

TC
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi

Yıl: 2019
Sayı:28

CİLT I
SOMA

TC
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi

Sahibi:

Dr. Öğr. Üyesi Ayla TEKİN
Yönetim Kurulu Adına
MCBÜ Soma MYO

Editörler:

Prof. Dr. Deniz MAMUREKLİ
Dr. Öğr. Üyesi Ayla TEKİN
Öğr. Gör. Fırat TEKİN

Yayın Kurulu:

Prof. Dr. Deniz MAMUREKLİ
Prof. Dr. Ayşe ÖNDÜRÜCÜ
Prof. Dr. Mete HANÇER
Dr. Öğr. Üyesi Ayla TEKİN
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Berkant SELEK
Öğr. Gör. Fırat TEKİN

Sekreter:

Öğr. Gör. Fatih SUVAYDAN

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma MYO Teknik Bilimler
Dergisi yılda iki sayı olarak yayımlanan ulusal hakemli bir dergidir.**

TC
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi

BU SAYIDAKİ HAKEM KURULU:

Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Prof. Dr. Deniz MAMUREKLİ
Prof. Dr. Hasan ÇALLIOĞLU
Prof. Dr. Mustafa ÖNDER
Prof. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU
Prof. Dr. Ümran ESENDEMİR
Doç. Dr. Ahmet CAN

Dergide yayınlanan tüm makaleler ve ileri sürülen görüşlerde, sorumluluk yazar ve hakemlere aittir.

İletişim Adresi:

Fırat TEKİN
Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Soma Meslek Yüksekokulu, Soma-Manisa /TÜRKİYE
Tel: 0 236 612 00 63
Fax: 0 236 612 20 02
e-mail: somamyo-dergi@cbu.edu.tr
firat.tekin@cbu.edu.tr

TC
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi

İÇİNDEKİLER

1- LİNEER AZALAN SICAKLIK DAĞILIMINA MARUZ BİMATERYAL DİSKLER İÇİN ISIL GERİLME ANALİZİ

Ayşe ÖNDÜRÜCÜ , Hüseyin Fırat KAYIRAN.....1-12

2- GARP LİNYİTLERİ İŞLETMESİNDE SON YILLARDA MEYDANA GELEN İŞ KAZALARININ ANALİZİ

Cem ŞENSÖĞÜT , Özer ÖREN, Yaşar KASAP.....13-19

3- GARP LİNYİTLERİ İŞLETMELERİ AÇIK OCAKLARINDA MAKİNE EKİPMAN VERİMLİLİĞİNİN ANALİZİ

Cem ŞENSÖĞÜT , Mahmut ERGÜN.....20-33

4- BİR MERMER İŞLETMESİNDE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ UYGULAMASI

Levent Sırakaya , Yaşar KASAP34-46

5- MERDANELİ BRİKET PRESLERİNDE GEREKLİ SIKIŞTIRMA KUVVETLERİ

İsmet ÇELİK , M.Alper DEMİRAL47-55

6- Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi Yazım Kuralları.....56-57

LİNEER AZALAN SICAKLIK DAĞILIMINA MARUZ BİMATERYAL DİSKLER İÇİN ISIL GERİLME ANALİZİ

Ayşe ÖNDÜRÜCÜ¹, Hüseyin Fırat KAYIRAN²

ÖZET

Bu çalışmada, iç yüzeyinden dış yüzeyine doğru lineer azalan sıcaklık dağılımına maruz bimateriyal diskler için analitik olarak ısıl gerilme analizi yapılmıştır. İki ayrı bimateriyal disk modeli oluşturulmuştur. Disk-1'de diskin iç malzemesi olarak alüminyum, dış malzemesi olarak titanyum kullanılmıştır. Disk-2'de diskin iç malzemesi olarak yine alüminyum, dış kısmında ise dökme demir kullanılmıştır. Her iki bimateriyal disk için farklı sıcaklık değerleri 20°C, 40°C, 60°C, 80°C ve 100°C ve 200°C kullanılarak çözümler elde edilmiştir. Bimateriyal disklerde oluşan radyal ve teğetsel gerilmelerin sıcaklığın artması ile değişimi incelenmiştir. Ayrıca radyal yer değiştirmeler belirlenmiştir. Yapılan çözüm sonucunda, Disk-1'de meydana gelen teğetsel gerilmelerin, Disk-2'de meydana gelen teğetsel gerilmelere göre daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Bimateriyal Disk, Isıl Gerilme, Lineer sıcaklık dağılımı

ABSTRACT

In this study, thermal stress analysis is performed analytically for the surface discs which are subjected to linear decreasing temperature distribution from the inner surface to the outer surface. Two separate disc models were created. Disc-1 uses aluminum as its inner material and titanium as its external material. In Disc-2, aluminum is used as the inner material of the disc and cast iron is used in the outer part. The solutions were obtained for different temperatures of 20 ° C, 40 ° C, 60 ° C, 80 ° C and 100 ° C and 200 ° C for both bimaterial discs. The radial and tangential stresses occurring in the bimaterial disks were investigated by increasing the temperature. In addition, radial displacements were determined. As a result of the solution, it was observed that tangential stresses in Disk-1 were more than tangential stresses in Disk-2.

Keywords: Bimateriyal disc, Thermal stress, Linear temperature distribution

1. GİRİŞ

Diskler; endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Özellikle uzay mekiği, uçak ve otomobil aksamalarında kullanılan diskler, yüksek hız dişlileri, motor volanları ve yataklarda tercih sebebidirler. Titanyum genellikle gemicilik sektörü, kimya sektörü başta olmak üzere jet motorlarında, roket ısı eşanjörlerinde, pompa valf sistemlerinde yüksek darbe dayanımı, yüksek korozyon direnci istenen durumlarda özellikle uçak gövdesi ve diğer uzay araçları imalatında kullanılmaktadırlar. Son yıllarda uçak motorlarındaki titanyum alaşımlarının

¹ Prof. Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

² Dr., Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu, Mersin İl Koordinatörlüğü, 33110, Mersin

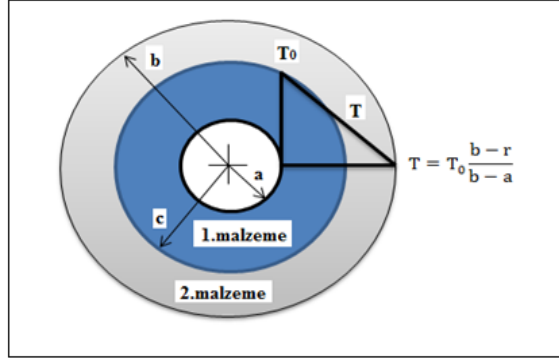
gösterdiği başarının ana sebebinin korozyona karşı gösterdiği dayanımın olduğu belirtilmiştir. Titanyum alaşımlarından oluşan parçaların çevre kirliliği oluşturmaması, deniz altı ve üstü faaliyetlerde kullanımın temini, kükürt bileşimi içeren endüstriyel alanlarda kullanımını artırmıştır [1]. Dökme demir diskler ise ısı yüküne maruz kalan parçalar başta olmak üzere, otomotiv sektöründe otomobil fren sistemlerinde kullanılmaktadırlar.

Disklerle ilgili farklı çalışmalar mevcuttur: Şen vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, parabolik sıcaklık dağılımına maruz termoplastik kompozit bir diskteki ısı gerilmeleri analitik ve nümerik olarak hesaplanarak, analitik ve nümerik çözümün birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülmüştür [2]. Bir başka çalışmada, dönen kompozit bir diskte sıcaklığın lineer olarak azalması ve artması halinde üç farklı sıcaklık profili için diskte meydana gelen teğetsel ve radyal gerilmeler hesaplanmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre düşük sıcaklıklarda tüm disk için teğetsel gerilmelerin, radyal gerilmelerden daha fazla olduğu gözlenmiştir [3]. Yıldırım (2017) tarafından yapılan çalışmada, fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeden yapılmış ve kararlı duruma ulaşmış dikdörtgen profilli dairesel bir kanatçıktaki ısı gerilmeleri incelenmiştir [4]. Çallıoğlu ve Karakaya (2008) tarafından, sıcaklık etkisine maruz tabakalı bir diskteki ısı gerilme analizi analitik ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Sıcaklık değişimiyle birlikte diskte oluşan ısı gerilmelerin de değiştiği gözlenmiştir. Analitik çalışma ile elde edilen radyal ve teğetsel gerilmeler ile sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan çalışma ile karşılaştırılmış ve analitik yöntemle nümerik yöntemin birbirini örtüttüğü tespit edilmiştir [5]. Fonksiyonel derecelendirilmiş sonsuz uzunluktaki silindirlerin zamana bağlı ısı gerilme analizleri yapılmıştır. Poisson oranı ve ısı genleşme katsayısı hariç elastisite modülü, ısı iletkenlik, yoğunluk, özgül ısı gibi bütün malzeme özelliklerinin kuvvet kanununa göre radyal koordinatla birlikte değiştiği kabul edilmiştir. Radyal gerilme, radyal yer değiştirme, sıcaklık ve ısı akısının zamanla değişimleri grafik olarak sunulmuştur [6]. Yapılan başka bir çalışmada, fonksiyonel olarak kademelenen içi boş dairesel plakaların ısı gerilme analizi yapılmıştır. Yapıştırıcı katmanındaki ve bağlantı ara yüzeyde meydana gelen ısı gerilmelerin azaltılmasının gerektiği sonucuna varılmıştır [7]. Farklı ısı akışlarına sahip seramik, metal plaka ve içi boş bir diskte yer değiştirme, şekil değiştirme ve gerilme davranışı üzerinde etkisi araştırılmıştır. Isıl yüklere maruz, yapıştırıcı ile birleştirilmiş, işlevsel kademelenen kenarlarından sabitlenmiş plaka ve disklerde ısı gerilme davranışları incelenmiştir [8]. Dairesel içi boş bir silindirde ısı ve mekanik gerilmeler araştırılmıştır. Malzeme özelliklerinin sıcaklıktan bağımsız olduğu varsayılarak elde edilen gerilme değerleri grafikler halinde sunulmuştur [9]. Başka bir çalışmada, fonksiyonel derecelenmiş metal malzeme üzerine kaplama yapılarak uniform sıcaklık değişimine maruz bariyer kaplamalardaki termal gerilmeler incelenmiştir. [10].

Diskler günümüz teknolojisinde savunma sanayii, havacılık, uçak sanayi, insansız hava araçları, deniz araçları, enerji ve otomotiv sanayii olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Sıcaklık değişimleri makine parçalarında istenmeyen problemler oluşturabilmektedir. Bu durumda kalıcı hasarları önlemek için gerilme analizi büyük önem arz eder. Disk malzemelerinin kullanım alanına göre çalıştıkları sıcaklıklar da farklılık göstermektedir. Bundan ötürü bu çalışmada, sıcaklık etkisine maruz kalan bimateriyal bir diskte oluşan ısı gerilme analizi yapılmıştır. Bimateriyal disklerin iç yüzeyinden dış yüzeyine kadar olan radyal bölgede sıcaklığın lineer olarak azaldığı varsayılmıştır. Bu çalışma için, Disk-1'in iç kısmında alüminyum, dış kısmında titanyum kullanılırken, Disk 2'nin iç kısmında alüminyum, dış kısmında ise dökme demir kullanılarak iki farklı bimateriyal disk modeli oluşturulmuştur. Bu iki bimateriyal disk için analitik çözüm yapılarak elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, lineer azalan sıcaklık dağılımına maruz bimateriyal disklerin ısı gerilme analizi analitik olarak incelenmiştir. Analizler 20°C, 40°C, 60°C, 80°C, 100°C ve 200°C sıcaklık değerleri için yapılmıştır. Şekil 1’de lineer azalan sıcaklık dağılımına maruz bimateriyal bir disk görülmektedir.



Şekil 1. Lineer azalan sıcaklık dağılımına maruz bimateriyal disk

İnce bir disk için $\sigma_z = 0$ genel denge denklemi [11];

$$\frac{r(d\sigma_r)_i}{dr} + (\sigma_r)_i - (\sigma_\theta)_i = 0 \quad (i = 1, 2) \quad (1)$$

şeklinde verilmektedir. (1) nolu denklemde, r herhangi bir noktadaki diskin yarıçapı, σ_r radyal gerilme, σ_θ ise teğetsel gerilmeyi ifade etmektedir. Burada i ; disk malzemesi sayısını göstermektedir. Bu çalışmada, disk iki malzemeden oluştuğu için $i=1, 2$ olarak alınacaktır.

$$\varepsilon_{ri} = \frac{du}{dr} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{\theta i} = \frac{u}{r} \quad (3)$$

Burada u , radyal yöndeki yer değiştirmedir. ε_r , radyal şekil değiştirmeyi, ε_θ teğetsel yöndeki şekil değiştirmeyi ifade eder. Şekil değiştirme-gerilme bağıntısı [11] ;

$$\varepsilon_{ri} = \frac{1}{E_i} (\sigma_{ri} - \nu_i \sigma_{\theta i}) + \alpha_i T_r \quad (4)$$

$$\varepsilon_{\theta i} = \frac{1}{E_i} (\sigma_{\theta i} - \nu_i \sigma_{ri}) + \alpha_i T_r \quad (5)$$

şeklinde verilmektedir. Burada; α termal genleşme katsayısını, ν ise poisson oranını göstermektedir. Radyal ve teğetsel gerilmeler;

$$\sigma_{ri} = \frac{F}{r} \quad (6)$$

$$\sigma_{\theta i} = \frac{dF}{dr} \quad (7)$$

şeklinde (6) ve (7) nolu denklemler, (4) ve (5) nolu denklemlerde uygulanırsa;

$$\varepsilon_{ri} = \frac{1}{E_i} \left(\frac{F}{r} - u_i \frac{dF}{dr} \right) + \alpha_i T_r \quad (8)$$

$$\varepsilon_{\theta i} = \frac{1}{E_i} \left(\frac{dF}{dr} - u_i \frac{F}{r} \right) + \alpha_i T_r \quad (9)$$

$$r^2 \frac{d^2 F}{dr^2} + r \frac{dF}{dr} - F = -r^2 \alpha_i E_i T_r' \quad (10)$$

Genel denklem elde edilir. Özel çözümlerde her iki diskin iç kısımları için $i=1$ Alüminyumu, disklerin dış kısmı için $i=2$ Titanyum ve dökme demiri ifade etmektedir. T_0 ilk sıcaklık değerini, T_r' ise radyal yöndeki herhangi bir noktanın sıcaklık değerini göstermektedir [12]. Şekil 1'de lineer azalan sıcaklık dağılımına maruz diskte görüldüğü üzere iç yüzeyde $T_r = T_0$ ve dış yüzeyde $T_r=0$ °C'dir. Sıcaklığın diskin iç yüzeyinden dış yüzeyine doğru lineer olarak azalması durumunda [10] nolu denklemde verilen bağıntı kullanılmıştır.

$$T_r = T_0 \frac{b-r}{b-a} \quad (11)$$

$$T_r' = \frac{dT}{dr} = -\frac{T_0}{b-a} \quad (12)$$

Isıl gerilme analizi için denklem (11)'de T_r' yerine koyulursa diferansiyel denklem;

$$r^2 \frac{d^2 F}{dr^2} + r \frac{dF}{dr} - F = -r^2 \alpha_i E_i \frac{-T_0}{(b-a)} \quad (13)$$

olarak elde edilir. Gerilme fonksiyonu ise,

$$F = C_1 r^1 + C_2 r^{-1} + A_i r^2 \quad (14)$$

şeklinde elde edilir.

$$\sigma_r = C_1 + C_2 r^{-2} + A_i r = \frac{F}{r} \quad (15)$$

$$\sigma_{\theta} = C_1 - C_2 r^{-2} + 2A_i r = \frac{dF}{dr} \quad (16)$$

Diskler için sınır şartları $r=a$ olması durumunda $\sigma_r = 0$, $r=b$ olması durumunda $\sigma_r = 0$ olarak verilmiştir. Bu sınır koşulları kullanılarak son terim A_i ile C_1 ve C_2 integrasyon sabitleri aşağıdaki şekilde bulunur:

$$A_i = \frac{E_i \alpha_i T_0}{3(b-a)} \quad (17)$$

$$C_1 = -\frac{A_i(a^2 + ab + b^2)}{(a + b)} \quad (18)$$

$$C_2 = \frac{A_i a^2 b^2}{(a + b)} \quad (19)$$

U_r radyal yer değiştirme [8] nolu denklemden elde edilmiştir:

$$(U_r)_i = \frac{(C_1)r(1 - \nu_i)}{E_i} - \frac{(C_2)r(1 - \nu_i)}{r} + A_i r^3(3 - \nu_i) + \alpha_i r T \quad (20)$$

3. BULGULAR

3.1. Isıl Gerilme Analiz Sonuçları

Bu çalışmada; iki farklı bimateriyal disk modeli oluşturularak, radyal yönde lineer azalan sıcaklık dağılımı uygulanması sonucu oluşan ısıl gerilmeler incelenmiştir. Bimateriyal diskler iki farklı malzemeden oluşmaktadır. Disk-1'de iç kısım alüminyum, dış kısım titanyum malzeme olarak seçilmiştir. Disk-2'de ise iç kısım yine alüminyum, dış kısım dökme demirden oluşmaktadır. Bimateriyal disklerin malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [13-14].

Tablo 1. Bimateriyal diskleri oluşturan malzemeler [13-14]

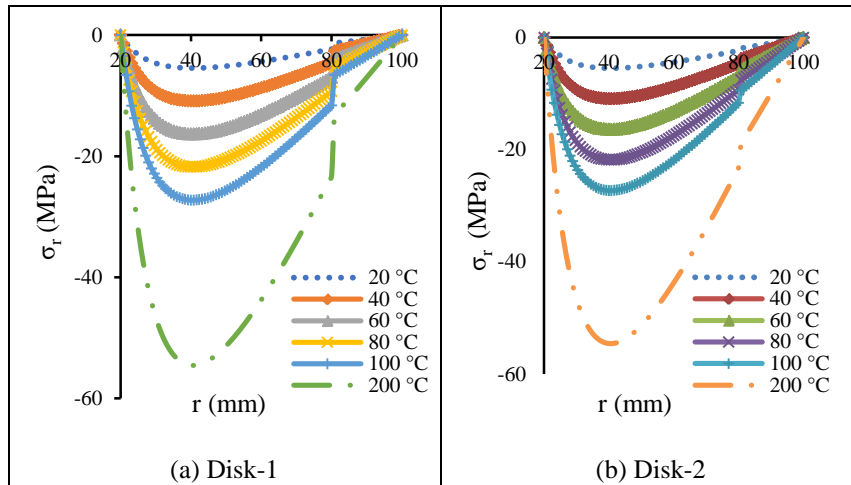
	Bimateriyal Disk Malzemeleri		
	Malzeme 1 (20mm-80 mm)	Malzeme 2 (80mm-100 mm)	
	Alüminyum	Titanyum	Dökme demir
E (GPa)	70	110	120
α (1/°C)	22×10^{-6}	$8,6 \times 10^{-6}$	$10,8 \times 10^{-6}$
ν	0,33	0,34	0,26

Elastisite modülünün sıcaklık ile değişmediği durum için Disk-1 ve Disk-2'de elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

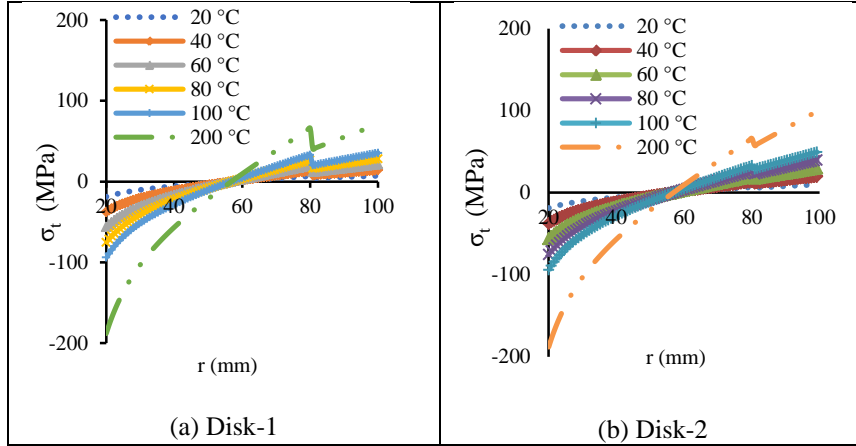
Tablo 2 Elastisite modülünün sıcaklıkla değişmediği durumda meydana gelen gerilmeler

Sıcaklık (°C)	Diskin radyal yüzeyi	Disk-1 (Alüminyum-Titanyum)	Disk-2 (Alüminyum-Dökme Demir)	Her iki disk için
		σ_t (MPa)	σ_t (MPa)	σ_r (MPa)
20	İç	-18,822	-18,822	0
	Dış	10,080	7,0890	0
40	İç	-37,644	-37,644	0
	Dış	20,160	14,177	0
60	İç	-56,467	-56,467	0
	Dış	30,240	21,266	0
80	İç	-75,289	-75,289	0
	Dış	40,320	28,355	0
100	İç	-94,111	-94,111	0
	Dış	50,400	35,443	0
200	İç	-188,220	-188,222	0
	Dış	100,80	70,8870	0

Tablo 2'den sıcaklık arttıkça bimateriyal disklerde meydana gelen radyal ve teğetsel gerilme değerlerinin de arttığı görülmektedir. Elastisite modülünün sıcaklıkla değişmediği durum için bimateriyal disklerde oluşan radyal gerilmeler Şekil 2a'da, teğetsel gerilmeler ise Şekil 2b'de verilmiştir. Şekil 2'den görüldüğü üzere, bütün sıcaklık değerleri için her iki bimateriyal diskte de, diskin iç bölgesinde ($r=40$ mm) radyal gerilmenin maksimum değere ulaştığı, malzeme değişim noktasına kadar azalmaya devam ettiği, 2. malzemeye geçiş bölgesinde ise ani bir sıçrama yaptığı gözlenmektedir. Diskin iç yüzeyinde oluşan radyal gerilmelerin, dış yüzeyinde oluşan gerilmelere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Diskin en iç ve en dış kısmında radyal gerilmelerin sıfır olduğu belirlenmiştir.

**Şekil 2.** Elastisite modülünün sıcaklıkla değişmediği durum için radyal gerilmeler

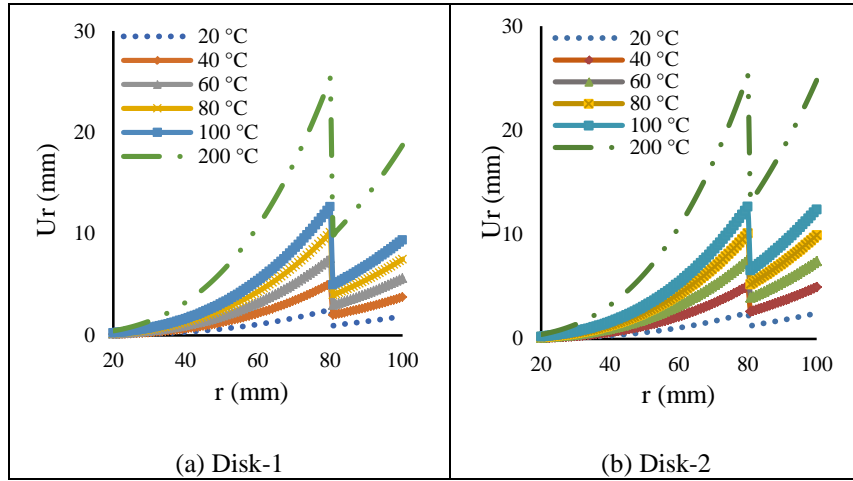
Şekil 2’den görüldüğü üzere, farklı sıcaklıklarda ve dış kısımları farklı malzemelerden oluşan bimateriyal Disk-1 ve Disk-2’nin en iç (alüminyum) kısmında ve en dış (titanyum ve dökme demir) bölgelerinde meydana gelen gerilme değerlerinin sıfır olduğu belirlenmiştir. Sıcaklığın linear olarak azalması durumunda Disk-2’de (alüminyum-dökme demir), 200 °C sıcaklıkta, diskin iç bölgesinde ($r=40$ mm) radyal gerilmenin en yüksek olarak $-54,542$ MPa olduğu, malzeme değişim noktasına kadar azalmaya devam ettiği ve geçiş bölgesinde ise ani bir değişim yaptığı gözlenmiştir. Şekil 3’de elastisite modülü sıcaklıkla değişmediği durumda meydana gelen teğetsel gerilmeler verilmiştir.



Şekil 3. Elastisite modülü sıcaklıkla değişmediği durum için oluşan teğetsel gerilmeler (a) Disk-1 (b) Disk-2

Şekil 3’den görüldüğü üzere, 20°C sıcaklıkta Disk-1’in iç bölgesinde $-18,822$ MPa teğetsel gerilme meydana gelirken, en dış bölgesinde meydana gelen teğetsel gerilmenin $10,08$ MPa olduğu, alüminyum- dökme demir diskte iç (Alüminyum) kısımda meydana gelen gerilme değerinin $-18,822$ N olduğu, yine diskin dış bölgesinde meydana gelen gerilme değerinin $7,089$ N olduğu belirlenmiştir. 200 °C sıcaklıkta ise teğetsel gerilmelerde artışların olduğu görülmektedir. Sıcaklığın diskin iç bölgesinden dış yüzeyine doğru linear olarak azalması durumunda, Disk-2’de (alüminyum-dökme demir) meydana gelen teğetsel gerilmeler diskin en iç bölgesinde bası, dış bölgesinde ise çeki gerilmesi olarak oluşmuştur. 100 °C sıcaklıkta ise Disk-1 için, (alüminyum-titanyum) ($r=100$ mm) diskin en dış bölgesinde (titanyum) $35,443$ MPa teğetsel gerilme belirlenirken, yine aynı bölgede (dökme demir) gerilme $58,722$ MPa teğetsel gerilme ortaya çıktığı, 200 °C sıcaklıkta, diskin en dış bölgesinde titanyum alaşımli bölgede ($r=100$ mm) $117,444$ MPa teğetsel gerilme olduğu belirlenmiştir. Disk-2’de dökme demir malzemeli bölgede ($r=100$ mm) $70,887$ MPa teğetsel gerilme hesaplanmıştır. Disk-2’nin dökme demir kısmında oluşan çekme şeklindeki radyal gerilme, Disk-1’in titanyum alaşımli kısmındaki radyal gerilmenden yaklaşık % 70 kadar fazla olduğu görülmüştür.

Şekil 4’de elastisite modülünün sıcaklıkla değişmediği durumda meydana gelen radyal yer değiştirmeler verilmiştir.



Şekil 4. Elastisite modülünün sıcaklıkla değişmediği durum için (a) Disk-1’de meydana gelen radyal yer değiştirmeler (b) Disk-2’de meydana gelen radyal yer değiştirmeler

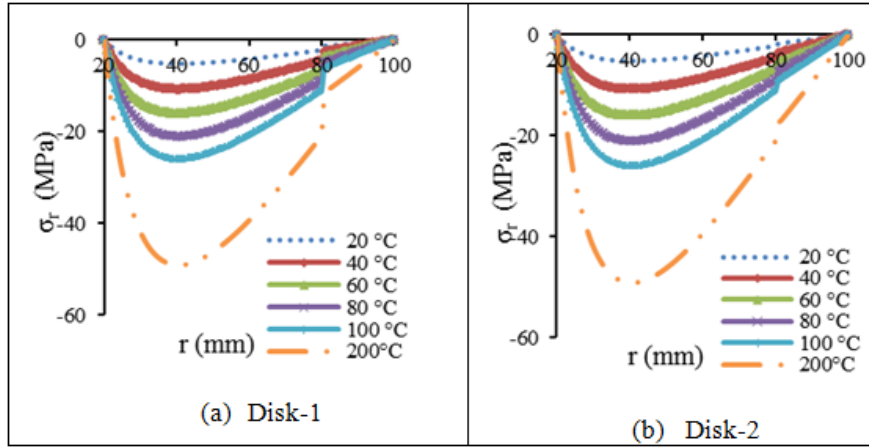
Şekil 4’de görüldüğü üzere, Disk-1’de meydana gelen radyal yer değiştirmelerin diskin iç bölgesinden $r=80$ mm bölgesine kadar artış gösterdiği, $r=80,8$ mm bölgesinde ani düşüş olduğu ve bu noktadan sonra diskin son noktasına kadar artış gösterdiği belirlenmiştir. Disk-2’de ise, 200 °C için diskin $r=80$ mm alüminyum bölgesinde 25,308 mm radyal yer değiştirme var iken, $r=80,8$ mm dökme demir bölgesinde 9,918 mm radyal yer değiştirme olduğu görülmüştür. Disk-1’in alüminyum kısımdaki radyal yer değiştirmenin, titanyum malzemeli kısma göre 2,55 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Radyal yer değiştirme diskin iç bölgesinden Alüminyumun bitiş noktası $r=80$ mm bölgesine kadar artış gösterdiği, 2. malzemenin başlangıç noktası $r=80,8$ mm bölgesinde ani düşüş olduğu ve bu noktadan sonra diskin son noktasına kadar artış gösterdiği belirlenmiştir. 200 °C için Disk-2 için, $r=80$ mm Alüminyum bölgesinde 25,308 mm radyal yer değiştirme var iken, $r=80,8$ mm Dökme demir bölgesinde 13,125 mm radyal yer değiştirme olduğu görülmüştür. Malzeme değişikliğinden dolayı radyal yer değiştirmeler arasında keskin bir düşüş olduğu Alüminyum malzemede meydana gelen radyal yer değiştirmenin, dökme demire göre %51,86 daha fazla olduğu görülmüştür. Elastisite modülünün sıcaklık ile değiştiği durum için Disk-1 (alüminyum-titanyum) ve Disk-2’de (alüminyum-dökme demir) oluşan radyal ve teğetsel gerilmeler tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda meydana gelen gerilmeler

Sıcaklık (°C)	Diskin radyal yüzeyi	Disk-1 (Alüminyum-Titanyum)	Disk-2 (Alüminyum-Dökme demir)	Her iki disk için
		σ_r (MPa)	σ_r (MPa)	σ_r (MPa)
20	İç	-17,880	-17,880	0
	Dış	9,1380	6,9940	0
40	İç	-37,226	-37,226	0
	Dış	20,013	13,967	0
60	İç	-55,211	-55,211	0
	Dış	29,799	20,634	0

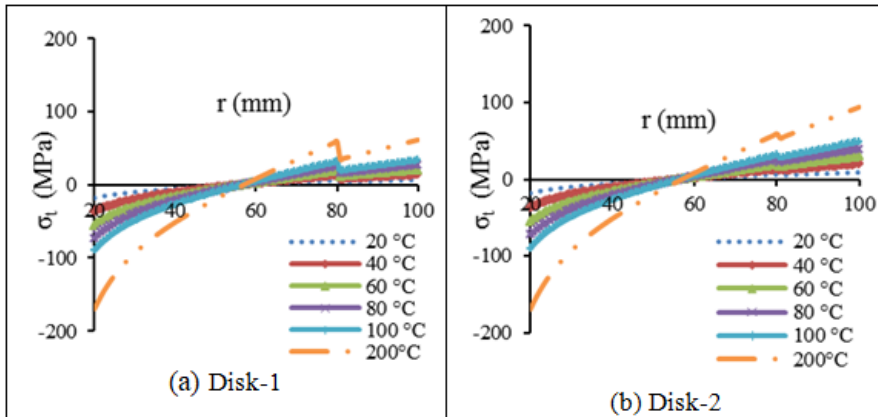
80	İç	-72,778	-72,778	0
	Dış	39,439	27,092	0
100	İç	-89,926	-89,926	0
	Dış	48,931	33,338	0
200	İç	-169,39	-169,39	0
	Dış	94,190	61,413	0

Elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda meydana gelen radyal yer gerilmeler Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda oluşan radyal gerilmeler

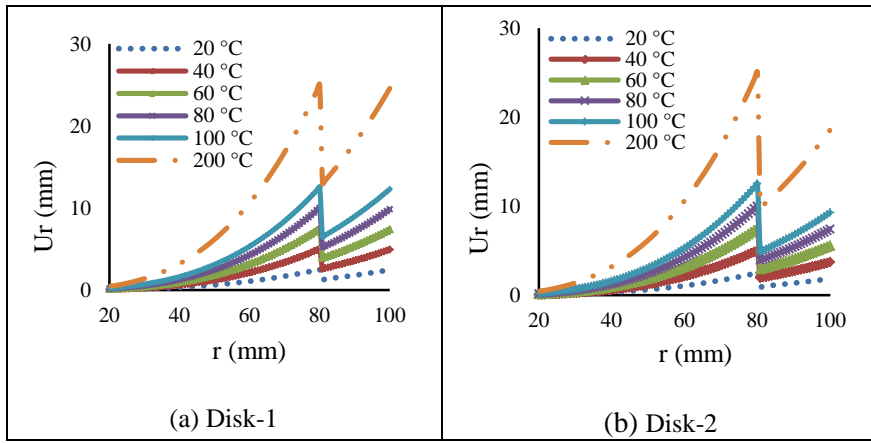
Şekil 5’den görüldüğü üzere, Disk-1 ve Disk-2 için disklerin en iç (Alüminyum) kısmında ve en dış (titanium ve dökme demir malzemeden oluşan) bölgelerinde meydana gelen gerilme değerlerinin sıfır olduğu belirlenmiştir. Sıcaklığın lineer olarak azalması durumunda Disk-2’de; 200 °C sıcaklıkta, diskin iç bölgesinde (r=40 mm) radyal gerilmenin en yüksek olduğu, malzeme değişim noktasına kadar azalmaya devam ettiği ve geçiş bölgesinde ise ani bir değişim yaptığı gözlenmektedir.



Şekil 6. Elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda meydana gelen teğetel gerilmeler

Şekil 6’da elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda meydana gelen teğetsel gerilmeler verilmiştir. Teğetsel gerilmelerin bimateriyal Disk-1 ve Disk-2 için iç bölgeden alüminyumun bitiş noktası $r=80$ mm bölgesine kadar artış gösterdiği, malzeme değişiminin olduğu $r=80,8$ mm bölgesinde ani düşüşlerin olduğu bu noktadan sonra disklerin son noktasına kadar artışların olduğu belirlenmiştir.

Şekil 6’da görüldüğü üzere, elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda; 20°C sıcaklıkta Disk-1’in iç (alüminyum) bölgesinde $-17,780$ MPa gerilme meydana geldiği, en dış noktası (titanium) bölgesinde meydana gelen teğetsel gerilmenin $9,138$ MPa olduğu, Disk-2’de iç (alüminyum) bölgesinde meydana gelen gerilme değerinin $-17,780$ MPa olduğu, yine diskin dış (dökme demir) bölgesinde meydana gelen gerilme değerinin $6,994$ N olduğu belirlenmiştir. 200°C sıcaklıkta ise teğetsel gerilmelerde artışların olduğu görülmektedir. Şekil 7’de elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda meydana gelen radyal yer değiştirmeler verilmiştir.



Şekil 7. Elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda meydana gelen radyal yer değiştirme

Şekil 7’de 200°C sıcaklık için Disk-1’de diskin $r=80$ mm alüminyum bölgesinde $25,044$ mm radyal yer değiştirme var iken, $r=80,8$ mm titanium bölgesinde $9,814$ mm radyal yer değiştirme olduğu görülmüştür. Radyal yer değiştirme diskin iç bölgesinden alüminyumun bitiş noktası $r=80$ mm bölgesine kadar artış gösterdiği, titaniumun başlangıç noktası $r=80,8$ mm bölgesinde ani düşüş olduğu ve bu noktadan sonra diskin son noktasına kadar artış gösterdiği belirlenmiştir. Disk-1 ve Disk-2, için 200°C sıcaklıkta alüminyum malzemeden oluşan bölgelerinde ($r=80$ mm) $25,044$ mm radyal yer değiştirme var iken, $r=80,8$ mm 2. malzemenin olduğu disk-2’de (dökme demir) dış bölgesinde $12,992$ mm radyal yer değiştirme olduğu görülmüştür. 80°C sıcaklıkta Disk-1 ve Disk-2 için alüminyum bölgesinde, titanium ve dökme demir kısımlarında meydana gelen gerilmeler kendi aralarında karşılaştırıldığında; elastisite modülünün sıcaklık ile değişmediği durumda elde edilen radyal gerilmelerin, elastisite modülünün sıcaklık ile değiştiği durumda hesaplanan radyal gerilmelerden daha fazla olduğu görülmektedir. Elastisite modülünün sıcaklıkla sabit kaldığı durumda, diskin en iç bölgesinde meydana gelen gerilmelerin, elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda elde edilen gerilmelerden yaklaşık olarak % 8 oranında fazla olduğu belirlenmiştir. Diskin dış bölgesinde ise, elastisite modülünün sıcaklıkla değişmesi durumundaki gerilme değerinin, sabit elastisite modülü olması durumundaki gerilme değerinden yaklaşık olarak % 30 oranında fazla olduğu

tepit edilmiştir. Uygulanan farklı değerlerdeki sıcaklıklar nedeniyle elde edilen gerilme sonuçlarının birbirinden tamamen farklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Diskin iç ve dış yüzeylerindeki radyal gerilmeler sıfır olarak belirlenmiştir. Literatürde bu sonucu desteklemektedir [5-14]. Ayrıca düşük sıcaklıklarda gerilmelerin düşük olduğu, sıcaklık arttıkça gerilmelerin arttığı, diskin en iç ve en dış bölgesinde radyal gerilmelerin sıfır olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçta literatür ile uyum içindedir [14].

4. SONUÇLAR

Lineer azalan sıcaklık dağılımına maruz iki farklı Disk-1 (alüminyum-titanyum) ve Disk-2 (alüminyum-dökme demir) bimateryal diskleri için yapılan ısıl gerilme analizi sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Sıcaklığın artmasıyla hem radyal hem de teğetsel gerilme değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir.
- Lineer azalan sıcaklık dağılımlarında diskte oluşan radyal gerilmeler bası gerilmesi şeklinde oluşmuştur. Teğetsel gerilmeler diskin iç kısmından orta bölgeye kadar basma gerilmesi şeklinde, orta kısımdan dış bölgeye doğru ise çekme gerilmesi şeklinde meydana gelmiştir. Tüm sıcaklık değerleri için radyal gerilme diskin en iç ve en dış kısmında sıfırdır.
- Radyal gerilmeler diskin iç kısmına yakın bölgelerinde en yüksek değerini almıştır. Bu bölgeden dış bölgeye doğru gidildikçe radyal gerilme değerlerinde azalmalar görülmüştür.
- I. malzemeden II. malzemeye geçiş bölgesinde her iki gerilme değerinde de sıçramalar olduğu görülmektedir.
- Radyal yer değiştirmeler diskin tüm bölgesinde çeki gerilmesi şeklinde yer almaktadır.
- Malzeme değişim bölgesinde radyal yer değiştirmelerde belirgin düşüşler olduğu görülmektedir.
- Elastisite modülünün sıcaklıkla değiştiği durumda radyal yer değiştirmelerin, elastisite modülünün sıcaklıkla sabit kaldığı durumdaki radyal yer değiştirmelere göre çok düşük azalma gösterdiği belirlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Erdem, M.S., Aydın, K., (2006). Gaz türbinli uçak motorlarında titanyum alaşımlarının kullanımı. Mühendis ve Makine Dergisi, 47 (558), 53s.
- [2] Şen, F., Pekbey, Y., Sayman, O., (2007). Elastic-plastic stress analysis of a thermoplastic composite disc under parabolic temperature distribution. Indian Journal of Engineering and Materials Sciences, 14, 282-288.

- [3] Çallıoğlu H., (2007). Thermal stress analysis of curvilinearly orthotropic rotating discs, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 20, 357- 369.
- [4] Yıldırım, A., (2017). Fonksiyonel olarak derecelendirilmiş malzemeden yapılmış dairesel kanatçıklarda termal gerilme analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 87s.
- [5] Çallıoğlu, H., Karakaya, Ş., (2008), Tabakalı bir diskin termal gerilme analizi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1, 61-68.
- [6] Pekel, H., (2014). FGM silindirlerin dinamik ısı gerilme analizi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 88s.
- [7] Demirbaş, M.D., Apalak, M.K., (2017). Fonksiyonel olarak kademelenendirilmiş modüllü Yapıştırıcı Bağlantıların Isıl Gerilme Analizi. *Politeknik Dergisi*, 21(2), 445-456.
- [8] Bağcı, M.D., (2009). Düzlem içi ısı yüküne maruz tek yönlü işlevsel kademelenendirilmiş plaka ve disk bağlantılarının ısı gerilme analizi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 146s.
- [9] Shao, Z.S., (2005). Mechanical and thermal stresses of a functionally graded circular hollow cylinder with finite length. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 82, 155-163
- [10] Dimitoka, K., Yıldırım, B., (2003). Katmanlı ve fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerden yapılmış termal bariyer kaplamalarındaki termal gerilmelerin sonlu elemanlar metodu ile hesaplanması. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 505, 34-42.
- [11] Timoshenko, S., Goodier, J.N., (1970). *Theory of Elasticity*. McGraw-Hill, Newyork.
- [12] Kayıran, H.F., (2012). Disklerde Isıl Gerilme Analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 65s, Isparta.
- [13] Engineering Toolbox, (2017). Date of Access: 01.08.2017. http://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d_773.html.
- [14] Azo Materials, (2017). Titanium - Comparison of Properties with Other Metals Date of Access:01.08.2017. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1298>.
- [15] Şen, F., Akyüz, B.H., (2013). Sıcaklık etkisindeki metal matrisli kompozit dönen diskteki ısı gerilmelerin analizi. *Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi*, 4(1), 51-60.

GARP LİNYİTLERİ İŞLETMESİNDE SON YILLARDA MEYDANA GELEN İŞ KAZALARININ ANALİZİ

Cem ŞENSÖĞÜT¹, Özer ÖREN¹, Yaşar KASAP¹

ÖZET

Bir ülkede meydana iş kazaları sayısı ile o ülkenin gelişmişlik düzeyi arasında doğrudan bir ilişkinin olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Teknolojideki gelişmelerin bile iş kazalarının oluşmasına engel olamadığı bir dönemi yaşıyoruz. Hatta bu hususta yasal mevzuatta yapılan iyileştirmelerin dahi etkisinin çok küçük olduğunu söyleyebiliriz. Sonuç olarak, çalışanların yaptığı işi hala içselleştiremediği ve iş güvenliği kültürünü benimseyemediği şeklinde tartışmaya açık olarak yorumlar yapılabilir. Ayrıca, işletmelerin işe uygun personel seçmediği ya da seçtiği çalışanını ise işe motive etmekte doğru yöntemler kullanmadığı da söylenebilir. Maalesef, madencilik sektöründe bu durum daha açık olarak görülmektedir. Proaktif yaklaşım tüm bu süreç içerisinde gerektiği gibi yer almalıdır. İş kazaları ve meslek hastalıkları hassasiyetle izlenerek gerçekleştirilecek istatistikî çalışmalar ile iş sağlığı ve güvenliği konusunda alınacak kararlara yön verilmelidir.

Bu çalışma kapsamında, ülkemizin önemli linyit üreticilerinden Garp Linyitleri İşletmesi'nde 2015 ve 2017 yılları arasında hem yeraltı hem de yerüstü tesislerinde meydana gelen iş kazaları incelenmiştir. Kaza türleri analiz edilerek, kaza sıklık, kaza ağırlık ve kaza olabilirlik değerleri yorumlanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İş Sağlığı ve Güvenliği, Kaza Sıklık Oranı, Kaza Ağırlık Oranı, Kaza Olabilirlik Oranı

ABSTRACT

It is an undeniable fact that there is a direct relationship between the number of occupational accidents occurring in a country and the level of development of that country. We are experiencing a period even developments in technology cannot prevent work accidents. We can say that the improvements made in the legislation are very small in this respect. As a result, comments can be made as to whether employees cannot still internalize their work and cannot adopt a culture of occupational safety. In addition, it can be said that the firms do not use the right methods to motivate the employees or not to choose the appropriate personnel. Unfortunately, this is more evident in the mining sector. Proactive approach should take place in this process as required. Work-related accidents and occupational diseases should be monitored and statistically evaluated in a sensitive manner in order to guide the decisions to be taken for the safety at work.

Within the scope of the present study, occupational accidents occurred in both surface and subsurface facilities between 2015 and 2017 in Western Lignite Corporation, which is one of

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 43100 Kütahya-Türkiye

the important lignite producers in Turkey, were examined. Accident frequency, accident weight and accident probability values were tried to be interpreted by analyzing the accident types.

Key Words: Occupational Health and Safety, Accident Frequency Rate, Accident Weight Rate, Accident Probability Rate

1. GİRİŞ

İnsanı merkezine alan her türlü yasa, mevzuat, yönerge ve yönetmelik öncelikli olarak onun yaşam hakkının gözetilmesini istemektedir. Bu durum özellikle iş sağlığı ve güvenliği açısından ele alındığında, bireyin yanı sıra işletmelere de önemli sorumluluklar yüklemektedir. Üretim süreçlerinin karmaşıklığı, kullanılan donanımlar ve proseslerde yer bulan kimyasallar sebep olunan iş kazası ve meslek hastalıklarını hem çeşitlendirmiş hem de sayısal olarak artmasına neden olmuştur. Günümüz iş sağlığı ve güvenliği anlayışı; çalışma ortamı ve koşullarının gözetiminin ötesinde üretim sürecinin baştan sona çalışanları da içine alacak şekilde sürdürülebilir iyiliğini gözetmek üzere kurgulanmıştır.

Bu çalışmada, Garp Linyitleri İşletmesi'nde 2015-2017 yılları arasında meydana gelen iş kazalarının üretim ile ilişkilendirilerek ayrıntılı analizi yapılmıştır.

2. GARP LİNYİTLERİ İŞLETMESİ

Türkiye linyit rezervlerinin yaklaşık %4.6'sını ruhsat sahaları içinde barındıran Garp Linyitleri İşletmeleri (GLİ) (Şekil 1), ülke linyit üretiminin yaklaşık %7.5'unu gerçekleştirmektedir. Yıllık üretilen 4.800.000 ton kömürün yaklaşık %18-20'si yeraltı işletmelerinden gerçekleştirilirken geriye kalanı açık ocaklardan sağlanmaktadır. Yeraltında linyit kömürü üretimi, tavandan göçertmeli mekanize sistem ile sağlanmaktadır. Açık ocaklarda ise örtü tabakası shovel + kamyon ön hazırlığı ile dragline kullanılarak gerçekleştirilirken kömür üretimi shovel + kamyon sistemi ile gerçekleştirilmektedir (<http://www.gli.gov.tr>; TKİ, 2015; TKİ, 2016).



Şekil 1 Garp Linyitleri İşletmesi Yerbulduru Haritası

Hem açık ocaklardan hem de yeraltı işletmesinden üretilen linyit kömürü Tunçbilek ve Ömerler kömür yıkama tesislerinde zenginleştirilerek kullanıma hazır hale getirilmektedir. 2015 ve 2017 yılları arasında Garp Linyitleri İşletmesinde gerçekleştirilen satılabilir linyit üretimi Çizelge 1’de verilmiştir (<http://www.gli.gov.tr>; TKİ, 2015; TKİ, 2016).

Çizelge 1. GLİ 2015 ve 2017 yılları arasında linyit üretim miktarları

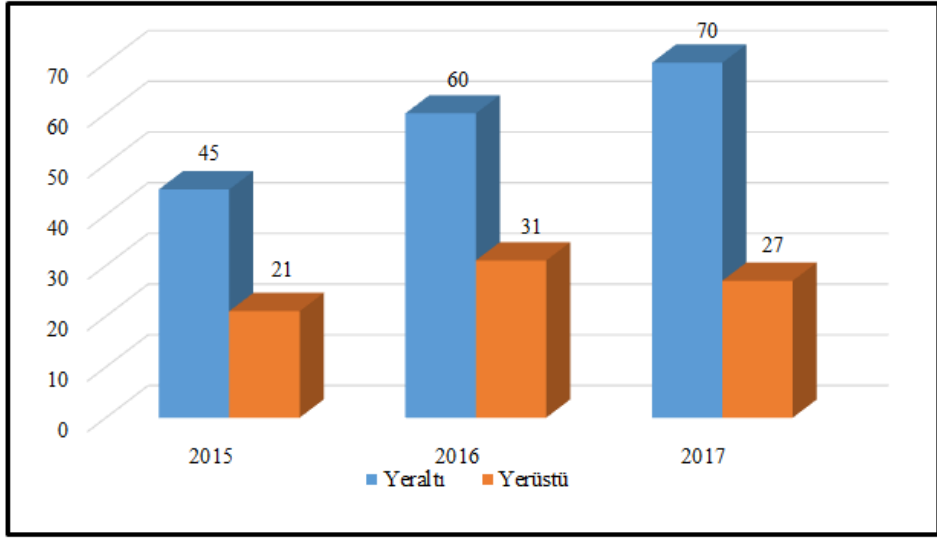
	2015	2016	2017
Açık ocak (ton)	2.661.946	2.052.068	2.359.617
Yeraltı işletmesi (ton)	134.228	155.607	44.022
Toplam (ton)	2.359.617	2.207.675	2.403.639

2.1. 2015-2017 Yılları Arasında Meydana Gelen İş Kazalarının Analizi

Garp Linyitleri İşletmesinde 2015-2017 yılları arasında meydana gelen iş kazaları Çizelge 2’de verilmiştir. İşletmede söz konusu yıllar arasında toplam 254 iş kazası meydana gelmiş ve gerçekleşen bu kazaların 175 adedi (%68.9) yeraltı ve 79 adedi (%31.1) yerüstünde meydana gelmiştir (Şekil 2). Yeraltında meydana gelen kazaların sayıca en çoğu 2017 yılında meydana gelmiştir.

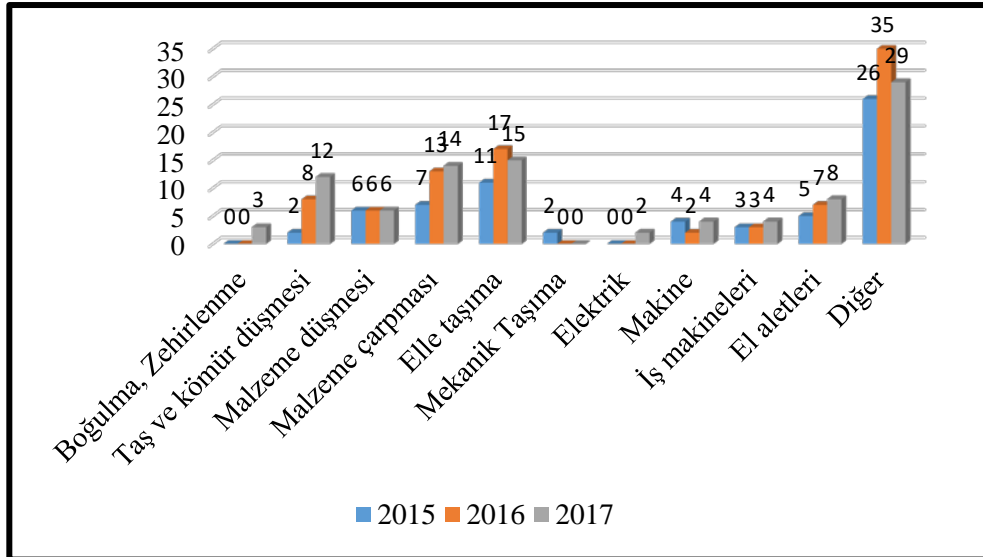
Çizelge 2. İşletmede 2015-2017 Yılları Arasında Gerçekleşen İş Kazaları

2015-2017 İŞ KAZALARI	GLİ-2015				GLİ-2016				GLİ-2017				TOPLAM		
	Yeraltı		Yerüstü		Yeraltı		Yerüstü		Yeraltı		Yerüstü		2015	2016	2017
	Ölü	Yaralı	Ölü	Yaralı	Ölü	Yaralı	Ölü	Yaralı	Ölü	Yaralı	Ölü	Yaralı	Yaralı	Yaralı	Yaralı
Gazdan boğulma, zehirlenme										3			0	0	3
Gaz ve toz patlaması													0	0	0
Göçük taş ve kömür düşmesi	2				8					12			2	8	12
Malzeme düşmesi	6				4	2			5		1		6	6	6
Malzeme çarpması	4		3		11	2			12		2		7	13	14
Patlayıcı madde													0	0	0
Elle taşıma	8		3		11	6			9		6		11	17	15
Mekanik taşıma	2												2	0	0
Karayolu ile taşıma													0	0	0
Elektrik											2		0	0	2
Makine	2		2		2				2		2		4	2	4
İş makineleri			3				3		2		2		3	3	4
El aletleri	2		3		3	4			6		2		5	7	8
Diğer		19	7		21	14			19		10		26	35	29
Yıllık Toplam	0	45	0	21	0	60	0	31	0	70	0	27	66	91	97



Şekil 2. 2015 ve 2017 Yılları arasında Meydana Gelen Kazaların Yeraltı ve Yerüstü Dağılımı

2015-2017 yılları arasında meydana gelen kazaların türleri; gazdan boğulma ve zehirlenme, gaz ve toz patlaması, göçükten taş düşmesi ve kömür düşmesi, malzeme düşmesi, malzeme çarpması, patlayıcı madde, elle taşıma, mekanik taşıma, karayolu ile taşıma, elektrik, makine, iş makineleri, el aletleri ve diğer alt başlıkları altında sınıflandırılmıştır. Tüm bu kazaların sonucu çalışanların hayatlarını kaybetmemiş olmaları sevindiricidir. Söz konusu yıllar arasında kazalar en çok göçükten taş ve kömür düşmesi (22), malzeme çarpması (34), elle taşıma (43) ve diğer (90) sebepleri nedeniyle oluşmuşlardır (Şekil 3).



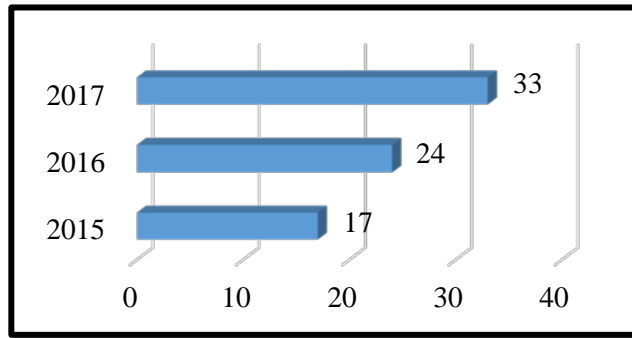
Şekil 3. 2015 ve 2017 Yılları Arasında Meydana Gelen Kazaların Oluş Nedenlerine Göre Dağılımı

2.2. İş Kazası Oranları

Garp Linyitleri İşletmesinde 2015 ve 2017 yılları arasında meydana gelen kazaların analizinde, kaza sıklık oranı, kaza ağırlık oranı ve kaza olabilirlik oranı kullanılmıştır. Bu oranların tanımları ve hesaplanmasında kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir:

Kaza Sıklık Oranı: Bir yıllık çalışma süresinde oluşan iş kazalarında meydana gelen ölümlü ve ölümsüz yaralanmaların toplam sayısının bu yıl içerisinde yapılan toplam çalışma saatine bölünmesiyle elde edilen değer 1.10^6 katsayısıyla çarpılmasıyla elde edilir (Eşitlik 1) (Balcı ve diğ., 2013; Arıtan ve diğ., 2017; Erginel ve diğ., 2017, Bayraktar ve diğ., 2017). Şekil 4’de söz konusu yıllara ait kaza sıklık oranı görülmektedir.

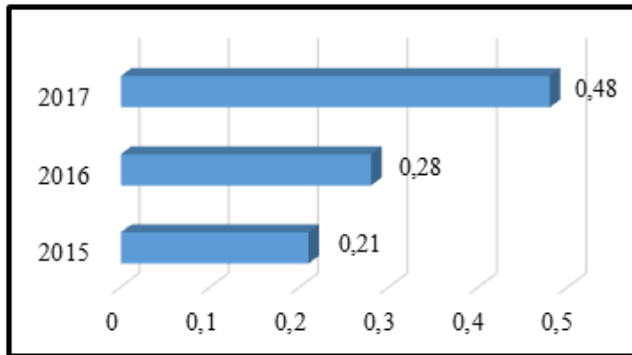
$$\text{Kaza Sıklık Oranı} = \text{Toplam Kaza Sayısı} \times 10^6 / (\text{Çalışılan Toplam Saat}) \dots\dots\dots (1)$$



Şekil 4. 2015 ve 2017 Yılları Arasındaki Kaza Sıklık Oranı

Kaza Ağırlık Oranı: Bir yıllık çalışma süresinde oluşan iş kazalarında meydana gelen ölümlü ve ölümsüz yaralanmalardan dolayı oluşan toplam kayıp gün sayısının bu yıl içerisinde yapılan toplam çalışma saatine bölünmesiyle elde edilen değer 1.10^3 katsayısıyla çarpılmasıyla elde edilir (Eşitlik 2) (Balcı ve diğ., 2013; Arıtan ve diğ., 2017; Erginel ve diğ., 2017, Bayraktar ve diğ., 2017). Şekil 5’de söz konusu yıllara ait kaza ağırlık oranı görülmektedir.

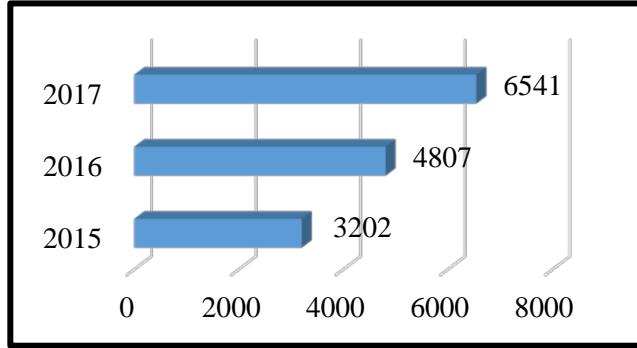
$$\text{Kaza Ağırlık Oranı} = \text{İş Günü Kaybı} \times 10^3 / (\text{Çalışılan Toplam Saat}) \dots\dots\dots (2)$$



Şekil 5. 2015 ve 2017 Yılları Arasındaki Kaza Ağırlık Oranı

Kaza Olabilirlik Oranı: Bir yıllık çalışma süresinde oluşan iş kazalarında meydana gelen ölümlü ve ölümsüz yaralanmaların toplam sayısının bu yıl içerisinde çalışan işçi sayısına bölünmesiyle elde edilen değer 1.10^5 katsayısıyla çarpılmasıyla elde edilir (Eşitlik 3) (Balcı ve diğ., 2013; Arıtan ve diğ., 2017; Erginel ve diğ., 2017, Bayraktar ve diğ., 2017). Şekil 6’de söz konusu yıllara ait kaza olabilirlik oranı görülmektedir.

$$\text{Kaza Olabilirlik Oranı} = \text{Toplam Kaza Sayısı} \times 10^5 / \text{İşçi Sayısı} \dots\dots\dots (3)$$



Şekil 6. 2015 ve 2017 Yılları Arasındaki Kaza Olabilirlik Oranı

Eşitlik 1, 2 ve 3’ün kullanılmasıyla elde edilen değerler ayrıca Çizelge 3’de listelenmiştir.

Çizelge 3. 2015 ve 2017 Yılları Arasında Hesaplanan Kaza Oranları

	2015	2016	2017
Toplam Kaza Sayısı	66	91	97
Çalışma Saati	3867904	3779648	2897864
İşçi Sayısı	2061	1893	1483
Kazadan Dolayı İş Günü Kaybı	809	1076	1377
Kaza Sıklık Oranı	17	24	33
Kaza Ağırlık Oranı	0,21	0,28	0,48
Kaza Olabilirlik Oranı	3202	4807	6541

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mevcut çalışma kapsamında, Garp Linyitleri İşletmesi’ne ait 2015 ve 2017 yılları arasında yeraltı ve yerüstü tesislerinde meydana gelen iş kazaları verileri analiz edilerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- İşletmede söz konusu yıllar arasında 254 iş kazası meydana gelmiş ve hiç birinin çalışanlar hayatını kaybetmemiştir,
- Kazaların %68,9’u yeraltında, %31,1’i açık ocak ve yerüstü tesislerinde meydana gelmiştir. Yeraltı üretim miktarları açık ocak üretim miktarlarıyla mukayese edilemeyecek kadar az olmasına rağmen, kazaların büyük bir kısmı yeraltında oluşmuştur,
- Kazalar sayıca en fazla 2017 yılında meydana gelmiştir,

- 2017 yılı aynı zamanda kaza sıklık, kaza ağırlık ve kaza olabilirlik oranlarının en yüksek olduğu yıldır,
- Kazalar kümülatif olarak incelendiğinde büyük bir kısmının işçilerin bireysel hatalarından meydana geldiği anlaşılmıştır,
- Kaza sıklık, kaza ağırlık ve kaza olabilirlik oranları yıllar itibarıyla incelendiğinde bir artış trendi içinde olduğu söylenebilir. Mevzuata giren ve önlemler ile yaptırımların artırılması ile ilgili hususların çok etken olmaması, denetimlerin yeterli şekilde yapılmadığı şeklinde yorumlanabilir.

Bu çalışmadan çıkan sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, çalışanların iş sağlığı ve güvenliği konusunda daha fazla bilinçlendirilmelerinin önemi ortaya çıkmaktadır.

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışmalar sırasında veri temininde göstermiş oldukları anlayış nedeniyle Garp linyitleri İşletme Müdürlüğü yetkililerine teşekkür ederiz.

5. KAYNAKLAR

Arıtan, A.E. ve Ataman, M., 2017, Kaza Oranları Hesaplamalarıyla İş Kazası Analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 17, ss239-246.

Balcı, B., Balcı, MÖ., Taçkın, E. ve Yerden, E.A., 2013, İş Kazalarında Mali Kayıplar, İstanbul Sosyal Bilimler Dergisi, ss72-74

Bayraktar, B., Uyguçgil, H. ve Konuk, A., 2017, Türkiye Madencilik Sektöründe İş Kazalarının İstatistiksel Analizi, Uluslararası Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, 2-3 Kasım Adana, ss147-159

Erginel, N. ve Toptancı, Ş., 2017, İş Kazası Verilerinin Olasılık Dağılımları ile Modellenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım dergisi, 5, ss201-212

TKİ, 2015; Türkiye Kömür İşletmeleri 2015 Faaliyet Raporu, Ankara, s71

TKİ, 2016; Türkiye Kömür İşletmeleri 2016 Faaliyet Raporu, Ankara, s94
<http://www.gli.gov.tr>

GARP LİNYİTLERİ İŞLETMELERİ AÇIK OCAKLARINDA MAKİNE EKİPMAN VERİMLİLİĞİNİN ANALİZİ

Cem ŞENSÖĞÜT¹, Mahmut ERGÜN²

ÖZET

Bu çalışmada Kütahya ili, Tavşanlı ilçesi, Tunçbilek bölgesinde bulunan Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü, Açık Ocağ İstihsal Şube Müdürlüğü'ne bağlı olarak devlet eli ile gerçekleştirilen dekapaj ve kömür kazı faaliyetlerinin yürütülmesi için kullanılmakta olan kazı makinelerinin verimlilik analizleri yapılmıştır. Yapılan bu analizlerde, makineler hem aylık hem de yıllık olarak ele alınmış ve elde edilen sonuçlara göre yorumlar yapılmış ve öneriler sunulmuştur. Bu hesaplamalarda 2017 yılına ait; aylık üretim miktarı, çalışma saatleri ve makine durma sürelerinden yararlanılarak verimlilik, verim, etkenlik ve performans indeksi hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar ile işletmede kullanılan kazı makinelerinin çalışma performansları değerlendirilmiştir. Buna göre; 12 aylık toplamda 37 numaralı Elektrikli/Halatlı Ekskavatör 1763 ton/saat ile verimlilik değeri en yüksek makine olurken, 26 numaralı Dragline %35,5 değeri ile en yüksek verime sahiptir. 463 numaralı Paletli/Hidrolik Ekskavatör %242,9 değeri ile en yüksek etkenliğe ulaşan makine olurken 630,7 ton/saat performans indeksi ile en iyi performansla çalışan makine 36 numaralı Elektrikli/Halatlı Ekskavatör olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Etkenlik, verim, verimlilik, performans indeksi.

ANALYSIS OF MACHINE EQUIPMENT EFFICIENCY IN OPEN PITS OF WESTERN LIGNITE CORPORATION

ABSTRACT

In this work, the productivity analysis of the machinery used for earth moving and coal excavation activities carried out in Western Lignite Corporation (WLC) in the Tunçbilek district of Tavşanlı, Kütahya province was performed. In these analyzes, the machines were handled in both monthly and annually base, and the comments together with the suggestions were given according to the results. In these calculations, efficiency, effectivity, effectiveness and performance index were calculated by taking advantage of monthly production amount, working hours and machine downtimes of 2017. With these results, the working performance of the excavation machines used in the field has been evaluated. According to this; With a total of 12 months, Electric/Rope Excavator No. 37 has the highest productivity value with 1763 tons/hour, while Dragline No. 26 has the highest efficiency value with 35.5%. While the number 463 Crawler/Hydraulic Excavator has reached the highest efficiency with 242.9% value, the machine with the best performance with 630.7 tons'/hour performance index has been determined as the number 36 Electric/Rope Excavator.

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Sorumlu Yazar: Cem ŞENSÖĞÜT (sensogut@dpu.edu.tr)

² Garp Linyitleri İşletme Müdürlüğü, Tavşanlı-Kütahya

Key Words: Effectivity, efficiency, effectiveness, performance index.

1. GİRİŞ

Günümüzde ülkelerin ekonomik alandaki başarısını etkileyen önemli parametrelerin başında verimlilik düzeyi gelmektedir. Bu nedenle, uzun dönemli ve sürdürülebilir büyüme performansı ancak her alanda sağlanacak verimlilik artışları ile mümkün görünmektedir. Ülkemizde makro plandaki verimlilik artış beklentisi, işletmeyi temel alan verimlilik artırma çalışmalarının yapılmasıyla olasıdır (Prokopenko, 2011; Peşkircioğlu, 2014).

İşletmeler, yaptıkları yatırımlar ile belirli amaca hizmet ederler. Bu çalışmaların beklenen verime ulaşması ancak sahip olunan tüm kaynakların optimum olarak kullanılmasını gerektirir. İşletme başarısı ise öngörülen hedeflerin ne kadarının gerçekleştirildiği ile ilgilidir.

Kaymaz ve Kızılca yapmış oldukları bir çalışmada, ülkemizdeki çoğu kömür madeninin daha yüksek verimle kömür üretilebilen açık ocak üretim yöntemiyle işletilmesine rağmen verimliliklerinin düşük kalmasına dikkat çekmiştir (Kaymaz ve Kızılca, 2014).

Bu çalışmada, Garp Linyitleri İşletmesi açık ocaklarında kullanılan örtü ve kömür kazı makinelerinin verimlilik analizlerinin (verimlilik, verim, etkenlik ve performans indeks) hesaplanmasında, 2017 yılı içerisinde yapmış oldukları aylık örtü kazı miktarları, kömür üretim miktarları, çalışma süreleri, durma süreleri ve duruş nedenlerinden yararlanılmıştır.

İşletmenin 2017 yılı örtü kazı ve kömür üretim programları göz önüne alınarak yapılan üretim çalışmalarında, işletme de bulunan en yüksek kapasiteli 40 yd³lük (30.56 m³) Dragline (Marion), 20 yd³ (15.29 m³) ve 10 yd³ (7.65 m³) kapasitelere sahip Elektrikli/Halatlı Ekskavatörler (P&H) ve 6.5 yd³ (4.97 m³) ile 9.2 yd³ (7.03 m³) kapasiteli Paletli/Hidrolik Ekskavatörlerden (Hitachi&Liebherr) yararlanılmıştır. İşletmedeki makineleri etkin kullanabilmek adına, kapasiteye göre farklılık gösteren bu makinelerden özellikle 5 adet 10 yd³ kapasiteli makinelerden sadece 3 tanesine yedek makine olarak iş verilebilmiştir.

2. VERİMLİLİK ANALİZLERİ

Verimliliğin ulusal refahı arttırmadaki önemi herkesçe kabul edilen husustur. Ülkede büyümenin önünü verimliliğin açtığı kabulüyle yapılacak çalışmalar her şeye rağmen tüm hızla gerçekleştirilmelidir.

Kontrol işlevinin ön planda olduğu sonuç odaklı bir yönetim anlayışından, günümüzde işletmenin sürekli gelişmesine yönelik kurumsal stratejilerin tüm işletme birimlerine yaygınlaştırıldığı bir kurumsal performans yönetimi anlayışına geçilmelidir. İşletme organizasyonunun bütününde stratejik amaçlarla faaliyetlerin uyumlandırılmasını ve işletmenin fonksiyonel birimlerinin aynı hedeflere yönelik olarak birbirlerini destekler nitelikte çalışmasını sağlamak, kurumsal performans yönetimi anlayışının esasını oluşturmaktadır (Peşkircioğlu vd., 2013). Tüm bu ifadeler göz önünde tutularak, Garp Linyitleri İşletmesinde kullanılan örtü tabakası kazı makinelerinin verimlilik analizlerinde şu ölçütler kullanılmıştır.

- Verimlilik,
- Verim,

- Etkenlik ve
- Performans indeksi.

2.1. Verimlilik

Verimlilik, üretimde kullanılan tüm faktörlerden en rasyonel şekilde yararlanarak üretimi arttırmayı, ürün kalitesini yükseltmeyi ve maliyeti düşürmeyi temel hedef olarak ele almaktadır. Artan verimlilik ise üretimin artmasına, kaynak tüketimin azalmasına yol açmaktadır. Verimlilik, aşağıda verilen Eşitlik 1 ile ifade edilmiştir.

$$\text{Verimlilik} = \frac{\text{Çıktı}}{\text{Girdi}} = \frac{\text{Üretim (ton)}}{\text{Çalışma saati (saat)}} \quad (1)$$

Bu oranın hesaplanmasında, ölçümü yapılan sistemin çıktı ve girdilerinin belirlenebilmesi için sistemin sınırlarının tanımlanmış olması ve dönem süresinin belirlenmesi önemlidir.

Verimlilik:

- a) Kısmi Verimlilik,
- b) Çok Ögeli Verimlilik,
- c) Toplam Verimlilik olmak üzere 3' e ayrılır (Filiz, 2005).

2.1.1. Kısmi verimlilik

Üretim faaliyeti sonunda elde edilen ürünün (çıktı), bu üretimde kullanılan üretim kaynaklarından (girdi) herhangi birine oranlanması ile bulunur. Bu girdilerden sadece bir girdi ele alınırsa “Kısmi Verimlilik” olarak tanımlanır (Akal, 2002).

2.1.2. Çok ögeli verimlilik

Çıktıların, birden fazla girdilerin toplamına bölünmesi ile elde edilen verimlilik değeridir (Filiz, 2005).

2.1.3. Toplam verimlilik

Üretim faaliyeti sonunda elde edilen bütün ürünlerin (çıktı) toplamının bu üretimde kullanılan üretim kaynaklarının (girdi) toplamına bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Bu yöntemde bütün çıktı ve girdi değerlerinin farklılık göstermesinden dolayı hesaplanması diğer verimlilik çeşitlerine göre daha karmaşıktır (Filiz, 2005).

2.2. Verim

Verim, üretim faaliyet süresi içerisinde üretimde kullanılan kaynakların nasıl ve ne kadarının kullanıldığını gösteren performans göstergesidir. Verim, işletmenin çıktıları ile diğer girdileri yani kaynak tüketimi ile ilgilidir. Amaçlar yerine araçları merkezine koyar. İşletmedeki işlerin istenilen şekilde yapılıp yapılmadığını gösterir.

Verimi açıklayan başka bir boyut ise girdilerden yararlanma oranıdır. Bu oran üretim sürecinde kullanılan girdilerle, işletmenin mevcut üretiminde kullanılabilir kaynakları arasında yapılan bir kıyaslama ölçütü olarak ifade edilebilir (Akal, 2002). Mevcut çalışmanın amacına

uygun olacağı düşünülerek “verim” adı altında girdilerden yararlanma oranı dikkate alınmıştır. Verimin hesaplanmasında aşağıda verilen eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\text{Verim} = \frac{\text{Çalışma saati (saat)}}{\text{Kullanılabilir makine süresi (saat)}} \times 100 \quad (2)$$

2.3. Etkenlik

Etkenlik, işletmenin programlanan üretim miktarı ile fiilen gerçekleşen üretim miktarı arasında yapılan oranlamadır (Akal, 2002).

$$\text{Etkenlik} = \frac{\text{Gerçekleşen üretim (çıktı)}}{\text{Planlanan üretim (çıktı)}} \times 100 \quad (3)$$

2.4. Performans İndeksi

Performans indeksi, işletmedeki örtü tabakası kazı makinelerinin performanslarının daha doğru hesaplanabilmesi için verimlilik, verim ve etkenlik değerlerinin çarpımı sonucu elde edilen bir değerdir (Önce vd., 2007; Ören vd., 2019).

Yukarıda belirtilen performans göstergelerinin hesaplanabilmesi için Garp Linyitleri İşletmesi açık ocaklarında kullanılan örtü kazı makinelerinin 2017 yılı içerisinde yapmış oldukları aylık örtü kazı miktarları, kömür üretim miktarları, çalışma süreleri, durma süreleri ve duruş nedenlerinden yararlanılmıştır.

Yapılan hesaplamalarda örtü kazı makinelerinin aylık çalışma performansları değerlendirilmiştir. Performans göstergelerinden verimin çok yüksek olduğu ay içerisinde aynı makinenin verimliliği çok düşük olabilir. Bu durum, makinelerin yapmış oldukları çalışmaların yetersiz olduğunu gösterir. Bundan dolayı çalışma da verimlilik, verim ve etkenlik değerlerinin yanında verimlilik, verim ve etkenlik değerlerinin çarpımı sonucu elde edilen makine performans indeksi hesaplanması ile kazı makineleri konusunda daha doğru bir düşünceye varılmasında yardımcı olmuştur. Performans indeksi aşağıda verilen Eşitlik 4 ile ifade edilmiştir.

$$\text{Performans İndeksi} = \frac{\text{Verimlilik} \left(\frac{\text{ton}}{\text{saat}} \right) \times \text{Verim}(\%) \times \text{Etkenlik}(\%)}{10^4} \quad (4)$$

3. ÜRETİM ARAÇLARININ GİRDİ VE ÇIKTI DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ

Üretim araçlarının performanslarının ölçümünde genellikle kullanılan 3 ana parametre verimlilik, verim ve etkenliktir. Bu göstergelerin sağlıklı olarak hesaplanabilmesi ve yorumlanabilmesi için iş etütleri ile yapılacak ölçümlerden elde edilecek verilere ihtiyaç duyulur. Bir üretim kaynağının veya her bir makinenin verimliliği (MV) girdi ve çıktıya bağlı olup aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\text{MV} = \frac{\text{Toplam Üretim Miktarı (ton)}}{\text{Toplam Çalışma Süresi (saat)}} \quad (5)$$

Makine girdisi verim oran göstergelerini açıklamadan önce bu oranların hesaplanmasında kullanılacak kavramların açıklanması faydalı olacaktır. Buna göre;

Kullanılabilir makine süresi: Devam süresi içinde bir makinenin çalışabileceği süredir (Örneğin bir iş günü ya da iş haftası – hizmet dışı süreler + ek çalışma süresi).

Boş makine süresi: Makinenin üretim ya da diğer yan işlerin yapılmasına hazır olmasına karşın iş, malzeme, enerji ya da işçi yokluğundan dolayı çalıştırılmadığı süredir.

Makine hazırlık süresi: Değiştirmeler, ayar, kurma, sökme, temizlik vb. gibi nedenlerle makinenin geçici olarak kullanılmadığı sürelerdir.

Makine duruş süresi: Makinenin bozulma ve bakım gibi nedenlerle üretimde kullanılmadığı sürelerdir.

Makine çalışma süresi: Makinenin fiili olarak çalıştığı süredir [Kullanılabilir makine süresi – (Makine duruş süresi + Boş makine süresi + Makine hazırlık süresi)].

Açıklanan bu kavramlara göre makine verim oranları (MVO) aşağıdaki ifadeler ile belirlenir;

$$MVO = \frac{\text{Makine Çalışma Süresi (saat)}}{\text{Kullanılabilir Makine Süresi (saat)}} \quad (6)$$

Her bir makinenin etkenliği (E) üretim kapasitene bağlı olarak belirlenmekte olup aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$E = \frac{\text{Gerçekleşen Üretim (ton)}}{\text{Programlanan Üretim (ton)}} \quad (7)$$

4. GARP LİNYİTLERİ İŞLETMESİ MÜDÜRLÜĞÜ

Türkiye linyit rezervlerinin yaklaşık % 4.6'sını ruhsat sahaları içinde barındıran Garp Linyitleri İşletmeleri (GLİ) (Şekil 1), ülke linyit üretiminin yaklaşık %7.5'unu gerçekleştirmektedir. Yıllık üretilen kömürün yaklaşık %18-20'si yeraltı işletmelerinden gerçekleştirilirken geriye kalanı açık ocaklardan sağlanmaktadır. Yeraltında linyit kömürü üretimi, tavandan göçertmeli mekanize sistem ile sağlanmaktadır. Açık ocaklarda ise örtü tabakası shovel + kamyon ön hazırlığı ile dragline kullanılarak gerçekleştirilirken kömür üretimi shovel + kamyon sistemi ile gerçekleştirilmektedir (<http://www.gli.gov.tr>; TKİ, 2015; TKİ, 2016).



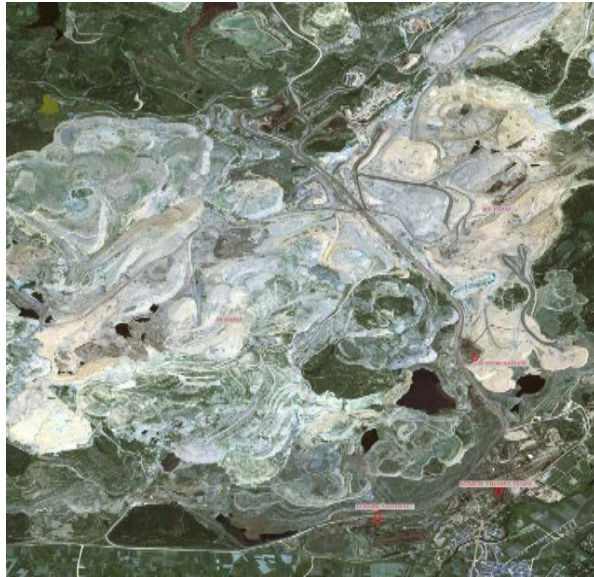
Şekil 1 Garp Linyitleri İşletmesi Yerbulduru Haritası

Hem açık ocaklardan hem de yeraltı işletmesinden üretilen linyit kömürü Tunçbilek ve Ömerler kömür yıkama tesislerinde zenginleştirilerek kullanıma hazır hale getirilmektedir.

4.1. GLİ Açık Ocak İşletmeciliği

Uydu görüntüsü Şekil 2’de GLİ Açık Ocağında örtü tabakası kazısı, iki yöntem ile gerçekleştirilmektedir. Bunlardan birincisi Elektrikli/Halatlı Ekskavatör + Kamyon sistemi, diğeri ise Dragline sistemidir. Kömür üstü kazı yöntemlerinde bu iki sistemin bir arada çalışabildiği gibi ayrı ayrı uygulandığı alan da mevcuttur. Elektrikli/Halatlı + Kamyon-Dragline sistemini ruhsat sahası içerisinde çalışılan BY panoda görülmekle birlikte 48 pano da sadece Shovel Ekskavatör + Kamyon sisteminin uygulanabildiği görülmektedir (GLİ, 2018a; GLİ, 2018b).

Kömür üretimi ise sadece Paletli/Hidrolik Ekskavatör + Kamyon sistemi kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 2. GLİ Açık Ocak Uydu Görüntüsü

Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü'nde çok farklı kapasite ve marka/modele sahip ekskavatörler bulunmaktadır Ekskavatörlerin kapasiteleri (Q), aşağıda belirtilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$Q_S = \frac{t_1 \times t_2}{p} \times \frac{0,764 \times V \times k}{f} \quad (8)$$

$$Q_S = \text{Ekskavatör saatlik kapasitesi} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right)$$

t_1 = Zaman sabiti (60 dk)

t_2 = Zaman sabiti (60 sn)

p = Kepçe periyodu(sn)

V = Ekskavatör kepçe hacmi (m^3)

k = Kepçe dolma faktörü (0,8 – 0,9)

f = Kabarma faktörü (1,30 – 1,45)

$\gamma_{\text{dekapaj}} = 2 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$ (Dekapaj yoğunluğu)

$\gamma_{\text{kömür}} = 1,5 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$ (Kömür yoğunluğu)

4.2. Üretim Araçlarının Performanslarının Belirlenmesi

Yapılan bu çalışmada Garp Linyitleri İşletmesindeki (GLİ) kazı araçlarının performansının ölçütü olarak verimlilik, verim ve etkenlik değerleri dikkate alınmıştır. Hesaplanan bu değerler daha önce kazı makinelerinin girdi ve çıktı değerleri yardımı ile belirlenmiştir. Her bir makine için 12 ay boyunca verimlilik, verim ve etkenlik değerleri belirlenerek, çarpımları sonucu performans indeksi hesaplanmıştır;

Her bir makine için standart kapasite ve standart performans değerleri belirlenmiştir. İdeal değerler literatür ve katalog verilerinden belirlenmiş olup, verim değerinin %80, etkenlik değerinin de %100 olacağını düşünerek hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan bu hesaplamalarda makinelerin performans değeri, ideal şartlarda yapabileceği değeri verir ve bu değer ile bir performans skalası elde edilir. Hesaplamaların hepsi makinelerin kapasitelerine göre tek tek incelenmiştir (Önce vd., 2007; Ören vd., 2019).

Performans skalası hesaplanırken, her bir makinenin 2017 yılı içerisinde hesaplanan standart kapasitelerinin ideal şartlarda alınan %80 verim ve %100 etkenlik değerleri çarpılmıştır. Elde edilen sonuçlar dört (4) eşit aralığa bölünmüş ve sıfır (0)'dan başlayarak ilk aralık derecesi kötü, ikinci aralık derecesi orta, üçüncü aralık derecesi iyi ve son olarak dördüncü aralık derecesi çok iyi olacak şekilde değerlendirilmiştir. Bu skala ile makinelerin 2017 yılsonu itibari ile hesaplanan performans indeksi değerleri kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama sonucu makine performans değeri yorumlanabilmektedir.

Kazı makinesi girdi değerini hesaplamak için her bir makine için öncelikle kullanılabilir makine süresi hesaplanmıştır. Kullanılabilir makine süresi belirlenirken haftada 6 gün (bayram tatilleri hariç) ve gün içerisinde 3 vardiya sisteminde 21 saat faal olduğu dikkate alınmıştır. Kullanılabilir makine süresinden, işletme tarafından hesaplanmış boş makine süresi, makine hazırlık süresi ve makine duruş süreleri çıkarılarak kazı makinesinin çalışma süresi (fiili) elde edilmiştir. 2017 yılı içerisinde, kullanılabilir makine süresi 298 gün olarak hesaplanmıştır (GLİ, 2018a).

Kazı makinelerinden özellikle Paletli/Hidrolik Ekskavatörler hem kömür hem de dekapaj kazı işinde çalıştıkları için kazı makinelerinin belirli bir dönemdeki standart kapasiteleri, her makinenin teknik kapasiteleri ile dekapaj ve kömür işindeki çalıştıkları süre kullanılarak elde edilmiştir.

2017 yılında 12 aylık olarak kazı ekipmanları için yapılan girdi çıktı hesaplamaları Çizelge 1'deki 26 numaralı Dragline dikkate alınır; 2017'nin 12 aylık dönemi için kullanılabilir makine süresi 6258 saat (298 gün x 21 saat)'tir. Bu makine için boş makine süresi, makine hazırlık süresi ve makine duruş süreleri toplam 4087 saat olup bu süre kullanılabilir makine süresinden (6258 saat) çıkarılarak makinenin fiili çalışma süresi 2221 saat olarak bulunmuştur. Makine çalışma süresinde 2.172.000 ton dekapaj işi yapmıştır.

Çizelge 1. 2017 Yılı Makine Çalışma ve Duruş Süreleri

Makine No	Kullanılabilir Makine Süresi (saat)	Makine Duruş Süresi (saat)		Boş Makine Süresi (saat)			Makine Hazırlık Süresi (saat)	Makine Çalışma Süresi (saat)		
		Bakım	Mekanik Arıza	Enerji Kesintisi	Hava Muhalefeti	Yedek Bekleme	İşletme Kaybı	Kömür	Dekapaj	Toplam
458	6258	0	4022	0	972	922	95	0	247	247
459	6258	0	2558	0	1458	1012	450	321	459	780
460	6258	0	1186	0	1483	823	965	551	1250	1801
461	6258	0	3090	0	788	1606	221	65	488	553
463	6258	0	4825	0	740	265	102	0	326	326
30	6258	475	268	0	1630	2902	518	0	465	465
39	6258	0	564	30	1577	2606	531	0	950	950
40	6258	0	470	28	1575	3320	467	0	398	398
34	6258	546	734	57	1095	1533	774	0	1519	1519
35	6258	486	177	48	1357	2006	623	0	1561	1561
36	6258	525	613	0	1284	1145	611	0	2080	2080
37	6258	0	175	8	1508	1660	1075	0	1832	1832
38	6258	1090	360	51	1344	1252	224	0	1937	1937
26	6258	2142	461	1	648	785	0	0	2221	2221
TOPLAM	87612	5264	19503	223	17459	21837	6656	937	15733	16670

Çizelge 1'de belirtildiği üzere 2221 saat dekapajda ki çalışma saatidir. 26 numaralı makinenin saatlik gerçekleşen kapasitesi ise toplam dekapaj kazısı olan 2.172.000 tonun, toplam çalışma süresi olan 2221 saate bölünmesiyle verimliliği 978 ton/saat olarak bulunur. Verim ise 2221 saat çalışma süresini, kullanılabilir makine süresi olan 6258 saate bölünmesi ve 100 ile çarpılmasıyla % 35,5 olarak bulunur. Etkenlik değeri, gerçekleştirilen dekapaj miktarının (2.172.000 ton), planlanan üretim miktarına (4.000.000) oranlanması ve yüz (100) ile çarpılmasıyla % 54,3 olarak bulunur. Performans indeksi, hesapladığımız verimlilik (978

ton/saat), verim (% 35,5) ve etkenlik (% 54,3) değerlerinin çarpımı sonucu 188,5 ton/saat olarak hesaplanır.

40 yd³ kapasiteli Dragline için standart kapasite; dekapaj teknik kapasitesinin, dekapajdaki çalışma süresi çarpımı ile kömür teknik kapasitesinin, kömürdeki çalışma süresi il çarpımlarının toplanıp, toplam çalışma süresine bölünmesi ile elde edilir.

$$\text{Standart Kapasite} = \frac{2024 \times 2221}{2221} = 2024 \text{ ton/saat}$$

40 yd³ kapasiteli Dragline için standart performans ise ideal şartlarda verim ve etkenlik değerleri %80 ve %100 olarak alınmıştır.

$$\text{Standart Performans} = 2024 \times 0,8 \times 1 = 1619,2 \text{ ton/saat}$$

40 yd³ marka/model Dragline'nın 12 aylık standart performans değeri ise 1619,2 ton/saat hesaplanmış olup, 188,5 ton/saat'lik performans indeks değeri standart performansa göre çok düşük olup skalaya göre performansı kötü olarak değerlendirilir. 12 aylık toplam verim değerinin düşük olmasında en temel faktörler; yedek bekleme, mekanik arıza, hava muhalefeti ve işletme kayıplarıdır.

Çizelge 2. 40 yd³ kapasiteli Dragline Performans Skalası

Kötü	0-405 ton/saat
Orta	405-810 ton/saat
İyi	810-1215 ton/saat
Çok iyi	1215-1620 ton/saat

İşletmede kullanılan tüm makinelerin standart performansının hesaplamasında, her bir makinenin genel standart kapasitesinin (GSK) fiili çalışma süresi ile çarpımlarının toplamını, toplam fiili çalışma süresine bölünmesi ile bulunur (Çizelge 3).

$$\text{GSK} = ((539,5 \times 3154) + (774,6 \times 553) + (920 \times 1813) + (1786 \times 8929) + (2024 \times 2221)) / 16670$$

$$\text{GSK} = 1454,1 \text{ ton/saat}$$

İşletmede kullanılan tüm makinelerin genel standart performans ise ideal şartlarda verim ve etkenlik değerlerinin %80 ve %100'i olacak şekilde alınmıştır.

$$\text{Genel Standart Performans} = 1454,1 \times 0,8 \times 1 = 1163,3 \text{ ton/saat}$$

Çizelge 3. 2017 Yılı Makine Performans Göstergeleri

Kapasite	Makine No	Kullanılabilir Makine Süresi	Boş Mak. Süresi + Mak. Duruş Süresi +Mak. Haz. Süresi	Fiili Çalışma Süresi (h)	Kömür Üretimi (ton)	Dekapaj Kazısı (ton)	Toplam Üretim (Kömür+ Dekapaj) (ton)	Kömür Planlanan Üretim (ton)	Dekapaj Planlanan Üretim (ton)	Verimlilik Oran (ton/saat)	Verim Oranı % (saat/saat)	Etkenlik %	Performans İndeksi (ton/saat)
9.2 yd ³	461	6258	5705	553	46110	235000	281110	115000	90000	508.3	8.8	150.6	67.7
6.5 yd ³	458	6258	6011	247	0	128000	128000	0	65000	518.2	3.9	196.9	40.3
	459	6258	5478	780	217568	286960	504528	160000	90000	646.8	12.5	227.4	183.3
	460	6258	4457	1801	362023	805160	1167183	350000	290000	648.1	28.8	190.5	355.4
	463	6258	5932	326	0	157880	157880	0	65000	484.3	5.2	242.9	61.3
	6.5 yd ³ Toplam	25032	21878	3154	579591	1378000	1957591	510000	510000	620.7	12.6	191.9	150.1
Paletli/Hidrolik Eks. Toplam	31290	27583	3707	625701	1613000	2238701	625000	600000	603.9	11.8	150.6	107.8	
10 yd ³	30	6258	5793	465	0	466000	466000	0	520000	1002.2	7.4	89.6	66.7
	39	6258	5308	950	0	760000	760000	0	830000	800.0	15.2	91.6	111.2
	40	6258	5854	404	0	252000	252000	0	370000	623.8	6.5	68.1	27.4
	Toplam	18774	16955	1819	0	1478000	1478000	0	1720000	812.5	9.7	85.9	67.6
20 yd ³	34	6258	4739	1519	0	2467000	2467000	0	3645000	1624.1	24.3	67.7	266.8
	35	6258	4697	1561	0	2701000	2701000	0	2600000	1730.3	24.9	103.9	448.4
	36	6258	4178	2080	0	3598000	3598000	0	3280000	1729.8	33.2	109.7	630.7
	37	6258	4426	1832	0	3230000	3230000	0	4260000	1763.1	29.3	75.8	391.3
	38	6258	4321	1937	0	3232000	3232000	0	3895000	1668.6	31.0	83.0	428.5
	Toplam	31290	22361	8929	0	15228000	15228000	0	17680000	1705.5	28.5	86.1	419.2
40 yd ³	26	6258	4037	2221	0	2172000	2172000	0	4000000	977.9	35.5	54.3	188.5
Elektrikli/Halath Eks. Toplam	56322	43353	12969	0	18878000	18878000	0	23400000	1455.6	23.0	80.7	270.4	
Hepsi Toplam	87612	70936	16676	625701	20491000	21116701	625000	24000000	1266.3	19.0	88.0	212.1	

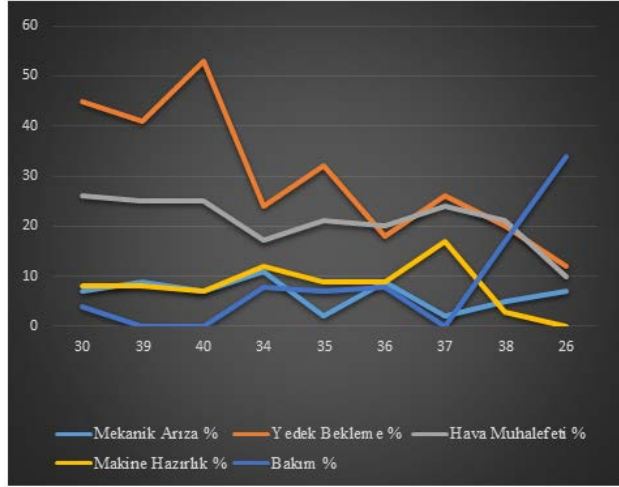
Performans skalası oluşturulduğunda;

Çizelge 4. İşletmede kullanılan tüm makinelerin genel performans skalası.

Kötü	0-291 ton/saat
Orta	291-582 ton/saat
İyi	582-873 ton/saat
Çok iyi	873-1164 ton/saat

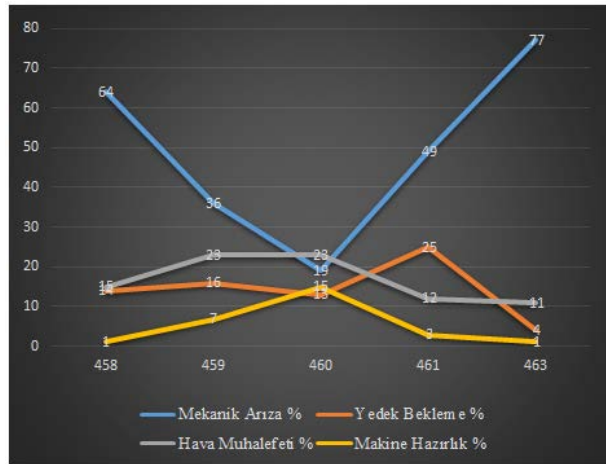
Genel olarak bakıldığında işletmede kullanılan tüm makineler yılsonu itibari ile 223,5 ton/saat'lik performans indeksi çok düşük olup, genel standart performans değerinin (1163,3 ton/saat) yaklaşık %19'u kadar performans göstermiştir. İşletmede kullanılan tüm kazı makinelerinin genel performansı, genel performans skalasına göre kötü sınıfta yer almıştır.

Paletli/Hidrolik Ekskavatörler kış ve sonbahar dönemlerinde daha fazla çalışma imkânı bulmuş fakat olumsuz hava şartları sebebiyle yollar bozulmuş ve makine hazırlık süreleri artmış, çalışma zamanları yine azalmıştır. Makinelerin 2017 yılında hesaplanan duruş nedenleri Şekil 4'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 4. 2017 yılı paletli/hidrolik ekskavatörler arıza dağılımları grafiği.

10 yd³ ve 20 yd³ kepçe kapasiteli Elektrikli/Halathlı Ekskavatörler ve 40 yd³ kepçe kapasiteli Dragline Makinelerinin 2017 yılında hesaplanan duruş nedenleri Şekil 5'de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5. 2017 yılı elektrikli/halathlı ekskavatörler ve Dragline arıza dağılımları grafiği.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Garp Linyitleri İşletmesi açık ocaklarında kullanılan tüm dekapaj ve kömür kazı ekipmanları dikkate alındığında genel performans değeri 223,5 ton/saat'tir. Standart genel performans değerinin 1203,6 ton/saat (1504,5 ton/saat 0,8 x 1) olduğu dikkate alınırsa bu performans tatmin edici seviyenin çok altındadır ve yetersizdir. Bu performans hesaplanırken, verimlilik oranı 1266,3 ton/saat, verim %19 ve etkenlik değeri ise %92,7 elde edilmiştir. Burada genel verimlilik değeri, 1504,5 ton/saat olarak hesaplanan standart genel kapasiteye göre %15 daha düşüktür. Genel olarak verim ideal seviyeye göre %61 daha düşük olup genel performans düşüklüğündeki temel faktördür. Genel etkenlik değeri ise ideal seviyeye göre %7 daha düşük olduğu için etken olduğu söylenemez.

İşletmede genel verim düşüklüğündeki temel etkenler; yedek bekleme (%25), mekanik arıza (%22), hava muhalefeti (%20), işletme kaybı (%7) ve bakım (%6)'dir. Boş makine süresi içerisinde bulunan yedek bekleme süresi; makinenin kazı faaliyeti için hazır olmasına rağmen enerji kesilmesi ve hava muhalefeti dışındaki sebeplerden dolayı çalışmadığı süreyi ifade etmektedir. Bu sebepler işletmedeki uzman kişilerle yapılan görüşme ve gözlemlerle edinilen sonuçlar doğrultusunda çoğunluk sırasına göre şöyle sıralanabilir;

- Makine tertibindeki hatalar ve personel veya kamyon yetersizliğinden kaynaklanan problemler ile makinelerin çalışmaması,
- Makinenin, yedek olarak çalışan bir makinenin yanında hazırda bekletilmesi, (bu durum ve makinenin başka işlerde kullanılabilceği doğal bir kayıp olarak düşünülmüş ve verim hesaplamalarında bundan dolayı ideal verim %80 olarak alınmıştır.)
- Elektrikli/Halatlı Ekskavatörlerin yaşlarının yüksek oluşu, Paletli/Hidrolik Ekskavatörlerin ise ekonomik ömürlerini tamamlamış olması,
- Makinelerin arızaları sonucu yedek parça temini konusunda yurtdışına bağlı olduğundan temininde sorunlar yaşanması nedeni ile parça beklemeden dolayı makine bakım sürelerinin uzaması,
- Makine hazırlık süresi içerisinde bulunan işletme kayıpları ; ayar, deneme, kurma, yer değiştirme, temizlik ve operatörden kaynaklanan sebeplerle makinenin geçici olarak kullanılamaması.

Genel verimlilik değerinin standart değerinin aşağısında olmasının sebepleri ise şöyle sıralanabilir;

- Kamyon sayısının yetersiz olmasından dolayı kazı makinelerinin yükleme sırasında beklemek zorunda kalması,
- Yapılan patlamaların istenilen düzeyde gevşetme sağlayamaması sonucu kazı makinelerinin kazıya ayırdıkları zamanın artması ve sert formasyonlarda çalışırken iyi gevşetilmemiş formasyonların kazı makinelerinin aksamalarında ve halatlarında zorlanmaya neden olması, yine bu gevşetilmemiş formasyonların dozerlerle ripelenerek hazırlanmasının ise iş ve zaman kaybına neden olması,
- Basamak yüksekliğinin boom yüksekliğinden fazla veya düşük olması
- Eğitimlerini tamamlamış olmasına rağmen iyi yetişmiş operatör ve işletmede çalışan personelin iş motivasyonu ve görevdeşlik eksikliği
- Bölgedeki fay yapısının yoğun olmasının makine çalışmasını zorlaştırması,

- Özellikle kış aylarında meydana gelen yoğun yağış, sis ve don gibi iklim olaylarının çalışma süresinde makinelerin kepçe periyot sürelerini arttırması.
Özetle Garp Linyitleri İşletmesi'nde kullanılan dekapaj ve kömür kazı makinelerinin 2017 yılı içerisinde 12 aylık genel verimlilik oranı gayet tatmin edici, verim düşük, etkenlik olarak ise orta derece olarak bulunmuştur. Bu nedenle işletmede dekapaj ve kömür kazı makinelerinin genel performans değerinin düşük olmasındaki ilk etken verim düşüklüğü, ikinci etken etkenlik düşüklüğüdür. Bu süreç dikkate alındığında işletme yönetimi, dekapaj ve kömür kazı makinelerinin performansını arttırabilmek adına öncelikle verimi yükseltmek daha sonrasında ise etkenlik değerini yükseltmek için düzenleyici ve iyileştirici çalışmalarına önem vermelidir. Bu konuda yapılması gerekli önemli düzenleyici ve iyileştirici çalışmaları öncelik derecesine göre aşağıdaki gibi sıralanabilir;
- İşletmenin mevcut makine kullanım kapasitesi, kaybedilen veya el değmemiş sahalara yoğunlaştırılarak ya da yeni yapılacak yatırım projelerinde kullanılarak verim arttırılabilecektir. Bunun için talebe göre üretim yöntemi yerine proje bazlı bir yönetim sistemine geçilmelidir.
- Ekonomik ömrünü tamamlamış eski makineler, her sene işletmede bulunan uzman kişiler tarafından oluşturulan komisyon ile belirlenmektedir. Bu makineler, günümüz teknolojisine ve saha jeolojisine uygun olarak yenileri ile değiştirilmelidir.
- Makinelerde meydana gelen küçük miktardaki arızaların çözülebileceği tamir ve bakım birimi teknoloji olarak geliştirilmelidir. Ayrıca bu birimlere kalifiyeli, iş becerisi yüksek teknik personel takviyesi yapılmalıdır.
- Operatörlere daha etkin ve yoğun eğitimler verilmeli, işletme prim sistemi daha da geliştirilmelidir.
- Personel ve kamyon eksikliğinden kaynaklanan organizasyonel problemler giderilmelidir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışmalar sırasında veri temininde göstermiş oldukları anlayış nedeniyle Garp linyitleri İşletme Müdürlüğü yetkililerine teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

Akal, Z. (2002). *İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi Çok Yönlü Performans Göstergeleri*, Ankara: Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları: 473.

Filiz, A. (2005). Süreç Yönetiminde ve İyileştirilmesinde Verimlilik Analizleri, *3D LOJİSTİK dergisi* Nisan.

Garp Linyitleri İşletmesi, (2018a). Açık Ocak İstihsal Şube Müdürlüğü 2017 Yılı Faaliyet Raporu.

Garp Linyitleri İşletmesi, (2018b). Etüd Proje Şube Müdürlüğü 2017 Yılı Üretim Programı.

Kaymaz, T. ve Kızılca, İ., (2014). Kömür Madeni İşletmelerinde Verimlilik ve İş Güvenliği, Türkiye Ekonomik Politikaları Araştırma Vakfı (TEPAV), Değerlendirme Noru, Temmuz 2014, N201423, 13s.

Önce, G., Aykul, H., Şensöğüt, C. ve Ören, Ö., (2007). Seyitömer Linyit İşletmeleri'nde Kullanılan Kazı Yükleme Ekipmanlarının Performanslarının İncelenmesi, I. Maden Makineleri Sempozyumu, 1012 Mayıs, Kütahya, ss133-154.

Ören, Ö., Yuvka, Ş., Şensöğüt, C., ve Ediz, İ.G., (2019). Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü'ne Ait Ömerler Yeraltı Ocağındaki Bantlı Konveyörlerin Verimlilik Analizi, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 34(2), ss141-154.

Peşkircioğlu, N., Frolet, İ., Çil, F., (2013). Kurumsal Performansı Artırmanın Bir Yolu Olarak İş Sağlığı ve Güvenliği, IV. Ulusal Verimlilik Kongresi, 10-12 Aralık, Ankara.

Peşkircioğlu, N., (2014). Verimlilik Yönetimi, *Kalkınmada Anahtar Verimlilik Dergisi*, Sayı 306, Haziran.

Prokopenko, J., (2011). *Verimlilik Yönetimi: Uygulamalı El Kitabı* (ILO Yayınları). Çeviri. MPM Yayın No:476, Ankara.

www.gli.gov.tr, (Erişim Tarihi: 01.06.2019).

BİR MERMER İŞLETMESİNDE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ UYGULAMASI

APPLICATION OF FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS IN MARBLE QUARRIES

Levent SIRAKAYA¹, Yaşar KASAP²

ÖZET

Ülkemiz mermeri, rezervi ve kalitesiyle dünya mermer rezervleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Mermer ocak işletmeciliği; yoğun olarak insan gücüne dayanan bir meslek koludur. Mermer ocak işletmeciliğinin iş sağlığı ve güvenliği açısından daha güvenilir hale getirilebilmesi için kazalar olmadan önce risk analizi yapılması hemen sonrasında tehlikeli durum ve hataya sebebiyet verici nedenlerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, ülkemizde faaliyet gösteren bir mermer işletmesinde Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi ile mevcut tehlikeler belirlenmiştir. İşletmede belirlenen bu tehlikeler için risk skorları hesaplanmış ve hesaplanan risk skorları yardımıyla işletmede daha önceden farklı bir metot ile yapılmış risk analizinde tespit edilen tehlikeler yorumlanmıştır. Ayrıca, yüksek risk oluşturan kaynakların ortadan kaldırılabilmesi veya risklerin minimize edilebilmesi için alınması gereken önlemler belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hata Türü ve Etkileri Analizi, İş Sağlığı ve Güvenliği, Mermer Ocağı, Risk Analizi

ABSTRACT

Turkey has an important place among the marble reserves of the world with its marble reserves and quality. Marble quarry management an occupational sector based on human physical strength. In order to make the marble quarry operations more reliable in terms of safety at work, it is necessary to identify the dangerous situation and the causes of the faults following the risk analysis before the accidents. In this study, present hazards were determined by using Failure Mode and Effects Analysis method in a marble enterprise operating in Turkey. The risk scores for these hazards identified in the enterprise were calculated and the hazards identified in the risk analysis made with a different method were interpreted with the help of the calculated risk scores. In addition, the measures to be taken in order to eliminate the high risk resources or minimize the risks have been determined.

Keywords: Failure Mode and Effects Analysis, Occupational Health And Safety, Marble Quarry, Risk Analysis

¹ Maden Yüksek Mühendisi, Lava Demir Döküm A.Ş., Eskişehir

² Prof. Dr., Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, yasar.kasap@dpu.edu.tr, Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Dünyada ve Türkiye’de, gelişen teknolojiyle birlikte çalışanlar, daha önce karşılaşmadıkları yeni risk ve tehlikelerle karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu sorunların işletmelerin çalışmasını tehlikeye sokması, iş verimini olumsuz etkilemesi, maddi ve manevi kayıpların büyük boyutlara ulaşması sonucu, sağlık ve güvenlikle ilgili tedbirlerin alınması gündeme gelmiştir.

Uluslararası Çalışma Örgütü’ne göre; Dünya’da yılda ortalama 275 milyon iş kazası gerçekleşmektedir. İş kazalarına bağlı 200 000 çalışan yaşamını yitirmektedir. Eurostat istatistiklerine göre Avrupa Birliği’ne üye ülkelerde her yıl iş kazaları nedeniyle 5720 çalışan yaşamını yitirmektedir (Eurostat, 2007).

Gerek yeraltı gerekse yerüstü madenciligi, doğası gereği içerisinde barındırdığı riskler nedeniyle dünyanın en ağır iş kollarından biridir. Planlama aşamasından üretim aşamasına ve hatta pazarlama aşamasına kadar donanım, bilgi, deneyim, uzmanlık ve sürekli denetim gerektirmektedir. Ülkemizde açık işletme yöntemi ile üretim yapılan mermer ocaklarının genellikle küçük ölçekli olmasından ötürü iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri yeterince önemsenmemekte, kontrol altında tutulmamaktadır. Madencilik çalışmalarının birçoğunun insan gücü ile yapıldığı mermer işletmelerini daha güvenli hale getirmek için tehlikeli durum ve hareketlere bağlı iş kazaları olmadan risk değerlendirmesi yapılması, gerek insan sağlığı açısından gerekse işveren açısından önem arz etmektedir. Bu amaçla mermer işletmelerinde yapılan ve literatürde yer alan birkaç çalışma şöyle sıralanabilir;

Gümüş (2005), Diyarbakır ili sınırları içerisinde faaliyet gösteren mermer ocağı işletmelerinde yaptığı çalışmada iş kazalarının doğurduğu sonuçları incelemiş ve kazalar ile ilgili istatistiki bilgileri paylaşmıştır. Faaliyet gösteren mermer ocaklarında mühendis istihdamının önemine vurgu yapmış, mühendis istihdam edilen ocaklarda iş kazası sayılarının azaldığını paylaşmıştır. Gümüş ve Akkoyun (2006), mermer ocaklarında yaşanan kazaların istatistiksel verilerini paylaşmışlar ve iş kazasına sebep olabilecek çalışma alanları ve ekipmanlar hakkında bilgi vermişlerdir. Ayrıca işletmelerde teknik personel istihdamının önemi vurgulanmıştır. Konuk vd. (2009), Bilecik ilinde yer alan 15 adet mermer ocağında mevcut potansiyel tehlikeler Çeklist yönteminden yararlanarak risk değerlendirmesi yapmışlardır. Ağca (2010), mermer işleme tesislerindeki potansiyel tehlike kaynaklarını araştırmış ve uygulanabilecek risk değerlendirme yöntemlerini incelemiştir. Çalışmada Diyarbakır ilinde faaliyet gösteren Dimer Mermer Fabrikasında L Tipi Matris metodu ile bir uygulama yapılmıştır. Özçelik (2013), mermer ocaklarında iş kazası yaşanmadan önce yapılacak olan risk değerlendirmesi ve İSG yönetim sistemi planının hazırlanmasının önemi ve sonrasında da etkileri incelenmiştir. Çalışmada bir mermer ocağında Fine-Kinney metodolojisiyle risk analizi uygulaması yapılmış ve önleyici tedbirler belirtilmiştir. Göztepe (2014), mermer ocaklarındaki risklerin 3T metodu ile risk değerlendirilmesi ve uygunsuzluk izleme sistemi üzerine bir çalışma yapmıştır. 3T risk değerlendirme metodunun, çalışma yapılan bölgeye hakim kişilerce uygulanması sonucunda, farkındalık yaratılması açısından etkili olduğu vurgulanmıştır. Sarıkaya (2014), Bilecik ilinde faaliyet gösteren Özçelik Mermer Fabrikasında 5X5 matris diyagramını kullanarak risk değerlendirmesi yapmıştır.

Dülger (2015), TRIZ (Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch = Yaratıcı Problem Çözme Teorisi) metodunu kullanarak mermer ocaklarındaki problemlerin çözümü için

incelemeler yapmıştır. Ersoy vd. (2017), Afyonkarahisar bölgesindeki mermer fabrikalarının İSG sürecinin iyileştirilmesi amacıyla hazırladıkları programda Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemini kullanmışlardır. İyileştirme çalışmaları sonucunda ilk dönemde %50,08 oranında bir gelişme tespit edilmiştir. Çelik vd. (2017), mermer ocaklarında blok kesim işlerinde kullanılan elmas tel ve kollu kesme makinelerinin birlikte kullanımı ile ilgili yaptıkları çalışmada, zincirli kollu kesicilerin kullanıldığı koşullarda elmas tel kesme yöntemine göre hem iş gücü ve hem de zaman bakımından tasarruf yapıldığını ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmada kullanılan Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemi ile yapılan akademik çalışmalar ise şöyle sıralanabilir;

Eleren ve Ersoy (2011), doğal taş ocağı işletmelerindeki, zincirli kollu kesici ve elmas tel kesme metodlarının risklerini Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Her iki yöntem karşılaştırıldığında ise zincirli kollu kesme metodunun elmas tel kesme metodundan daha az riskli olduğu görülmüştür. Nouri vd. 2013 yılında, İran'ın güneyindeki Kerman eyaletinde bulunan Chah Firuze bakır madeninin çevresel risklerinin belirlenmesi, araştırılması ve değerlendirilmesi amacıyla HTEA yöntemini kullanmışlardır. Sonuçlar, maden arama ünitesinin nispeten tehlikeli birimlerden biri olduğunu göstermiştir. Özfirat vd. (2013), çalışmalarında yeraltı nakliyatında oluşan riskleri HTEA yöntemiyle sınıflamışlar ve alınması gereken önlemleri belirlemişlerdir. Alınan önlemler vasıtasıyla risk öncelik sayılarında düşüş tespit edilmiştir.

Açık ocak mermer işletmesi üretim faaliyetlerinde daha önce risk analizi yöntemi olarak Hata Türü ve Etkileri Analizinin kullanılmamasından ötürü madencilik sektörüne katkı sağlayacağı düşünülerek böyle bir çalışma yapılması uygun bulunmuştur. İşletmede yapılan uygulamanın amacı; mermer ocağındaki faaliyetlerden kaynaklanan tehlikelerin ve risklerin tespit edilerek değerlendirilmesidir. Değerlendirme doğrultusunda tehlikelerin önem ve öncelik düzeylerine göre riskleri en düşük seviyeye düşürmek için işletmede alınacak önlemlerin belirlenmesi ile bir risk algılama bilincinin oluşturulması ve işletmede alternatif bir risk analiz yöntemi kullanılarak risk yönetim sistemi kurmaktır.

2. HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ

Risk analizi nitel ve nicel yöntemlerle farklı sektörlerde, farklı şekillerde yapılmaktadır. Hangisinin en iyi sonuç veren yöntem olduğu konusunda bir fikir birliği yoktur. Bu nedenle mühendisler ve iş güvenliği uzmanları, işletmede uygulanan proses türüne ve tecrübelerine en uygun yöntemi seçmektedirler.

HTEA, uygulama alanının sürecin tüm aşamalarını kapsamaması, olası hataların sebepleri ve etkilerinin belirlenmesi, olasılık, önem derecesi ve tespit edilebilirliğe dayalı hataların önceliğinin kolayca belirlenmesine imkân sağlaması, yöntemin açık işletme maden ocaklarında uygulamasının yaygın olmaması nedeni ile tercih edilmiştir.

Hata Türü ve Etkileri Analizi, yüzlerce hata türünde iyileştirmeler planlamak yerine, sürecin tamamına fayda katacak kusurları öncelik sırasına koyan ve bu sıralama doğrultusunda iyileştirmeler yapan bir yöntemdir. HTEA karşılaşılan riskleri önlemenin yanı sıra meslek hastalıkları, iş kazaları gibi çalışan sağlığını ve işin yürütülmesi sırasında iş güvenliğini tehdit edebilecek olası risklerin belirlenmesini ve önlenmesini de sağlayan güvenilir bir yöntemdir.

HTEA yöntemi çalışmalarındaki riskler için olasılık, şiddet ve saptanabilirlik öngörüsünde bulunması yöntemin güvenilirlik güvencesini sağlayan bir teknik olduğunun göstergesidir (Musabeyli, 1999; Akın, 1998; Şen vd., 1999; Akkurt, 2002; Usuş, 2002).

HTEA’da Risk Öncelik Sayısı (RÖS); olasılık (O), şiddet (Ş) ve saptanabilirlik (S) gibi üç bileşenin çarpımıyla hesaplanmaktadır (Eşitlik 5.1). Olasılık; hatanın ortaya çıkma sıklığını, şiddet; hatanın/tehlikenin gerçekleşmesi durumunda ne kadar etki yaratacağını, saptanabilirlik ise bu hatanın/tehlikenin gerçekleşmeden önce ne derecede saptanabileceğini ifade etmektedir. Risk Öncelik Sayısı (RÖS), önem derecesinin bir göstergesidir. RÖS; olasılık, şiddet ve saptanabilirlik faktörlerini kullanarak, her hata tipi veya nedeni için hesaplanan skor değeridir. Risk faktörleri, RÖS değerinin hesaplanmasında sözel veya olasılık olarak tanımlanır ve değerler, 1-10 puan aralığında ölçekler kullanılarak belirtilen bir sayı aralığında atanır. Her hatada tanımlanan risklerin en yüksek RÖS değerinden başlayan riskleri azaltmak veya yok etmek için tedbirler alınmaktadır.

$$RÖS= O \times \text{Ş} \times S \quad (5.1)$$

HTEA yöntemi bileşenlerinin olası değerlerine Çizelge 1. (Hatanın Ortaya Çıkma Olasılığı), Çizelge 2. (Hatanın Saptanabilirliği), Çizelge 3. (Şiddet Derecelendirmesi) ve Çizelge 4.’te (Risk Öncelik Sayısı (RÖS) Değerlendirme Tablosun) yer verilmiştir.

Çizelge 1. Hatanın Ortaya Çıkma Olasılığı (Özkılıç, 2007; Wang vd., 2009; Kahraman ve Demirer, 2010; Özfirat vd., 2013).

HATANIN OLUŞMA SIKLIĞI	HATANIN OLASILIĞI	DERECE
Çok Yüksek: Kaçınılmaz Hata	½’den –fazla	10
	1/3	9
Yüksek: Tekrar Tekrar Hata	1/8	8
	1/20	7
Orta: Ara Sıra Olan Hata	1/80	6
	1/400	5
Düşük: Nispeten Az Olan Hata	1/2000	4
	1/5000	3
Pek Az: Olası Olmayan Hata	1/150000	2
	1/500000 – 2 den düşük	1

Çizelge 2. Hatanın Saptanabilirliği (Özkılıç, 2007; Wang vd., 2009; Kahraman ve Demirer, 2010; Özfirat vd., 2013).

SAPTANABİLİRLİK	SAPTANABİLİRLİK OLASILIĞI	DERECE
Fark Edilemez	Mümkün Değil	10
Çok Az	Çok Uzak	9
Az	Uzak	8
Çok Düşük	Düşük	7
Düşük	Çok Düşük	6
Orta	Orta	5
Yüksek Ortalama	Yüksek Ortalama	4
Yüksek	Yüksek	3
Çok Yüksek	Çok Yüksek	2
Hemen Hemen Kesin	Hemen Hemen Kesin	1

Çizelge 3. Şiddet Derecelendirmesi (Özkılıç, 2007; Wang vd., 2009; Kahraman ve Demirer, 2010; Özfirat vd., 2013).

ETKİ	ŞİDDETİN ETKİSİ	DERECE
Uyarısız Gelen Tehlike	Felakete yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen potansiyel hata	10
Uyarısız Gelen Tehlike	Yüksek hasara ve toplu ölümlere yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen tehlike	9
Çok Yüksek	Sistemin tamamen hasar görmesini sağlayan yıkıcı etkiye sahip ağır yaralanmalara, 3. derece yanık, akut ölüm vb. etkiye sahip hata türü	8
Yüksek	Ekipmanın tamamen hasar görmesine sebep olan ve ölüm, zehirlenme, 3.derece yanık, akut ölümcül hastalık vb. etkiye sahip hata	7
Orta	Sistemin performansını etkileyen uzuv ve organ kaybı, ağır yaralanma, kanser vb. yol açan hata	6
Düşük	Kırık, kalıcı küçük iş görmezlik, 2. derece yanık, beyin sarsıntısı vb. etkiye sahip hata	5
Çok Düşük	İncinme, küçük kesik ve sıyrıklar, ezilmeler vb. hafif yaralanmalar ile kısa süreli rahatsızlıklara neden olan hata	4

Küçük	Sistemin çalışmasını yavaşlatan hata	3
Çok Küçük	Sistemin çalışmasında kargaşaya yol açan hata	2
Yok	Etki yok	1

Risk Önceliklerinin Sayısı hesaplandıktan sonra, Çizelge 4.'te verilen değerlendirme tablosuna göre alınacak önlemler belirlenir ve uygulanır. Düzeltici önlemler ile RÖS skoru düşürülmeye çalışılır. Bunun için olasılığı, şiddeti ve saptanabilirliği azaltmak gerekir. Aynı Risk Önceliği skoruna sahip iki veya daha fazla risk varsa, yüksek risk puanına sahip olan öncelikli ele alınmalıdır.

Çizelge 4. Risk Öncelik Sayısı (RÖS) Değerlendirme Tablosu (Özkılıç, 2007; Çakar, 2009; Wang vd., 2009; Kahraman ve Demirer, 2010; Özfırat vd., 2013).

RİSK ÖNCELİK SAYISI DEĞERİ	ÖNLEM
RÖS<40	Önlem almaya gerek yok
40≤RÖS≤100	Önlem alınabilir
RÖS >100	Önlem alınması gerekir

3. MERMER İŞLETMESİNDE RİSK ANALİZİ

Uygulama çalışması, 1998 yılından beri, Denizli bölgesinde mermer ve traverten ocak işletmeciliği faaliyetlerinde bulunan bir işletmede yapılmıştır. İşletme üretim ocaklarında birçok farklı tür ve desende mermer blok üretimi yapmakta yine kendi fabrikasında ebatlı olarak ürettiği ürünlerini, yurtiçi ve yurtdışı müşterilerine sunmaktadır. 42 çalışanı bulunan işletmede elmas tel kesme yöntemiyle mermer blok üretimi gerçekleştirilmektedir. İşletmede üretim, açık işletme yöntemi ile 3 vardiya çalışılarak yapılmaktadır. Yöntem de öncelikli olarak yükseltmeleri 6-10 metre arasında değişen basamaklar oluşturulmaktadır.

Analiz için gerekli olan veriler belirlenirken mermer işletmesindeki mevcut risk analizi ve son 8 aylık kaza istatistikleri incelenmiştir. Kazaların oluşum nedenleri, öncesi ve sonrasında gerekli tedbirlerin alınıp alınmadığı değerlendirilmiştir. HTEA yöntemi ile yapılan risk analizinde, mevcut risk analizinde yer almayan ve iş kazası ile sonuçlanabilecek birçok risk unsuru olduğu tespit edilmiştir.

İşletmede yaşanan kazaların birçoğunun kesim makinelerinin telinin kopmasından kaynaklanan yaralanmalı iş kazaları olduğu tespit edilmiştir. Blokların ana kütteden kesilmesi ve devrilen blokların sayılanmasında kullanılan kesme makineleriyle ilgili gerekli güvenlik önlemlerinin yeterince alınmadığı belirlenmiştir.

Tel kopmalarının neden olduğu yaralanmaların ardından en sık karşılaşılan kazalar, açık ocak madeni operasyonlarında veya mermer ocağı operasyonlarına özgü olmayan şantiyelerde günlük iş sırasında meydana gelen kazalardır. Ağır malzeme taşınması esnasında ayağa malzeme düşürme, ele taş düşmesi, ekipmanların kablo ve bağlantı elemanlarının düzeninin sağlanmaması ve buna bağlı kazalar oluşturmaktadır.

Bir başka kaza türü ise özellikle çalışmanın yapıldığı işletmede kullanılan patlayıcı maddeler ile örtü tabakasının alınması, blok devirme işlemlerinde, mevcut ulaşım yollarının açılması için kullanılan patlayıcı maddelerden kaynaklanan kazalardır. Bu nedenle patlayıcı maddelere özellikle dikkat edilmelidir. Mermer madenciliğinde yetkili kişilerce yasal sınırlar içinde kullanılmalıdır.

Araştırmanın yapıldığı mermer ocağındaki sözlü görüşmeler esnasında kayıt altına alınmayan basamaktan düşme kazalarının olduğu bilgisine de ulaşılmıştır.

3.1. Mermer İşletmesindeki Mevcut Risk Analizi Yöntemi

Mermer işletmesinde tehlikelerin tespiti ve risk değerlendirmesi L Tipi Matris yöntemiyle yapılmaktadır. İşletmeden elde edilen iş kazalarının verileri gruplandırılmış ve iş kazası oranları belirlenmiştir. Ocaklarda kaydedilen 19 kaza incelenmiştir. Gruplanan kaza türleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Mermer Ocağında Gözlenen İş Kazalarının Türleri ve Dağılımı.

FAALİYET	KAZA TÜRÜ	KAZA SAYISI	AĞIRLIKLI KAZA OLUŞUM ORANI (%)
Ulaşım Nakliyat	İş Makinelerinden Meydana Gelen İş Kazaları	5	26%
Blok Üretim	Blokların Aynadan Kesilmesi, Devrilen Blokların Sayalanması, Taş Arasında Sıkışma veya Çarpmadan Dolayı İş Kazaları	2	11%
Blok Üretim	Tel Kesme Makineleri Yaşanan İş Kazaları	4	21%
Kademe - Patlatma	Örtü Tabakası Kaldırma, Ulaşım Yol Açma, Patlayıcı Madde Kullanımı vb. Faaliyetler Sonucu İş Kazaları	3	16%
Kademe	Sondaj & Delik Delme İşlemleri İle İlgili İş Kazaları	2	11%
Diğer	Diğer İş Kazaları	3	16%
TOPLAM KAZA MİKTARI		19	100%

İncelenen 19 kaza arasından, iş makinelerinden meydana gelen kazalar % 26 ile en yüksek orana sahiptir. İş makinelerinin neden olduğu kazalar, yükleme ve taşıma işlerinden kaynaklanmaktadır.

3.2. Hata Türü ve Etkileri Analizi Yöntemi ile Risk Analizi

İşletmede mevcut tehlikeler için HTEA yöntemiyle belirlenmiş durumlarda ortaya çıkabilecek olası hata ve potansiyel tehlike çeşitleri tespit edilmiştir. Daha sonra, her bir hata tipinin potansiyel etkileri ve nedenleri araştırılmış ve her bir hata tipine karşılık gelen etkiler için yapılması planlanan kontroller belirlenmiştir. Hesaplanan Risk Öncelik Sayısı (RÖS) değerine bağlı olarak da potansiyel tehlikeler için tespitler yapılarak öneriler paylaşılmıştır. Çizelge 6'da uygulamanın yapıldığı mermer işletmesine ait olası hatalar ve bu hataların muhtemel etkileri ve hatanın olası nedenlerine dair şiddet, olasılık ve saptanma değerlerine bağlı Risk Öncelik Sayıları hesaplanmıştır.

Hata etkisinin şiddetini belirlemek için iş kazası kayıtlarından, simülasyonlardan ve tecrübelerden faydalanılır. Şiddet değeri belirlenirken sadece hatanın etkisi esas alındığından, belirli bir sonuç yaratan hatanın tüm olası nedenleri de aynı şiddet değerini alır. Saptanabilirlik aşamasında hata sanki olmuş gibi varsayılarak mevcut kontrollerle hatanın işi yapan personele ve çevresindeki personele etkileme olasılığı derecelendirilir. Hata nedeninin oluşma olasılığı istatistiksel yöntemlerden yararlanılarak belirlenir. Her bir nedenin, hata türünün oluşmasındaki katkısını ise varyans analizi, Taguchi teknikleri, Bayes analizi gibi istatistiksel yöntemlerle belirlemek mümkündür. Veri tabanı oluşturulmamışsa ve hesaplama kullanılmıyorsa, grup üyelerinin deneyimlerinden yararlanılarak olasılık değerlerinin tahmin edilmesi yoluna gidilir (Stamatis, 1995).

RÖS değerlerinin hesaplanmasında kullanılan Olasılık, Şiddet ve Saptanabilirlik bileşenleri belirlenirken;

- Analistin saha gözlemleri ve çalışanlar ile yapılan sözlü görüşmeler,
- SGK ve işletmeye ait geçmiş iş yıllarına ait iş kazası ve meslek hastalıkları kayıtları,
- İş Güvenliği Kurulu toplantı tutanakları dikkate alınmış ve ekip yargısı ile birleştirilerek neticelendirilmiştir.

Çizelge 6'da Hata Türü ve Etkileri Analiz sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, işletme tarafından yapılan L Tipi Matris yönteminin kullanıldığı risk analizi sonuçları ile karşılaştırılmak istenmiştir. Ancak işletmenin kendi elde ettiği sonuçları paylaşmaması sebebiyle bu istek gerçekleştirilememiştir. Çizelge 5'te verilen, uygulamanın yapıldığı mermer ocağında gözlenen iş kazaları ile HTEA sonuçlarından elde edilen yüksek RÖS (>100) değerine sahip tehlikelerin tutarlı olduğu söylenebilmektedir (Çizelge 6)

Çizelge 6. Mermer Ocağında Gözlenen İş Kazaları ile HTEA Sonuçlarının Kıyaslaması

İŞ KAZALARI		HTEA SONUÇLARI				
KAZA TÜRÜ	AĞIRLIKLİ KAZA OLUŞUM ORANI (%)	OLASI HATA ETKİSİ	O	Ş	S	RÖS
İş Makinelerinden Meydana Gelen İş Kazaları	26	Kamyonlara dengesiz ve aşırı malzeme yüklenmesi	4	7	4	112
		İş makinesinin yükü askıda bekletmesi	4	7	4	112
		Kamyonların hız limitini aşması	3	7	6	126
Blokların Aynadan Kesilmesi, Sayalama, Taş Arasında Sıkışma veya Çarpımdan Dolayı İş Kazaları	11	Sayalama makinesinde yeterli debide su kullanılmaması, tellerin aşırı ısınarak aşınması sonucunda tel kopması	8	6	5	240
Tel Kesme Makinelerinde Yaşanan İş Kazaları	21	Elmas tel kesme makinesinin tel koparması ve soket fırlaması	7	6	4	168
		Makinenin ilk çalıştırılmasında tele elle müdahale edilmesi	8	5	5	200
		Çalışanların makine durmadan kesilen blokların üzerine çıkması	6	5	6	180
Örtü Tabakası Kaldırma, Ulaşım Yol Açma, Patlayıcı Madde Kullanımı vb. Faaliyetler Sonucu İş Kazaları	16	Patlayıcı madde kullanımı sırasında cep telefonu kullanımı	5	8	4	160
		Atık döküm alanında uç kısımlarda kamyonun döküme yanaştığı kısımlarda topuk bulunmaması	5	6	6	180
		Basamaktaki heyelan	5	10	5	250
Sondaj & Delik Delme İşlemleri İle İlgili İş Kazaları	11	Delik delme işlemi sırasında operatörün kişisel koruyucu kullanmaması	8	5	3	120
Diğer İş Kazaları	3	Ocak sahasının etrafının tel örgü veya korkulukla çevrilmemesi	5	7	5	175
		Gece çalışmaları için aydınlatmanın yetersiz olması	8	9	7	504
		Döküm sahasındaki heyelan	5	7	3	105

İş kazası sayısı açısından kıyaslanacak olursa son 8 ayda 19 adet iş kazası yaşanmıştır. İşletmede yapılan gözlemler ve sözlü görüşmeler sonucunda; HTEA yöntemiyle belirlenen risklere karşı alınan önlemler sonrasındaki 8 aylık dönemde ise sadece 3 adet iş kazası yaşanmıştır.

İşletmede saptanan olası hataların RÖS değerleri belirlendikten sonra, risklerin oluşturabileceği etkiler, bu etkilerin gerçekleşmemesi için mevcut ve alınması gerekli olan tedbirler belirlenmiştir (Sırakaya, 2019).

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir mermer işletmesinde iş kazası öncesinde risk analizi yapılması ve bir iş güvenliği yönetim sistemi kurulması hedeflenmiştir. İlk olarak işçi sağlığı ve emniyetini olumsuz olarak etkileyen tehlikeler tespit edilmiş ve tehlikelerin neden olabileceği risklerinin önlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, işletmede mevcut risk analizi ile Hata Türü ve Etkileri Analizinden elde edilen bilgiler değerlendirilmiştir.

Sonuçlar gösteriyor ki iş kazası sayılarında ve buna bağlı maddi ve manevi kayıpların gözle görülür şekilde azalması işletmedeki mevcut hataların farklı bir yöntem ile analiz edilmesinden dolayı, çalışan personelde hatalara ve alınacak önlemlere yönelik iş sağlığı ve

güvenliği bilinci oluşturmakta, farkındalık yaratmaktadır. Bu da işletmedeki iş kazalarının sayısının azaldığını göstermektedir.

İşletmedeki mevcut risk analizine ek olarak, Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi kullanılarak yapılan risk analizinden sonra alınabilecek önlemler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Mermer ocaklarında çalışacak işçilere düzenli olarak iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri verilmelidir. Olağandışı bir olay durumunda, önceden yapılacak eğitim ve tatbikatlarla işçilere hangi işçilerin hangi ekipmanı kullanacakları ve hangi ekipmanı kullanmaları gerektiği gösterilmelidir.
- İşçilerin ve acil durumlarda irtibat kurulacak yakınlarının adres, telefon ve kan grubu gibi acil durumlarda ihtiyaç duyulabilecek kişisel bilgileri, ihtiyaç duyulabilecek yerlere asılmalı, güncellenmeli ve kaydedilmelidir.
- Acil durumlarda panolara kimin hangi görevi yapması gerektiği, büyük harf ve rakamlarla belirtilerek asılmalıdır. İlk başta gereksiz olarak kabul edilen ve genellikle işçiler tarafından okunmayan bu yardımcı malzeme türü, zaman içinde göz hafızası ile öğrenilir.

İş makinelerinden meydana gelen iş kazalarına karşı alınabilecek önlemler;

- İşçilerin iş makinelerin çalışma alanlarında çalışmasına izin verilmemeli, sadece nitelikli ehliyet sahibi operatörler iş makinelerini kullanmalıdır.
- Kesim makineleri hariç diğer makineler söz konusu tehlike bölgesinden emniyet mesafesi olarak 30 m geride bulundurulmalıdır.
- İş makineleri çalışır durumdayken çalışma bölgesinde sadece yetkili personel bulunmalıdır.
- İşletmedeki faal her makine için her türlü işletim ve bakım bilgisi yazılı olarak kayıt altında tutulmalıdır.

Blokların aynadan kesilmesi, sayalama, taş arasında sıkışma veya çarpmadan kaynaklanan iş kazalarına karşı alınabilecek önlemler;

- Kesme işlemi sırasında yeterli miktarda su debisi ile sağlanmalıdır.
- Telin kayaç içindeki yeri değiştirildikçe su hortumunun da yeri değiştirilmelidir.
- Kesme işlemi sırasında tellerin sıkışmasını ve dönme hareketini engelleyecek diğer unsurlara da dikkat edilmelidir. Telin rahat hareket dönmesi sağlanmalıdır. Kesimi yapılan taşların düşmesi veya kopması olasılığına karşı taşların gelebileceği yerlerden işçiler ve malzemeler uzak tutulmalıdır.
- Sayalama makinasında tel kopma ihtimali daha çok olduğundan makinanın arkası ocak içine doğru çevrilmemelidir.
- Sahada yapılan sayalama çalışmalarında kişisel koruyucular mutlaka kullanılmalıdır.
- Üst basamaklardan aşağıya doğru parça düşmesini engellemek için periyodik saha kontrolleri yapılmalıdır; tehlikeli olabilecek parçalar sökülmelidir.
- Alt basamaklarda iş yapılırken üst basamaklardan düşebilecek malzeme ve taşlar için gerekli önlemler alınmalı, düşebilecek parçalar sökülmeli ve taş parçaları düzenli kontrollerle kaldırılmalıdır.

Tel kesme makinelerinde yaşanan iş kazalarına karşı alınabilecek önlemler;

- Tel kesme makineleri ile çalışma yapıldığında kesim doğrultusunun arkasına ahşaptan yapılan koruyuculu siperlikler yerleştirilmelidir.
- Tel kesme makinesinin dönme istikametine göre ön ve arka doğrultusunda işçilerin veya üçüncü şahısların bulunmaması için önlemler alınmalıdır.
- Her kesim işleminden önce kullanılacak telin durumu kontrol edilmelidir.
- Makine çalıştırılırken tele fazla gerilme verilmemesine dikkat edilmelidir. Teldeki fazla gerilme hemen ya da sonradan kopmalara neden olur.
- Kesilen kayacın sertliğine göre uygun tel hızı ve germe kuvveti uygulanmalıdır.

Örtü tabakası kaldırma, ulaşım yolu açma, patlayıcı madde kullanımı vb. faaliyetler sonucu iş kazalarına karşı alınabilecek önlemler;

- Atım sahası, ateşlemeden 20 dakika önce tüm personel ve ekipmanlardan arındırılır.
- Elektrikli patlatma yapılıyor ise patlatma sahası yakınında (10m mesafe içinde) cep telefonları, telsizler daima kapalı tutulmalıdır.

Sondaj ve delik delme işlemleri ile ilgili iş kazalarına karşı alınabilecek önlemler;

- Delik delme işinde çalışanlar eldiven, toz maskesi, kulaklık, baret kullanmalıdırlar.

Diğer iş kazalarına karşı alınabilecek önlemler;

- Elektrik ve elektrik kaçakları sonucu oluşabilecek iş kazalarını önlemek için elektrik taşıyan kablolar ve bağlantıları düzenli olarak kontrol edilmelidir.
- Elektrik kabloları ezilme veya kesilmeye karşı açıktan döşenmemelidir.
- Hiçbir çalışan kendi sorumluluğu olmayan işe müdahale etmemeli veya müdahale ettirmemelidir.
- Görevlendirilmeyen kişilerin ocağa girmesine izin verilmemelidir. Her türlü kesim işi teknik personel ve yetkin uzmanların yanında yapılmalıdır.

Bütün bu tehlikelere bakıldığında, işletme içerisinde alınmış olan kontrol önlemlerinden sonra görülüyor ki, dikkat edilmesi gereken en önemli konunun işçilerin ilk işe girdiklerinde almış oldukları temel iş sağlığı ve güvenliği eğitimi olduğu ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte işletmede oluşan olumsuzluklar gözden geçirilmeli ve görevli mühendisler nezaretinde uygun görülen hususlar giderilmeye çalışılmalıdır. Ancak bu şekilde yapılan titiz bir çalışma ile istenmeyen kazaların ve olayların önüne geçilebilecektir. İşyerlerindeki çalışmaların sağlıklı ve düzenli bir şekilde ilerlemesi için gerek çalışanların gerekse işverenin sağlık ve emniyet kurallarına uymaları şarttır. Bu konulardaki farkındalık, işçilerin ve işyerinin uğrayabileceği zararları engelleyecek veya en aza indirecektir. Uygulamalarda çalışanların görüş ve tavsiyelerinin alınması, çalışanları direkt olarak sistemin bir parçası yapacaktır. Bu da iş memnuniyetini ve iş verimini olumlu yönde etkileyecektir. Bu konuda yapılan çalışmalar sadece kanuni gereklilik olarak görülmemelidir. Uzun zaman dilimi içerisindeki yararları her zaman göz önünde bulundurulmalıdır (Sırakaya, 2019).

5. KAYNAKLAR

- Ağca, E. (2010). Mermer Fabrikalarında İş Güvenliği Risk Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Akın, B. (1998). ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde Hata Türü ve Etkileri Analizi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 182.
- Akkurt, M. (2002). Kalite Kontrol (Excel Destekli-Hata Türü ve Etkileri Analizi), Birsen Yayınevi, İstanbul, 687.
- Çakar, C. (2009). Bir Petrol Sondaj Tesisinde Hata Türü Ve Etkileri Analizi İle Risk Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Çelik, M.Y., Ersoy, M., Yeşilkaya, L., Kayı, Z., (2017). Mermer Ocaklarında Elmas Tel Kesme ve Zincirli Kollu Kesme Makinelerinin Birlikte Kullanımının İncelenmesi, Politeknik Dergisi, 20 (2): 459-473.
- Dülger S. (2015). Bir Mermer İşletmesindeki Problemlerin TRIZ Yöntemi ile Değerlendirilmesi Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Eleren A. ve Ersoy M. (2011). Mermer Ocaklarında Elmas Tel ve Kollu Kesiciyle Kesme Teknolojilerinin İş Güvenliği Bakımından Karşılaştırılmasında Hata Türü Etki Analizi Yönteminin Uygulanması, Türk Bilim araştırma Vakfı Dergisi, Cilt:4, Sayı:1, Sayfa:9-19.
- Ersoy M, Eleren A, Kayacan S (2017) An Application of Failure Mode and Effect Analysis on Improving Occupational Health and Safety Process of Marble Factories. Int J, Natural Disaster Health Secur. 4(1), 22-29. doi: <http://dx.doi.org/10.19070/2572-7540-170005>
- Eurostat (Avrupa İstatistik Ofisi), (2007). Statistical Analysis Of Socio Economic Costs Of Accidents At Work In The European Union Final Report.
- Göztepe C. (2014). Mermer Ocağı ve Mermer Fabrikasında Risk Değerlendirmesi ve İşig Uygunsuzluk İzleme Sistemi, Maden Mühendisleri Odası, İstanbul
- Gümüş (2005). Diyarbakır Bölgesinde Mermer Ocağı İşletmeciliğinde İş Güvenliği ve İş Kazalarının Doğurduğu Sonuçlar, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
- Gümüş ve Akkoyun (2006). Diyarbakır Bölgesi Mermer Ocak İşletmeciliğinde Sık Karşılaşılan İş Kazaları Üzerine Bir İnceleme, MERSEM'2006 Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, Afyonkarahisar, 103-107.
- Kahraman, Ö. ve Demirer, A. (2010). "OHSAS 18001 Kapsamında FMEA Uygulaması", Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt 7, No 1, 53-68, 2010.
- Konuk, A., Kasap, Y., Aslan S. (2009). Türkiye Mermer Ocaklarında Risk Analizi, Maden İşletmelerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği Sempozyumu, Adana, 343.,
- Musabeyli, E. N. (1999). Ürünün Önemli Kalite Karakteristiklerinin Belirlenmesinde Tasarım Hata Türü Ve Etkileri Analizi İle Kalite Evinin Birlikte Kullanılması, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 102.

- Nouri, J., Abdi, N., Arian Asl, A., Mohseni, M., Moeeni, M., Abooshahab, Z., (2013). Application Of Failure Mode And Effect Analysis In Risk Assessment of Mining Plan, Proceedings of the 13th International Conference of Environmental Science And Technology Athens, Greece, 5-7 September 2013
- Özçelik, A. (2013). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Fine-Kinney Yöntemiyle Risk Yönetimi Mermer İşletmesi Örneği, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Özfirat, M.K., Mızrak Özfirat, P., Kahraman, B., Can, Y. ve Öney, Ö. (2013). “Yeraltı madeninde nakliyatla oluşan risklerin Hata Türü Etki Analizi (HTEA) yöntemiyle sınıflandırılması”, Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, Adana, 289-295, 21- 22 Kasım 2013.
- Özkılıç, Ö. (2007). İş Sağlığı Ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri, Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu, 246, 8, 13, 14, 15, 21, 34.
- Sarıkaya, H. (2014). Özçelik Mermer Fabrikasında İş Güvenliği ve Risk Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Sırakaya L., (2019) Mermer İşletmelerinde Uygulanabilecek Risk Analizi Yöntemlerinin İncelenmesi: Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Stamatis, D.H., (1995). FMEA From Theory to Execution, ASQ Publications, Milwaukee, Wisconsin, 49 s.
- Şen, A., Deveci, İ., Yenigöl F., Gürkaynak, Y. (1999). Bir Sistem Tasarımında KFG, HMEA ve Güvenilirlik Tekniklerinin Tasarım Güvencesi Amacı ile Kullanılması, 4. Ulusal Ekonometri Ve İstatistik Sempozyumu, Antalya, 1215.
- Usuğ, C. (2002). Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Üretim ve Hizmet Sektörü Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 236.
- Wang, Y.M., Chin, K.S., Poon, G.K.K. ve Yang, J.B. (2009). “Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean”, Expert Systems with Applications, Cilt 36, 1195-1207

MERDANELİ BRİKET PRESLERİNDE GEREKLİ SIKIŞTIRMA KUVVETLERİ

İsmet ÇELİK¹, M.Alper DEMİRAL²

ÖZET

Linyitlerin kırılğan karakterde olması, üretim, taşıma ve depolama esnasında tozlaşmaya neden olmaktadır. Kömürün briketlenmesinde başlıca amaç toz kömürün çeşitli biyokütle ve bağlayıcı malzemelerle karıştırılıp daha uniform yakıt elde etmektir. Bu çalışmada, öncelikle günümüzde kullanılan briket makinelerinin çalışma prensipleri ve teknolojileri incelenmiştir. Deneysel çalışma aşamasında Tunçbilek toz kömürü ve şlamı, kireç ve melas ile belli karışım oranlarında karıştırılarak hidrolik preste briket numuneleri elde edilmiştir. Standartlara uygun briket üretebilmek için gerekli kuvvet ve basınç tespit edildi. Daha sonra endüstride yaygın kullanılan merdaneli preslerin briketleme kuvveti belirlenerek gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Briket yakıt, pres, enerji, merdaneli pres

ABSTRACT

The fact that lignites are fragile causes pollination during production, transportation and storage. The main purpose of briquetting coal is to mix powdered coal with various biomass and binder materials to obtain more uniform fuel. In this study, firstly the working principles and technologies of the briquette machines used today are examined. During the experimental study, briquette samples were obtained by mixing Tunçbilek powder coal and slim, lime and molasses with certain mixing ratios. The force and pressure required to produce briquettes in accordance with the standards were determined. Then, the briquetting force of roller presses commonly used in the industry was determined and evaluated.

Keywords: Briquette fuel, press, energy, roller press

1. GİRİŞ

Briketleme genellikle hidrolik veya mekanik presler kullanılarak yapılır. Bu presler bağlayıcı ilavesi olmadan veya daha düşük miktarda bağlayıcı ile daha büyük boyutlarda ki granül haldeki hammaddeyi ve daha fazla miktarda nem içeriğine sahip karışımları briketleyebilir [1]. Briketleme ile nakliye özellikleri, kalorifik değeri, yanma özellikleri daha iyi olan ayrıca zararlı yanma emisyonları daha iyi ve daha uniform formda yakıt elde edilir. Türkiye'nin sahip olduğu biyokütle kaynakları ile düşük kalorili linyit kömürlerinin karıştırılarak, briketleme işlemi ile ısı değeri ve dayanıklılığı daha yüksek, alternatif bir katkı

¹ Prof.Dr., Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 43270, Kütahya, e-mail: ismet.celik@dpu.edu.tr

² Makine Mühendisliği, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Kütahya, e-mail: demiralper26@hotmail.com

yakıt haline dönüştürülebileceği belirlenmiştir [2]. Linyite biyokütle numunelerinin ilave edilmesi, briketlerin düşme dayanımını olumlu yönde, suya dayanıklılığını ise olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır [3].

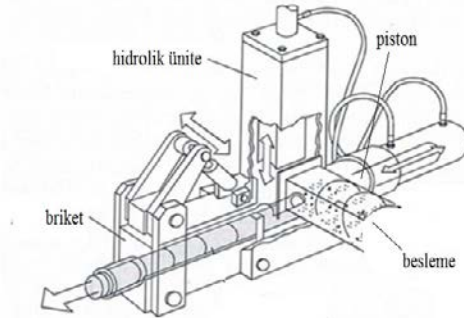
Kömürün briketlenmesinde başlıca iki amaç söz konusudur. Bunlardan birincisi yeterli ısı değerine sahip olan kömürün çeşitli maddelerle karıştırıp daha kaliteli bir yakıtla dönüştürülmesidir. İkincisi ise kömürün yeterli ısı değerine sahip olmaması ve yüksek nem oranı dolayısıyla doğrudan evsel yakıt olarak yakılması sıkıntılı olan kömürün kurutma yolu ile ısı değerini arttırmaktır. Briketleme sonunda kırılğan, çabuk tozlaşan, nem içeriği yüksek linyitler daha yüksek ısı değerine, daha yüksek dayanım gücüne sahip olabilmektedir [4].

1.1. Briketleme Makinelerinin Teknolojisi

Briketleme, basit bir işlem olmayıp birçok faktörü içeren karmaşık bir prosestir. Biyokütle ve kömürün briketlenmesinde; petrografik özellikleri ve yapısı, nem ve mineral madde miktarları ile tane boyut dağılımı önemli rol oynamaktadır. Ayrıca briketleme işleminde uygulanan presleme basıncı ve süresi, malzeme karışımının sıcaklığı, biyokütle ve bağlayıcı maddelerinin miktarı ve özellikleri briket oluşumunu etkileyen faktörlerdir [5]. Bu bölümde yaygın olarak kullanılan briketleme makineleri açıklanmaktadır.

Hidrolik Pistonlu Presler

Briketleme yöntemlerinde en eski kullanılan teknoloji Şekil 1’de görüldüğü gibi hidrolik pistonlu prestir. Silindirin hareketi daha yavaş ve strok şeklinde olduğu için çıkan ürün miktarı düşüktür. Briketleme sınırlı basınç nedeniyle numune yoğunlukları 1000 kg/m^3 değerinin altındadır. Bu makinelerin tipik üretim kapasiteleri 50-400 kg/h aralığındadır. Bununla birlikte, bu makineler % 15’ten daha yüksek nem içeriğini tolere edebilir [6]. Hidrolik briketleme makinaları kullanımlarının kolay olması, bakım masraflarının ve enerji tüketimlerinin düşük olması nedeniyle avantajlı olmalarına rağmen briket yoğunluğunun ve üretim kapasitesinin düşük olması ile üretilen briketlerin kırılğan yapıda olmaları dezavantajları olarak görülür [7].



Şekil 1. Mekanik Pistonlu Presin şematik gösterimi

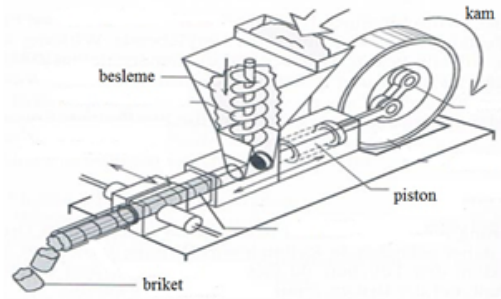
Mekanik pistonlu presler:

Mekanik pistonlu pres, Şekil 2’de görüldüğü gibi piston, besleme yolu ve piston hareketini sağlayan eksantrik kamdan oluşur. Mekanik pistonlu pres, yüksek yoğunluğa sahip ($>1000 \text{ kg/m}^3$) ve bağlayıcı ilavesiz yüksek kaliteli briket elde etmek için tercih

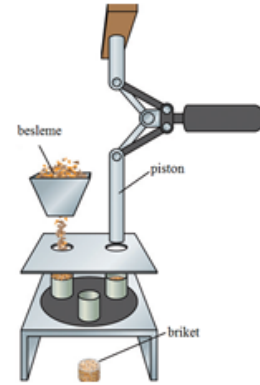
edilir. Yaklaşık 2000 kg/cm²'lik bir sıkıştırma basıncı ile şekillendirme yapılabilir. Mekanik pistonlu presler genellikle 200-2500 kg/h aralığında büyük ölçekli üretim için kullanılır. Mekanik bir presin çalışma ömrü hidrolik preslerden çok daha uzundur [6].

Tabletleme presi:

Tabletleme, hidrolik motorla veya elle biyokütleyi sıkıca bastırarak 10,16 cm ile 15,24 cm çapında bir silindirik kalıp içinde yaklaşık 25,4 ila 5,08 cm'lik (çoğu biyokütle briketinden daha küçük) miktara yoğunlaştırır (Şekil 3). Kalıpta 1379 bar basınç oluşması, malzemenin bağlayıcı eklemeksizin birbirine yapışması için yeterlidir. Uzun, iri kesimli hammaddelerin birbirine daha kolay yapışmaları, işlem sürecini elverişli kılar. Tablet yoğunlukları, 160,18 kg/m³'lük balya ve 720,8 kg/m³'lük peletlere kıyasla ortalama 881 kg/m³'tür. Bununla birlikte, tabletleme işleminde pelet haline getirme işleminden daha fazla enerji kullanılır [8].



Şekil 2. Mekanik Pistonlu Presin şematik gösterimi



Şekil 3. Tabletleme makinesinin şematik gösterimi

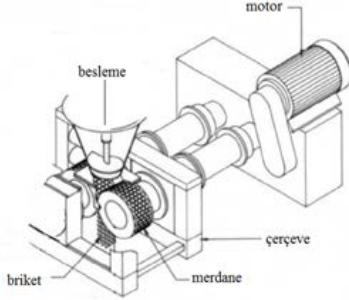
Merdaneli presler:

Endüstride en yaygın kullanılan briketleme teknolojisidir. Merdaneli presler Şekil 4' de görüldüğü gibi birbirine paralel eksenleri üzerinde zıt yönde dönen, aynı çapa sahip iki silindirden oluşmaktadır. İki merdane arasındaki boşluk merdanelerin dönüşü sırasında malzemeyi daralan hacme doğru sürükler. Malzeme merdaneler üzerinde bulunan küçük boşluklarda sıkıştırılarak ve şekillendirilir. Briketleme prosesi iki merdane arasındaki mesafe (boşluk), biyokütle türü, partikül boyutu, nem içeriği ve bağlayıcı ilavesi gibi birçok faktöre bağlıdır. Yoğunlaştırılmış ürünün kalitesi üzerinde büyük rol oynayan tasarım parametreleri, merdanelerin çapı, boşluk aralığı, merdane kuvveti ve kalıp şeklidir. Briket numunelerinin yoğunlukları 450 ile 550 kg/m³ arasında değişir [9].

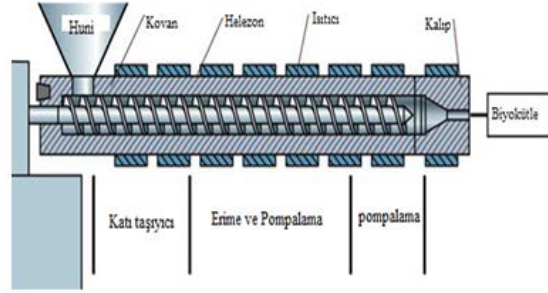
Vidalı Briketleme:

Vidalı briketleme, Şekil 5'te görüldüğü gibi, besleme, helezon, ısıtıcı, kalıp ve kovandan oluşmaktadır. Bu ekstrüzyon makinalarında, silindir içerisinde sıcaklık yükselmesi nedeniyle biyokütledeki mevcut lignin akma noktasına gelerek bir yapıştırıcı görevi görmekte ve malzeme, kalıbın şeklini alarak bağlayıcı kullanmaksızın briketlenmektedir. Vidalı briketleme

makinalarında bulunan ısıtma sistemi, yatırım maliyetini arttırmaktadır. Materyal çıkışı sürekli olduğundan briket büyüklüğü üniformdur. Briketlerin dış yüzeyi kısmen kömürleştiğinden tutuşma ve yanması kolaydır. Briketlerin ortasındaki boşluk yeterli hava sirkülasyonu sağladığından yanmayı kolaylaştırır. Makina şok yükler olmaksızın düzgün çalışır. Pistonlu tipte olduğu gibi doğrusal çalışan parçalar ve volan olmadığından hafiftir. Makinanın güç ihtiyacı pistonlu tipe göre daha yüksektir [7].



Şekil 4. Merdaneli pres makinası şematik gösterimi



Şekil 5. Vidalı briketleme makinesinin şematik gösterimi

2. METARYAL VE METOD

Endüstride briketleme için en sık kullanılan teknoloji merdaneli pres makineleridir. Merdaneli pres makineleri üretim kapasitesinin fazla olması ve ilk yatırım ve bakım maliyetinin düşük olması nedeniyle tercih edilirler. Ancak literatürde merdaneli preslerin briketleme basınçları ile ilgili olarak bir kaynağa ulaşılamadı. Bu noktadan hareket ederek merdaneli presin briketleme basıncı belirlenmeye çalışıldı.

Basınc bir yüzeye uygulanan dik kuvvetin yüzeyin birim alanına oranıdır. Katı basıncından bahsederken katı bir cismin ağırlığının, cismin oturduğu yüzeye uyguladığı basınç kastedilir. Ama cismin üstüne bastırılabilir ya da cisme yukarı doğru bir miktar kuvvet uygulanabilir; bu durumlarda cismin ağırlığıyla aynı yönde uygulanan kuvvetleri de hesaba katmak gerekir. Hidrolik presin basıncını hesaplamak için malzemeyi sıkıştırma anında, manometreden okunan basınç ile malzemeyi sıkıştırdığımız dairesel kalıbın çapı yeterli olacaktır (Denklemler 1).

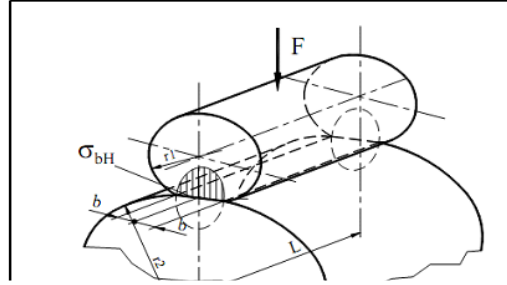
$$p = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Merdaneli preste malzeme davranışının silindirler arasında simetrik olduğu varsayılır ve alanın sadece yarısı dikkate alınır. Merdaneli pres makinalarında iki adet silindirin birbirine en yakın bölgesinde oluşan yüzey basıncı briketlenen malzemenin sıkışmasını sağlar. Silindirik yüzeyli iki cisim birbirine kuvvet altında dıştan temas ediyorsa, temas bölgelerinde basınç oluşur. Bu temas bölgelerindeki basma gerilmeleri "Hertz yüzey basıncı" olarak tanımlanır ve Şekil 6' da görülmektedir. Malzeme homojen ve izotropdur, Hooke kanunu geçerlidir ve küçük bir alan olarak düşünülen çizgisel temas bölgesinde sadece normal kuvvet varsayılır. Temas anındaki deformasyon parçanın diğer boyutlarına oranla çok küçük varsayılır. Kuvvetin bütün

temas alanına eşit olarak dağıldığı var sayılır [10]. Merdaneler arasında silindirlerin birbirlerine temas sırasında oluşan Hertz Basıncı ve silindirlerin çevresel teğetindeki temas uzunluğu eninin yarısı şu şekilde hesaplanır:

$$\sigma_b = -\sqrt{\frac{FE}{2\pi r L(1-\nu^2)}} \dots\dots(2)$$

$$b = \sqrt{\frac{8Fr(1-\nu^2)}{\pi EL}} \dots\dots(3)$$



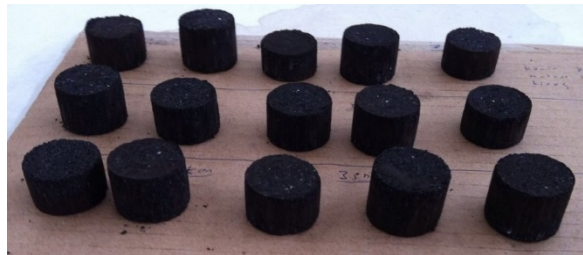
Şekil 6. Silindirik yüzeyler arasında Hertz basıncı

Bu denklemlerde F radyal yöndeki sıkıştırma kuvveti, r silindirlerin yarıçapı, L silindirlerin eksenleri yönündeki temas uzunluğu, E Elastikiyet modülü ve ν Poisson oranıdır.

Briket presleme basıncının belirlenmesi:

Hidrolik pres ile briketleme yapılarak farklı karışım oranlarında, uygun briketlerin presleme basıncı ve süresi tespit edildi. Preslenme süresi ve basıncı, briketin basınç dayanımı ve düşme sağlamlığıyla doğru orantılı olarak değiştiğinden önemli parametrelerdendir. Eğer briket yeterli basınçta gerekli süre kadar sıkıştırılmazsa standartlara ulaşamayacaktır. Çalışmada 15 ton kuvvet uygulayabilme kapasitesine sahip bir hidrolik pres kullanıldı. Pres, 27.2 mm çaplı bir silindir kalıp içerisindeki karışımı sıkıştırması ile briketler elde edildi.

Birçok araştırmacı, yeterli mekanik dayanıklılığa sahip briket elde edebilmek için optimum briketleme basıncının seçilmesi gerekliliği vurgulamıştır [11-14]. Tunçbilek linyit kömür tozları kullanılarak 2, 3 ve 4 ton'luk kuvvetler 3 saniye süreyle uygulanarak Tablo 1' de belirtilen 6 farklı karışım oranlarında, Şekil 7'te görüldüğü gibi, briket numuneleri elde edilmiştir.



Şekil 7. Hidrolik Preste Briketlenen Numuneler

Tunçbilek linyitleri bağlayıcı madde kullanılmadan briketlenememiştir ve bağlayıcı madde olarak melas kullanılmıştır. Buravchuk ve Guryanova [11], yakıt briketleri üretmek için melası bağlayıcı madde olarak kullanmışlar ve üretilen briketlerin düşme, aşınma ve kırılma sağlamlığı açısından tüketici ihtiyaçlarını sağladıklarını belirtmişlerdir. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında Multi Siklon Ünitesi (MSÜ) öncesi, MSÜ sonrası lavvar atığı olan ve hiçbir yerde kullanılmayan şlam alınarak, belirli oranlarda kireç ve bağlayıcı kullanılarak briketleme yapılmıştır. Yer altından çıkarılan ham halde olan materyalin suyun içine belirli oranda demir tozu katılarak yoğunluğunun ayarlanması sonucu elenmesiyle saf kömür elde edilmesini sağlayan sisteme Lavvar tesisi denir. Kömürün yıkanması olarak da tabir edilen süreç sonrası ortaya çıkan sulu çamura ise şlam denir. Melas malzemesi ise Kütahya Şeker Fabrika'sından pancar atığı olarak temin edilmiştir. Daha sonra üretilen briketlerin TS12055'e göre dayanıklılık analizleri yapılmıştır [15].

Tablo 1. Kömür Briketi Karışım Oranları

Numune Kodu	MELAS (%)	KİREÇ (%)	MSÜ ÖNCESİ (%)	ŞLAM (%)	MSÜ SONRASI (%)
B1	5	5	-	-	90
B2	10	5	-	-	85
B3	15	5	-	-	80
B4	20	5	-	-	75
B5	15	5	-	80	-
B6	15	5	80	-	-
B7	-	-	100	-	-
B8	-	-	-	100	-
B9	-	-	-	-	100

Tunçbilek Linyit kömürünün ısıl değerleri Türkiye'deki diğer Linyitlere oranla yüksektir. MSÜ öncesi Tunçbilek Linyit kömürü için 1887 kcal/kg ısıl değerine, şlam için 1665 kcal/kg ısıl değerine ve MSÜ sonrası Tunçbilek Linyit kömürü için 5564 kcal/kg ısıl değerine sahiptir. MSÜ sonrası Tunçbilek Linyit kömürüne kireç ve melas maddeleri katılmasıyla briket numunelerinde ısıl değeri azalmakta olup, MSÜ öncesi Tunçbilek Linyiti kömürüne ve Şlam' a kireç ve melas maddeleri katılmasıyla briket numunelerinde ki ısıl değerleri artmaktadır [15].

MSÜ öncesi ve MSÜ sonrası Tunçbilek linyiti ve Şlam belli toz kireç ve melas oranlarıyla bir araya getirerek elde edilen briketlerin dayanıklılık testleri Kömür Briketi-Ev ısınmasında kullanılan TS12055'e göre yapılmıştır. Dayanıklılık analizleri için Düşme Dayanımı ve Suya Dayanım testleri uygulanmıştır. Yapılan çalışmada persleme için 4 ton'luk kuvvetin gerekli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca %10 ve %15 melas ile %5 kireç karışımı içeren numunelerin (B1, B2, B3, B5 ve B6) düşme dayanımı testinden geçebildiği tespit edilmiştir. Su dayanım testinden de aynı numunelerin geçebildiği tespit edilmiştir.

Dayanıklılık testlerinde uygun olan bu numunelerin hidrolik preste ki sıkıştırma kuvvetinden yola çıkarak merdaneli preslerde oluşturulması gereken briketleme basıncı elde edildi. Deneysel olarak yapılan testlerde hidrolik preste Ø27.2mm çapındaki kalıba 4 ton'luk

kuvvet uyguladığında elde edilen kömür briketi numunelerinin TS12055'e uygun olduğu görüldü. Hidrolik preste yapılan briketlemede malzemeye uygulanması gereken sıkıştırma basıncı (p), Denklem 1 ile hesaplanarak 67.56 MPa olması gerektiği tespit edildi.

Merdaneli presin presleme basıncı:

Hidrolik presteki briketleme basıncı ile merdaneli presin sıkıştırma basıncının birbirine eşit olması gerekliliğinden yola çıkılmıştır. Hertz basıncı yaklaşımına göre Denklem 1'den, $\varnothing 500$ mm çapa (2r) ve 300 mm uzunluğa (L) sahip bir merdaneli presin, merdane malzemesinin elastiklik modülü ve Poisson oranı biliniyorsa, Hertz basıncının oluşturduğu kuvvet (F) hesaplanabilir. Merdaneli pres teknolojisinde briket sıkıştırması Hertz basınç teorisiyle tasarlandığında, Denklem 1'de bulunan basınç (67.56 MPa) Hertz basıncına denk olduğu varsayılır. Denklem 2'de bu değerler yerine yazıldığında merdaneli presin sıkıştırma kuvveti 94520,86 N olarak hesaplanır. Silindirlere birbirlerine temas bölgesinde oluşan Hertz basıncının temas uzunluğu (b) Denklem 3'den 0.59 mm olarak hesaplandı. Biriket boyutları dikkate alındığında esas sıkışan bölgenin çok küçük, öz bir çekirdek şeklinde olduğu ve etki eden sıkıştırma kuvveti etkisinin sınırlı bir bölgede odaklandığı tespit edildi.

Tunçbilek kömürünün merdaneli pres ile briketlenmesi ile ilgili benzer çalışmalar yapılmıştır. Yapılan benzer bir çalışmada merdaneli pres kullanılarak briket numuneleri elde edilmiştir. Merdaneli preslerde briketlenen kömür numunelerine yapılan deneyler sonucunda düşme ve aşınma sağlamlığı değerleri TS 12055 Kömür Briketi Standartları değerlerine göre oldukça düşük çıkmıştır. Bunun nedeninin ise merdaneli pres makinesinin briket numunelerine yeterli sıkıştırma uygulayamaması olarak değerlendirilmiştir [16].

Yabancı menşeli merdaneli pres makinası [17] Tunçbilek kömürünün Briketlenmesi çalışmasındaki merdaneli pres ile aynı teknik özelliklere sahiptir. Söz konusu merdaneli pres $\varnothing 500$ mm silindir çapı ve 300 mm silindir genişliğinde tasarlanarak yaklaşık 98100N'luk kuvvetle briket numunesini sıkıştırdığı teknik dökümantasyondan [17] anlaşılmakta olup aynı teknik veriler Denklem 2 ile hesaplandığında 9450 N'luk sıkıştırma kuvvetinin oluştuğu belirlenmiştir. Bu durumda gerçek sıkıştırma kuvvetinin, olması gereken kuvvet değerinden oldukça düşük değerlerde gerçekleştiği değerlendirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Linyit kömürünün yakılmasından dolayı karşılaşılan çevresel ve ısıl sorunların çözülmesi için yapılacak en uygun çalışmalardan birisi de kömürün briketlenmesidir. Linyit kömürünün briketlenmesi ile ayrıca kömür tozunun ve atıl olan şlamın değerlendirilmesi sağlanır. Bu çalışma toz kömürün briketlenmesini gerçekleştiren briket makinelerinin tasarımı konusunda literatüre katkı sağlama amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

İki aşama olarak yapılan bu çalışmanın birinci aşamasında amaç standartlara uygun briket elde etmektir. Bunu gerçekleştirmek için ise uygun nem ve bağlayıcı oranları, sıkıştırma kuvveti ve süresi araştırılmıştır. Tunçbilek linyit kömürü tozlarının briketlenmesi esnasında % 10 ila 15 arasında melas, % 5 kireç ilave edilmesi ile %5 nem ile elde edilen karışım 4 ton presleme kuvvetinin 3 sn uygulanması ile standartlara uygun briketler elde edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise presleme basıncının 67,5 MPa olması gerektiği belirlenip, buradan hareketle Merdaneli briket makinelerinde oluşturulması gereken sıkıştırma kuvveti tespit edilmiştir. Endüstride yaygın bir şekilde kullanılan ve silindirlerin birbirine karşılıklı olarak çalışan Ø500 mm çaplı 300 mm genişliğindeki merdaneli preslerin tasarımlarının iyileştirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Mevcut merdaneli preslerin yaygın olarak kullanılmamasının en büyük sebebi ise yeterli sıkıştırma bölgesinin oluşturulamadığı ve yeterli sıkıştırma kuvvetine ulaşamadığı sonucuna varılmıştır. Hertz basınçları dikkate alındığında sıkıştırılan bölge çevresel doğrultudaki sıkıştırma uzunluğunun sadece 0.59 mm' de odaklandığı görülmüştür. Bu durumda oluşan briketin aslında sadece öz kısmı sıkışmakta ve kenarlara doğru ise gevşemektedir. Sıkıştırma uzunluğunun artmasına yönelik yeni tasarımlar yapılmalıdır.

Mevcut briketleme makineleri ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılmamaktadır. Endüstriyel alandaki briketleme uygulamaları ise büyük oranda deneme yanılma yöntemi ile yapılamaya çalışmakta bunun sonucunda ise başarılı sonuçlar elde edilememektedir. Yapılan çalışmadaki amaç briketleme makinelerinin tasarımlarına katkı sağlayabilmek ve uygun kalitede briketler elde edebilmek için presleme basınç ve kuvvetini tespiti edebilmektedir. Ayrıca Merdaneli pres makinelerinin geliştirilerek verimlerinin artmasını sağlayabilmektedir.

4. KAYNAKÇA

- [1]. Tumuluru J. S., Wright C. T., Hess J. R. and Kenney K. L., 2011, Biofuels, Bioprod, Bioref, July, s. 683-707
- [2]. Yılmaz S., Coşkun. T., 2016, Alternatif Katı Yakıt Üretimi., İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, ISSN:2147-3455, 5(1): 129-139
- [3]. Özyuğuran A., Açma H. H., 2016, Afşin-Elbistan Linyitinin Biyokütle ve Bağlayıcı Katkısıyla Briketlenmesi., Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Tasarım ve Teknoloji GU J Sci Part:C, 4(3): 103-113
- [4]. Çiñcinoğlu Ö., Anıl M., ve Kılıç Ö., 2004, İthal ve Yerli Kömür Karışımı ile Farklı Bağlayıcı Maddeler Kullanılarak Üretilen Pres Kömürler, Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 239-251, Zonguldak.
- [5]. Beker, O.G., Kural, O. & Dağalp, M., 1998, Kömürün briketlenmesi, KÖMÜR Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, Üzgün Ofset Matbaacılık, İstanbul: 453-475
- [6]. C.F. Nielsen A/S, 2011, Briquetting presses and total solutions. [Online]. Available at: <http://www.cfnielsen.com>
- [7]. Kürklü, A., ve Bilgin, S., 2005. Biyokütle Briketleme Makinaları ve Uygulamaları: Literatür Taraması. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Semp. ve Sergisi, s. 252-256, 19-21 Ekim, Mersin.
- [8]. Gibson L, 2011, Energy tablets. [Online]. Available at: <http://www.biomass-magazine.com/articles/5086/energy-tablets>

[9]. Kaliyan N, Morey RV, White MD and Doering A, 2009, Roll press briquetting and pelleting of corn stover and switchgrass. Transactions of the ASABE 52(2), s.543–555.

[10]. Kutay. M. G., 2009, Mukavemet Değerleri, Gerilmeler, Parçalardaki gerilmeler, 1.13, Kasım.

[11]. Buravchuk, N.I. and Guryanova, O.V., “Production of fuel briquettes from anthracite fines”, Solid Fuel Chemistry, Vol. 48, No. 4, 260-264, 2014.

[12]. Tumuluru, J.S., Tabil, L.G., Song, Y., Iroba, K.L. and Meda, V., “Impact of process conditions on the density and durability of wheat, oat, canola, and barley straw briquettes”, Bioenergy Resource, Vol. 8, 388-401, 2015.

[13]. Zanjani, N.G., Moghaddam, A.Z. and Dorosti, S., “Physical and chemical properties of beet pulp/Mezino bituminous coal briquettes”, Energy Sources Part A, Vol. 35, 2173-2180, 2013.

[14]. Zhang, J.and Guo, Y., “Physical properties of solid fuel briquettes made from Caragana korshinskii Kom”, Powder Technology, Vol. 256, 293-299, 2014.

[15]. TS 12055, 1996, Kömür Briketi – Ev ve Benzeri Yerleri Isıtmada Kullanılan, Nisan. 12.02.2018- 08.04.1996

[16]. Parlak A., 2010, Tunçbilek Linyitlerinin Briketlenmesi ve Yanma Esnasında Kükürdün Külde Tutulması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Ocak, Ankara.

[17]. Sente Sawdust / Wood / Charcoal Briquette Making Machine [Online]. Available at <http://www.wood-pellets-machine.com/sale-7638198-sawdust-wood-charcoal-briquette-making-machine-1-2-ton-capacity.html>

T.C. MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
SOMA MESLEK YÜKSEKOKULU TEKNİK BİLİMLER DERGİSİ
YAZIM KURALLARI VE YAYIN İLKELERİ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu **Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi**, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu tarafından yılda iki kez yayımlanır. Dergide, Meslek Yüksekokulları Teknik Programlarında yer alan anabilim dallarıyla ilgili konularda özgün ve nitelikli çalışmalar, yabancı dillerden Türkçe'ye çeviriler ve güncel tez özetleri yayımlanabilir.

Dergiye gönderilen eserlerde aranacak yayın ilkeleri ve yazım kuralları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

1-) Dergiye gönderilen yazı ve makaleler daha önce hiçbir yerde yayımlanmamış ve yayın hakları verilmemiş olmalıdır.

2-) Dergide yayınlanacak yazı ve makaleler Türkçe, İngilizce, Fransızca ve Almanca'dan herhangi biriyle yapılabilir. Ancak Türkçe hazırlanan çalışmalarda Türk Dil Kurumunun belirlediği kurallar esas alınmalıdır. Çalışmanın başında Türkçe başlık ve en fazla 200 sözcükten oluşan Türkçe ve İngilizce özet ile en fazla 10 tane anahtar sözcük verilmelidir.

3-) Dergide yayımlanacak çalışmaların biçim sırası

- Türkçe başlık
- Özet
- Anahtar sözcükler
- İngilizce özet
- İngilizce anahtar sözcükler
- Metin
- Kaynaklar
- Ekler

şeklinde olmalıdır.

4-) Çalışmanın başlığı sol üst kenardan 6 cm. aşağıdan yazılmalıdır. Başlığın sağ alt tarafına yazar veya yazarların adları akademik ünvanlarla birlikte yazılmalı çalıştığı kurum, iletişim ve elektronik posta adresleri ise adların yanına konulacak dipnot işaretleriyle sayfa altına verilmelidir. Eğer çalışma başka bir kurumdan destek aldıysa başlık yanına verilecek dipnotla sayfa altına ilgili kurum yazılmalıdır.

5-) Dergiye gönderilecek yazı ve makaleler MS Word programında yazılmış üç kopya olarak eposta veya kargo yoluyla gönderilmelidir.

6-) Çalışmalar ekleriyle birlikte 15 sayfayı geçmemelidir.

7-) Metin yazımı A4 boyutundaki kağıda tek aralıklı olarak times new roman tur karakteriyle 10 punto, dipnot ve açıklamalar 8 punto ile yazılmalıdır. Başlıklar 12 punto koyu, özet ve dipnotlar tek ara ile yazılmalıdır. Sayfa boyutları sol 5 cm, sağ 4 cm, üst 7 cm ve alt 5 cm. olacak şekilde ayarlanmalıdır.

8-) Metin içindeki alıntı ve aktarma yoluyla kullanılan kaynaklar; parantez sistemine göre soyadı, yılı ve sayfası olacak şekilde metin içinde cümle bitiminde gösterilmeli ve ayrıca kaynakçada da yer almalıdır. Açıklama ve diğer dipnotlar numaralandırma esasına göre metnin sonuna eklenmelidir.

9-) Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu **Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi** ulusal hakemli bir dergidir. Dergiye gönderilen yazı ve makaleler ilgili alandaki en az iki hakeme gönderilir. Oy birliği sağlanamazsa üçüncü bir hakeme gönderilerek sonuca karar verilir. Yazı ve makalelerin içeriğinden yazarlar ve hakemler sorumludur.

10-) Yazı ve makalesi yayımlanan her yazara derginin ilgili sayısından 1 adet gönderilir. Ayrıca telif ücreti ödenmez.

11-) Dergi yayın ilkelerine, yazım kurallarına ve bilimsel araştırma yöntemlerine uygun olmayan yazı ve makaleler yayın kurulunca dikkate alınmaz.