üzere sırasıyla motor (M1, M6) ve şanzıman arızalarına (T7, T1, T8) dönük önleyici- iyileştirici faaliyetlere daha fazla ağırlık verilmesinin yararlı olacağı sonucuna varılmıştır. Bu sorunların kök nedenlerini veren ağaç diyagramları değerlendirildiğinde, birçok arızanın kök nedeninde “malzeme ömrünün dolmuş olması” yer aldığından, yenileme analizlerinin yapılmasının bir gereklilik olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca aşınma, tıkanma ve yağsızlık gibi sorunların fazlalığı periyodik bakım uygulamalarının yetersizliğine işaret etmektedir. Bu kapsamda periyodik bakım prosedürlerinin gözden geçirilmesi ve bakım periyotlarının yeniden değerlendirilmesi yararlı olacaktır. Son olarak, tasarım sınırlarının aşılması ve dikkatsizlik nedeniyle oluşan insan faktörüne dayalı sorunların giderilmesine dönük olarak ekipman operatörlerinin ve bakım personelinin eğitilmesi ve bilinçlendirilmesinin önemli katkı sağlayabileceği kanaatine varılmıştır.

V. KAYNAKLAR

- [1] R. A. Hall, P.F. Knights and L.K. Daneshmend, "Pareto Analysis and Condition-Based Maintenance of Underground Mining Equipment", *Trans. IMM Section A: Mining Technology*, Vol. 109, pp. A14-A22, January-April 2000.
- [2] U. Kumar, "Availability Studies of Load-Haul-Dump Machines" In: 21th Apcom Symposium, ed. Weiss A., pp. 323-335, 1989.
- [3] U. Kumar, B. Klefsjo, "Reliability Analysis of Hydraulic Systems of LHD Machines Using the Power Law Process Model. *Reliability Engineering and System Safety*", (35), pp. 217-224, 1992.
- [4] D. Kumar, N. Vagenas, "Performance Evaluation of a Load- Haul- Dump Vehicle", *CIM Bulletin*, pp. 39-42, October:1993.
- [5] J. Paraszcak, J.F. Perreault, "Reliability of Diesel Powered Load- Haul- Dump Machines in an Underground Quebec Mine", *CIM Bulletin*, pp. 123-127, March:1994.
- [6] N. Vagenas, N. Runciman, S.R. Clement, "A Methodology for Maintenance Analysis of Mining Equipment", *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment* (11), pp. 33-40. 1997.
- [7] B. Samanta, B. Sarkar, S.K. Mukherjee, "Reliability Analysis of Shovel Machines Used in an Open Cast Coal Mine", *Mineral Resources Engineering*, Vol.10, No.2, pp. 219-231, 2001.
- [8] R.A. Hall, L.K. Daneshmend, "Reliability and Maintainability Models for Mobile Underground Haulage Equipment", *CIM Bulletin.*, pp.159-165, June/July:2003.
- [9] J. Barabady, "Reliability and Maintainability Analysis of Crushing Plants in Jajarm Bauxite Mine of Iran" In: *Reliability and Maintainability Symposium*, Virginia, pp.109-115, 2005.
- [10] J. Barabady, U. Kumar, "Maintenance Schedule by Using Reliability Analysis: A Case Study at Jajarm Bauxite Mine of Iran" In: 20th World Mining Congress & Expo, 7-11 November, Tehran, 2005.

- [11] S. Eelevli, N. Uzgören and M. Taksuk, "Maintainability Analysis of Mechanical Systems of Electric Cable Shovels" *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol. 67, No. 4, pp. 267-271, 2008.
- [12] P.F. Knights, "Rethinking Pareto Analysis: Maintenance Applications of Logarithmic Scatterplots" *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 7, No. 4, pp. 252-263, 2001.
- [13] M. Sorin and P. Gabriel, "Analyzing the Operation of Rotor Excavators in the E.M.C. Jilt Open Pit Mines", 7th International Multidisciplinary Conference. Romaina. May 17-18, pp. 473-480, 2007.
- [14] B. Akın ve E. Öztürk, "İstatistik Proses Kontrol Tekniklerinin Bilgisayar Ortamında Uygulanması" VII. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu, İstanbul, ss. 1-15, 26-27 Mayıs 2005.
- [15] H. Gurgenci, "Maintenance of Mining Machinery".
<http://www.mech.uq.edu.au/courses/mmme2104/chap11/maintenance.htm>, 2001.
- [16] C.N. Madu, "Strategic Value of Reliability and Maintainability Management", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.22, No.3, pp.317-328, 2005.