

Ekipmanların Etkinlik Değerlerinin Farklı Yaklaşımlar ile Karşılaştırılması ve Bir Mermer Ocağı Sahasına Uygulanması

Merve KARAABAT VAROL¹*

Öz

Bu çalışmadaki amaç, gereksiz maliyetlerin önüne geçmek, hızlı üretim ve ekipmanı en etkin kullanmak için ekipmanların performansları yerine etkinliklerini değerlendirmektir. Mermer ocak madenciliğinde ihracat arttıkça ürünün hızlı üretilmesini ve kaliteli olmasını gerektirmekte bu da ekstra maliyete neden olabilmektedir. Bu yüzden bu çalışmada ekstra maliyetlerin önüne geçmek ve mevcut ekipmanları en etkin, en verimli şekilde kullanabilmek amacıyla ekipman etkinlikleri yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemler; Nakajima (1988) tarafından önerilen Toplam Ekipman Etkinliği (TEE), Raouf (1994) tarafından önerilen Üretim Ekipman Etkinliği (ÜEE) ve Karaabat Varol (2022) tarafından önerilen Maden Ekipman Üretim Etkinliği (MEPE) yöntemleridir. Toplam Ekipman Etkinliği yönteminde kullanılabilirlik, performans ve kalite parametreleri üzerinde durulmuştur. Üretim Ekipman Etkinliği yönteminde parametrelerin eşit ağırlıkta olmadığı düşünülerek üstel bir ağırlık olması gerektiğini savunulmuştur. Maden Ekipman Üretim Etkinliği yöntemi ise, sürekli üretim yöntemlerini desteklemesi ve ekipmandaki en önemli unsur olan maliyet ve başarı parametresinin eklenmesiyle daha gerçekçi bir yaklaşım sağlamıştır. Bu yöntemler mermer ocak madenciliğinde üretim yöntemleri arasında kullanılan zincirli kolları kesme makinelerine uygulanmıştır. 5 ekipmanın ortalama değerlerine bakıldığında TEE değeri %70,82; ÜEE değeri %77,91 ve MEPE değeri %67,06 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak ekipman performansı ile birlikte ekipmanı en etkin ne derece kullanıldığı ve kullanılabilmesi bu yöntemler sayesinde ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada uygulanan yöntemler sadece mermer madenciliğine değil tüm endüstriye katkı sağlayacak niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Ekipman etkinliği, Mermer madenciliği, Üretim verimliliği, Toplam Ekipman Etkinliği, Üretim Ekipman Etkinliği, Maden Ekipman Üretim Etkinliği.

Comparison of Efficiency Values of Equipment with Different Approaches and Application to a Marble Quarry Site

Abstract

The main goal of this study is to evaluate the efficiency of the equipment instead of their performance in order to prevent unnecessary costs, to produce quickly and to use the equipment most effectively. As exports increase in marble quarry mining, it requires the product to be produced quickly and of high quality, which may cause extra costs. Therefore, in this study, equipment efficiency methods were applied to prevent extra costs and use the existing equipment most effectively and efficiently. These methods are Overall Equipment Effectiveness (OEE) proposed by Nakajima (1988), Production Equipment Effectiveness (PEE) proposed by Raouf (1994) and Mining Equipment Production Efficiency (MEPE) proposed by Karaabat Varol (2022). Availability, performance and quality parameters are emphasized in the Overall Equipment Effectiveness method. It is argued that the parameters in the Production Equipment Effectiveness method should have an exponential weight, considering that they are not of equal weight. The Mining Equipment Production Efficiency method provides a more realistic approach by supporting continuous production methods and adding the cost and usability parameters, which are the most important elements in the equipment. These methods were applied to chain-arm cutting machines used among the production methods in marble quarry mining. When the average values of 5 equipment were examined, the OEE value was calculated as %70.82; the PEE value was %77.91 and the MEPE value was %67.06. As a result, the equipment performance and the extent to which the equipment is used most effectively are revealed by these methods. The methods applied in this study will contribute not only to marble mining but also to the entire industry.

Keywords: Equipment effectiveness, Marble mining, Production efficiency, Overall Equipment Effectiveness, Production Equipment Effectiveness, Mining Equipment Production Efficiency.

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, mervevarol@sdu.edu.tr

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

1. Giriş

Piyasada mermere olan talep arttıkça, firmalar talepleri karşılayabilmek adına gereksiz ekipman alımları yapabilmektedirler. Genellikle mermer ocaklarında üretim planındaki eksikliklerden dolayı üretim kapasitesinin çok üzerinde makine parkı bulunmakta ve bu makineler gereksiz yere boşa beklemektedirler. Gereksiz satın alımların yanı sıra ömrünü tamamlayan ekipmanlar da sıklıkla arızalandıkları halde yine de üretim planına dahil edilmektedirler (Karaabat Varol, 2022).

Mermer madenciliği Türkiye ekonomisine önemli katkılar sağlayan bir sektör olmasının yanı sıra mermer ocak işletmeciliği çeşitli tehlikeler ve riskler içerir. Bu riskler; çökme, kaya düşmeleri, makine ve ekipman kaynaklı kazalar, patlamalar, ergonomik sorunlar, toz kaynaklı solunum problemleri ve yüksek sese maruz kalma olarak tanımlanmaktadır. Mermer ocaklarındaki mesleki kazaların türleri genellikle ocakların çalışma koşullarına, kullanılan ekipmana ve mesleki güvenlik standartlarına bağlı olarak değişir (Eker, 2023; 2024).

Mermer ocaklarında mermer işletimi tehlikeli ve iş güvenliği gerektiren bir iş koludur. Türkiye'deki mermer üreticileri, üretimlerinde son teknolojileri kullanmaları, yüksek kaliteli ve estetik görümlü mermerler üretmesini sağlayacaktır. Bu teknolojik gelişmeler, Türkiye'nin dünya mermer pazarındaki konumunu güçlendirecektir. Türkiye'deki fazlaca bulunan mermer ocaklarının işletiminin daha güvenli işletilmesi oluşabilecek iş kazalarının önüne geçerek daha düşük maliyetlerde çalışma yapılmasını sağlayacaktır (Demir Şahin ve Eker, 2024). Risk ve olasılıklar göz önüne alındığında güvenli işletmecilik açısından ekipman etkinliği, maliyet ve karlılık kadar önemli bir parametre olmaktadır.

Paraszczak (2005), yaptığı çalışmada performansı etkileyen belirleyicilerin tespitinin Toplam Ekipman Etkinliği ile önemini vurgulamıştır. Andras vd. (2006; 2007), bir kömür madeninde çalışan ekskavatörlerin Toplam Ekipman Etkinliği değerini Monte Carlo simülasyonu ile tahmin etmişlerdir. Elevli ve Elevli (2010), ekskavatör ve kamyonların vardiya süresi ve yükleme süresi üzerinden zaman kayıplarını göz önünde bulundurarak Toplam Ekipman Etkinliği'ni hesaplamışlardır. Lanke vd. (2014), Toplam Ekipman Etkinliği'ni madencilğe uygulayarak "Maden Üretim Endeksi"ni geliştirmişlerdir. Bu çalışmayı ekskavatörler üzerinde uygulamış, Maden Üretim Endeksinin sadece etkinliği hesapladığını değil, verimliliği de arttırdığını gözlemlemişlerdir. Mohammadi vd. (2015) ve Waqas vd. (2015), madencilikte kullanılan makineleri temel alarak Toplam Ekipman Etkinliği üzerine çalışmalar yapmışlardır. Brodny vd. (2016), yer altı kömür ocağında uzun ayak yönteminde kullanılan bantlı konveyör, kesici yükleyici ve yükleyicilerin arızalarını ve plansız aksama sürelerini Toplam Ekipman Etkinliği yöntemi ile azaltmanın performansı arttırdığını ve üretim kalitesinin iyileştirdiği sonucuna varmışlardır. Lanke vd. (2016), Maden Üretim Endeksinin Analitik Hiyerarşi

Prosesi kullanarak her bir parametrenin ağırlığını belirlemiş ve ekskavatör, kamyon ve kırıcı üzerinde yöntemi deneyerek geliştirmişlerdir.

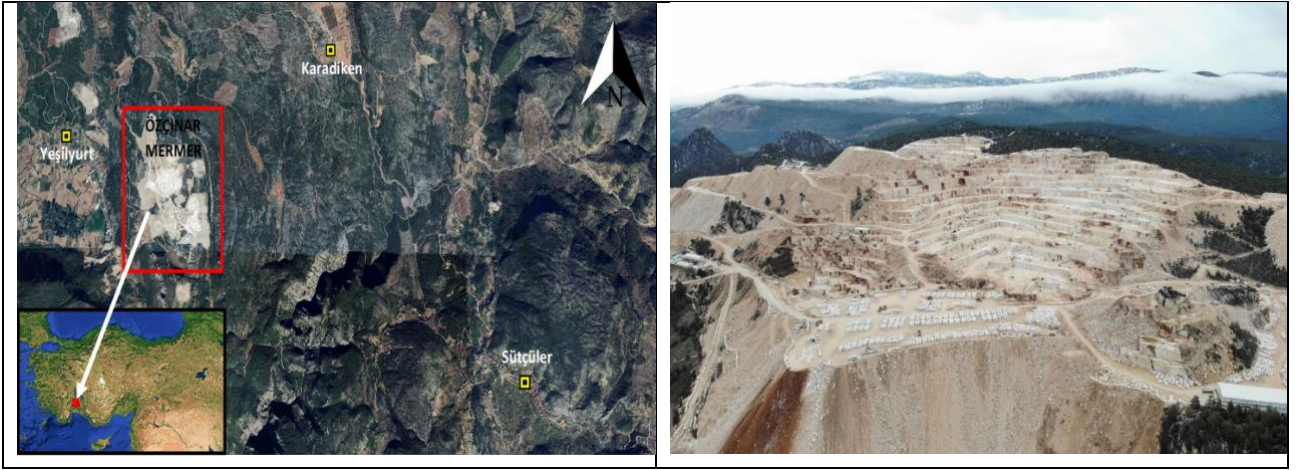
Günümüz teknolojisinde mermer firmaları artan trend ile birlikte üretim verimliliğini arttırmak ve yarıştan kopmamak için üretim sistemlerinde performans değerlendirmesi yapmaktadırlar. Üretim sırasında karşılaşılan sorunların başında boşa geçen zaman, fazla enerji ve gereksiz maliyet gelmektedir. Endüstride performans analizi olarak Toplam Ekipman Etkinliği sıklıkla yer almakta fakat madencilikte özellikle mermer üretiminde ekipmanları değerlendirmek adına yapılmış çalışmalara rastlanmamaktadır. Burada istenilen, rekabet halindeki firmaların maksimum üretim, minimum maliyet ile ekipmanları etkin bir şekilde kullanabilmeleridir.

Yapılan literatür taraması sonucunda ekipman etkinliğinin mermer madenciliğinde kullanılan zincirli kollu kesme makineleri üzerine değerlendirilmediği, ekipmanların kesme performansları üzerine çalışmalar yapıldığı görülmüştür.

Bu çalışma sonucunda mermer ocağında aktif olarak üretimde yer alan “5” adet zincirli kollu kesme makinesinin etkinlikleri “Toplam Ekipman Etkinliği (TEE)(OEE-Overall Equipment Effectiveness)” yöntemi, “Üretim Ekipman Etkinliği (ÜEE)(PEE-Production Equipment Effectiveness)” yöntemi ve “Maden Ekipman Üretim Etkinliği (MEPE-Mine Equipment Production Efficiency)” yöntemi ile değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Nakajima (1988) tarafından önerilen TEE, Raouf (1944) tarafından önerilen ÜEE ve Karaabat Varol (2022) tarafından önerilen MEPE arasında; parametre sayısı arttığında ve parametrelerin ağırlıkları değerlendirildiğinde MEPE değeri daha hassas ve gerçeğe daha yakın bir sonuç çıkmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma Isparta'nın Sütçüler bölgesinde aktif olarak çalışan mermer ocağında yapılmıştır (Şekil 1). Mermer ocağının muhtemel rezervi 64.800.000 ton, üretimi 70.000 ton/yıl'dır. Ocakta toplam 135 personel çalışmaktadır. Çalışmanın yapılmasının önemi ocakta sadece üretim ekipmanı olarak zincirli kollu kesme makinelerinin bulunmasıdır. Kullanılan zincirli kollu kesme makinelerinin hepsi BENETTİ marka olmak ile birlikte üretim yılları birbirine yakındır. Bu yüzden etkinlik değerlendirmesinde amortisman süreleri de aynı alınmıştır. Zincirli kollu kesme makinesi ile ilgili teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Özçınar Mermer Ocağı Lokasyonu ve Genel Ocak Görünüşü

Bu çalışmada, ekipmanların çalışma süreleri ile orantılı olarak çalıştığı süre boyunca kesim miktarları da göz önünde bulundurularak üretim hesaplanmıştır. 5 adet zincirli kollu kesme makinesinin TEE, ÜEE ve MEPE değerleri hesaplanmak üzere 3 aylık çalışma süreleri ve maliyetleri alınmıştır. Bu veriler bir sonraki bölüm olan Bulgular bölümünde verilmiştir.

Tablo 1. BENETTİ marka zincirli kollu kesme makinesi teknik özellikleri

Marka	BENETTİ
Model	CSM-968
Üretim Yılı	2014-2016
Kurulu Güç	65 KW
Makine Ağırlığı	9000 KG
Ray Ağırlığı	1550 KG
Zincir Dönüş Hızı	0-1 m/saniye
Vagon Hareket Hızı	0-13 cm/dk
Kesme Derinliği	7,3 metre
Kesi Genişliği	38-40 mm
Kol Dönüş Açısı	360°
Hidrolik Tank Hacmi	300 LİTRE
Gres Yağ Tankı Hacmi	30 KG
Gres Basma Kapasitesi	2 kg/saat



Şekil 2. Özçınar Mermer Ocağında kullanılan zincirli kollu kesme makinesi

2.1. Toplam Ekipman Etkinliği (TEE)

Toplam Ekipman Etkinliği (TEE), Nakajima tarafından önerilen Toplam Üretken Bakım (Total Productive Maintenance (TPM))'ın geleneksel değerlendirme endeksidir. İşletme performansını tesisin ideal veya potansiyel performansı ile karşılaştırır. TEE, ekipman etkinliğini azaltan kullanılabilirliği, performansı ve kalite parametrelerini etkileyen hız kayıpları, arıza süreleri, duraksamalar, kurulum süreleri gibi belirlenen 6 büyük kaybı dikkate almaktadır. TEE, endüstrideki ekipmanların etkinliğini ölçmek için önerilmiştir. Endüstride, TEE genel olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır (Nakajima, 1988):

Endüstride;

$$TEE = \text{Kullanılabilirlik} \times \text{Performans Oranı} \times \text{Kalite Oranı} \quad (1)$$

Madencilikte;

$$TEE = \text{Kullanılabilirlik} \times \text{Kullanım Oranı} \times \text{Üretim Verimliliği} \quad (2)$$

$$\text{Kullanılabilirlik (A)} = \frac{\text{Net Çalışma Saati}}{\text{Toplam Saat}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Kullanım oranı (U)} = \frac{\text{Toplam Saat} - \text{Boşta Bekleme Zamanı} - \text{Arıza Süresi}}{\text{Toplam Saat} - \text{Arıza Süresi}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Üretim Verimliliği (P}_e\text{)} = \frac{\text{Net Üretim Zamanı}}{\text{Net Çalışma Zamanı} - \text{Boşta Bekleme Zamanı} - \text{Belirlenmiş Kapasite}} \times 100 \quad (5)$$

Burada;

P_e = Üretim verimliliği

$$\text{Belirlenmiş Kapasite} = \frac{\text{Toplam Saat} - \text{Planlı Bakım Saati}}{\text{Toplam Saat}} \quad (6)$$

2.2. Üretim Ekipman Etkinliği (ÜEE)

Üretim Ekipman Etkinliği (ÜEE), arıza süresinden kaynaklanan kayıpların, hızın azalmasından kaynaklanan çıktı kayıplarının ve üretilen ürünün kalitesizliğinden kaynaklanan kurulum süresi kayıplarının bir fonksiyonudur (Raouf, 1994). Burada Raouf, Nakajima (1988) tarafından önerilen Toplam Ekipman Etkinliği yaklaşımında kullanılan parametrelerin etkisinin aynı olmadığı ve her bir parametrenin ağırlığının farklı olduğunu belirtmiştir. Fakat ağırlıkların hesaplanması ile ilgili bir öneride bulunmamıştır. Lanke vd. (2016), yaptığı çalışmada Maden Üretim Endeksinin önermiş ve

burada etkenlerin ağırlıklarını $k_1=0,2$; $k_2=0,3$ ve $k_3=0,5$ olarak değerlendirmiştir. Bu çalışmada parametrelerin ağırlıkları Lanke vd. (2016)'nin yapmış olduğu çalışma referans alınarak yapılmıştır.

ÜEE şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$\dot{U}EE = A^{k_1} \times P^{k_2} \times Q^{k_3} \quad (7)$$

$$A = \frac{\text{Planlı Çalışma Saati} - \text{Arıza Süresi}}{\text{Planlı Çalışma Saati}} \quad (8)$$

$$P = \frac{\text{Net Operasyon Süresi} - \text{Hız Kayıpları}}{\text{Net Operasyon Süresi}} \quad (9)$$

$$Q = \frac{\text{Üretim Süresi} - \text{Kalite Kayıpları}}{\text{Üretim Süresi}} \quad (10)$$

Burada;

A = Kullanılabilirlik

P = Performans etkinliği

Q = Kalite

$$k_1 + k_2 + k_3 = 1 \text{ (parametrelerin ağırlıkları)}$$

$$\text{Net operasyon süresi} = \text{Planlı çalışma saati} - \text{Arıza süresi}$$

2.3. Maden Ekipman Üretim Etkinliği (MEPE)

Karaabat Varol (2022), Maden Ekipman Üretim Etkinliği (MEPE) yönteminde, TEE ve ÜEE'yi göz önüne alarak ve madencilik süreci sürekli üretim olduğunu, bu gibi durumlarda da kalite yerine Kullanım oranı ve Başarı parametresinin de eklenmesi gerektiğini değerlendirmiştir. Ayrıca işletmelerin en önemli unsurlarından biri olan Maliyet parametresi de önemli bir etken olarak formülde yer almaktadır. Böylece bu yöntem diğer yöntemlere oranla daha detaylı olmak ile birlikte maliyet, kullanım ve başarı parametrelerinin ekipman etkinliğini ne derecede etkilediğini ve gerçekte ekipmanların performansını değerlendirirken bu parametrelerin gözden kaçabildiğini göstermektedir.

Maden Ekipman Üretim Etkinliği Metodunun formülü şu şekildedir (Karaabat Varol, 2022):

$$MEPE = AV^{w_1} \times PE^{w_2} \times U^{w_3} \times AT^{w_4} \times C^{w_5} \quad (11)$$

Burada;

AV: Kullanılabilirlik (Availability)

PE: Performans Etkinliği (Performance Efficiency)

U: Kullanım (Utility)

AT: Başarı (Attain)

C: Maliyet (Cost)

wi: Etkinlik derecesi ağırlığını ifade etmektedir.

$$AV = \frac{\text{Toplam Üretim Süresi}}{\text{Toplam Çalışma Süresi}} \times 100 \quad (12)$$

$$PE = \frac{\text{Net Operasyon Süresi} - \text{Hız Kayıpları}}{\text{Net Operasyon Süresi}} \times 100 \quad (13)$$

$$U = \frac{\text{Toplam Çalışma Süresi} - \text{Plansız Duruş} - \text{Boşta Beklenen Süre}}{\text{Toplam Çalışma Süresi} - \text{Plansız Duruş}} \times 100 \quad (14)$$

$$AT = \frac{\text{Net Operasyon Süresi}}{\text{Toplam Üretim Süresi}} \times 100 \quad (15)$$

$$C = \frac{\text{Faaliyet Tabanlı Maliyetleme}}{\text{Toplam Faaliyet Tabanlı Maliyetleme}} \times 100 \quad (16)$$

Formülde kullanılan kısaltmalar şu şekilde tanımlanmaktadır;

TÜS: Toplam Üretim Süresi (dk.) = Toplam Çalışma Süresi – Planlı Duruş

TÇS: Toplam Çalışma Süresi (dk.)

NOS: Net Operasyon Süresi (dk.) = Toplam Üretim Süresi – Plansız Duruş – Boşta Beklenen Süre

HK: Hız Kayıpları (dk.)

PSD: Plansız Duruş (dk.)

BBS: Boşta Beklenen Süre (dk.)

PD: Planlı Duruş (dk.)

FTM: Faaliyet Tabanlı Maliyetleme (TL)

TFTM: Toplam Faaliyet Tabanlı Maliyetleme (TL)

Burada;

- Toplam Çalışma Süresi: vardiya boyunca ekipmanın hiç durmadan çalıştığı süreyi,
- Planlı Duruş: yemek, hafta sonu tatili gibi duraksamaları,
- Plansız Duruş: oluşan arızalardan kaynaklı duraksamaları,

- Hız Kayıpları: elmas soket değişimi, anlık duraksamalar, ray aktarma, bakım, zincirli kollu kesme makinesinin bıçağının 70° eğime gelen kadar geçen süre (dalış süresi), hazırlık süresi gibi duraksamaları,
- Boşta Beklenen Zaman: üretimin programında olmadığı zaman, bekleme zamanı (delik delinmesi, kepçe gelmesi vb. gibi), operatör eksikliğinden kaynaklı ekipmanın çalışmadığı zamanı

belirtmektedir (Karaabat Varol, 2022).

3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan 3 aylık çalışma sonucunda ekipmanların çalışma süreleri vardiya süresi üzerinden, planlı/plansız duruşlar, hız kayıpları, boşta beklenen süreler ayrı ayrı belirlenmiş, bu veriler doğrultusunda Kullanılabilirlik (AV), Performans Etkinliği (PE), Kullanım (U), Başarı (AT) ve Maliyet (C) parametreleri hesaplanmıştır. Tablo 2-6 ekipmanlara ait çalışma süresini, toplam üretim süresini, net operasyon süresini, hız kayıplarını, boşta bekleme süresini, planlı/plansız duruş sürelerini ve toplam üretim miktarlarını vermektedir. Burada literatürde daha önce yapılmış olan çalışmaların benzeri olarak ekipmanların üretim miktarları ve çalışma süreleri göz önünde bulundurularak sadece performans değerlendirmesi yapılabilir. Ancak yapılan çalışma ekipmanların üretim performanslarındaki yavaşlama nedeni ve üretim planına dahil edilmeme durumunu göz ardı etmiş olur. Yapılan bu çalışma ekipmanların sadece performansını değerlendirmek ile kalmayıp performansa etki eden etkenleri de göz önüne bulduğundan daha kapsamlı bir çalışma olmaktadır.

Tablo 2-6'teki çalışma süreleri yukarıda verilen Denklem (3-5), Denklem (8-10) ve Denklem (12-16)'da yerine konarak AV, PE, U, AT ve C değerleri hesaplanmıştır (Tablo 7-11).

Tablo 2' de çalışma süreleri karşılaştırıldığında ekipmanın üretim açısından kullanılabilir en etkin ayının Ekim olduğu, fakat hız kayıplarının diğer aylara göre fazla olduğu görülmektedir. Ağustos ayında ekipmanın boşta bekleme süresinin diğer aylara göre daha az olduğu fakat planlı duruş süresinin fazla olduğunu söylemek mümkündür. Bu durumda ekipmanın net operasyon süresini azaltmakta ve üretimi yavaşlatmaktadır. Plansız duruşların en fazla yaşandığı ay Eylül ayıdır. Bu durumda ekipmanın bu duraksamaların altındaki nedeni detaylı bir biçimde araştırmak ekipmanın etkinliğini arttıracaktır.

Tablo 3-6'daki ekipmanları da aynı şekilde üretim süreleri, net operasyon süreleri, planlı-plansız durma süreleri, hız kayıpları ve boşta bekleme süreleri gibi detaylı bir şekilde kendi aralarında değerlendirmek mümkündür. Böylece üretimdeki aksama veya yavaşlamanın ekipmandan mı kaynaklandığı yada istenmeyen durumlardan mı olduğu değerlendirilebilmektedir.

Tablolarda belirtilen 3, 5, 6, 7 ve 8 numaralı zincirli kollu kesme makineleri firma tarafından kodlanmış ve bu şekilde değerlendirme yapıldığı, aynı zamanda bu bilgiler firma ile de paylaşılacağı için ekipmanların kodlanması veya isimlendirilmesi üzerine değişiklik yapılmamıştır.

Tablo 2. 3 numaralı zincirli kollu kesme makinesi çalışma süreleri

Parametreler	Ağustos	Eylül	Ekim
TÇŞ (dk)	16740	16200	16740
TÜS (dk)	12240	14220	14700
NOS (dk)	11580	13200	14040
HK (dk)	1020	200	1620
BBS (dk)	180	360	360
PSD (dk)	480	660	300
PD (dk)	4500	1980	2040
Toplam Üretim	143,2 m	151,4 m	162,9 m

Tablo 3. 5 numaralı zincirli kollu kesme makinesi çalışma süreleri

Parametreler	Ağustos	Eylül	Ekim
TÇŞ (dk)	16740	16200	16740
TÜS (dk)	12900	14100	14640
NOS (dk)	12600	13770	14280
HK (dk)	1020	3240	3240
BBS (dk)	180	210	360
PSD (dk)	120	120	0
PD (dk)	3840	2100	2100
Toplam Üretim	172,5 m	190,6	194,6 m

Tablo 4. 6 numaralı zincirli kollu kesme makinesi çalışma süreleri

Parametreler	Ağustos	Eylül	Ekim
TÇŞ (dk)	16740	16200	16740
TÜS (dk)	13020	14220	14700
NOS (dk)	12780	13320	14580
HK (dk)	1680	1680	1680
BBS (dk)	120	120	0
PSD (dk)	120	780	120
PD (dk)	3720	1980	2040
Toplam Üretim	174,8 m	173,6 m	193,4 m

Tablo 5. 7 numaralı zincirli kollu kesme makinesi çalışma süreleri

Parametreler	Ağustos	Eylül	Ekim
TÇŞ (dk)	16740	16200	16740
TÜS (dk)	13080	14160	12000
NOS (dk)	12570	13680	10860
HK (dk)	1080	600	600
BBS (dk)	135	270	1020
PSD (dk)	375	210	120
PD (dk)	3660	2040	4740
Toplam Üretim	141,1 m	156 m	125,8 m

Tablo 6. 8 numaralı zincirli kollu kesme makinesi çalışma süreleri

Parametreler	Ağustos	Eylül	Ekim
TÇŞ (dk)	16740	16200	16740
TÜS (dk)	13080	14220	14700
NOS (dk)	12570	13670	14340
HK (dk)	2760	2220	3840
BBS (dk)	210	250	180
PSD (dk)	300	300	180
PD (dk)	3660	1980	2040
Toplam Üretim	170 m	170,7 m	188,3 m

MEPE yönteminde eklenen Maliyet parametresini hesaplamak için Özçınar Mermer firmasının muhasebesi ile iletişime geçilmiş ve muhasebe tarafından kaydedilen gider maliyetleri dikkate alınmıştır. Bunlar; ocak madenciliğindeki demirbaş giderler; elektrik gideri, işçilik, amortisman, gres yağı tüketimi, soket tüketimi, sarf malzeme tüketimi ve bakım giderleridir. Bu giderler üzerinden ekipmanların aylık üretim miktarlarına göre bir maliyetleme sistemi oluşturulmuş ve Denklem (16)'daki 'Maliyet' parametresi hesaplanmıştır. Denklem 16'da bahsedilen Faaliyet Tabanlı Maliyetleme alınan veriler doğrultusunda uygun olarak değiştirilebilir durumdadır.

Tablo 7'de belirtilen ekipmanın performans parametrelerine bakıldığında kullanım oranının yüksek olduğunu söylemek mümkündür. Kullanılabilirlik oranının diğerlerine göre düşük olmasının neden kaynaklandığı araştırılabilir. Böylece performansı yüksek olan bir ekipman kullanılabilirlikte düşüş gösteriyorsa planlı duruş ve çalışma süresinde bir sorun olduğunu söylemek ve bu sorunu çözmek için ekipmanların çalışma ve duruş sürelerini gözden geçirmek gerekmektedir. Ayrıca performans parametreleri değerlendirilirken maliyet parametresi diğer parametreler ile birlikte kıyaslanamaz. Tablo 8-11'i de yine aynı şekilde kendi arasında karşılaştırarak değerlendirmek mümkündür. Elde edilen bu veriler ile hesaplanan her bir ekipmanın Kullanılabilirlik, Performans Etkinliği, Kullanım, Başarı ve Maliyet parametreleri şu şekildedir (Tablo 7-11):

Tablo 7. 3 numaralı zincirli kollu kesme makinesinin performans parametreleri

Parametreler	Ağustos	Eylül	Ekim	Ortalama
AV %	73,12	87,78	87,81	82,90
PE %	91,19	98,48	88,46	92,71
AT %	94,61	92,83	95,51	94,32
U %	98,89	97,68	97,81	98,13
C %	18,95	19,06	20,08	19,36

Tablo 8. 5 numaralı zincirli kollu kesme makinesinin performans parametreleri

Parametreler	Ağustos	Eylül	Ekim	Ortalama
AV %	77,06	87,04	87,46	83,85
PE %	91,90	76,47	77,31	81,90
AT %	97,67	97,66	97,54	97,62
U %	98,92	98,69	97,85	98,49
C %	20,18	21,21	21,21	20,87

Tablo 9. 6 numaralı zincirli kollu kesme makinesinin performans parametreleri

Parametreler	Ağustos	Eylül	Ekim	Ortalama
AV %	77,78	87,78	87,81	84,46
PE %	86,85	87,39	88,48	87,57
AT %	98,16	93,67	99,18	97,00
U %	99,28	99,22	100,00	99,50
C %	21,84	20,63	22,51	21,66

Tablo 10. 7 numaralı zincirli kollu kesme makinesinin performans parametreleri

Parametreler	Ağustos	Eylül	Ekim	Ortalama
AV %	78,14	87,41	71,68	79,08
PE %	91,41	95,61	94,48	93,83
AT %	96,10	96,61	90,50	97,12
U %	99,18	98,31	93,86	94,40
C %	19,85	20,77	16,41	19,01

Tablo 11. 8 numaralı zincirli kollu kesme makinesinin performans parametreleri

Parametreler	Ağustos	Eylül	Ekim	Ortalama
AV %	78,14	87,78	87,81	84,58
PE %	78,04	83,76	73,22	78,34
AT %	96,10	96,13	97,55	96,59
U %	98,72	98,43	98,91	98,69
C %	19,18	18,32	19,79	19,10

Denklem 2, 7 ve 11'e göre parametreler yerine konulduğunda hesaplanan TEE, ÜEE ve MEPE değerleri Tablo 12' de verilmiştir. 5 ekipmanın ortalama değerlerine bakıldığında TEE değeri %70,82; ÜEE değeri %91,54 ve MEPE değeri %67,06 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 12. Zincirli kollu kesme makinesi etkinlik değerleri

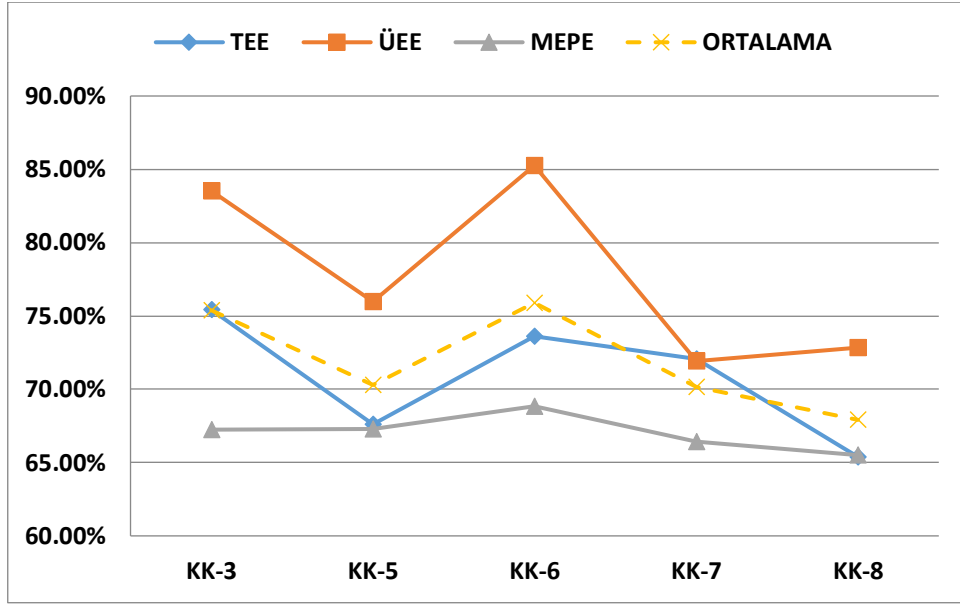
Ekipmanlar	TEE	ÜEE	MEPE
KK-3	75,42%	83,52%	67,27%
KK-5	67,63%	76,00%	67,27%
KK-6	73,59%	85,26%	68,84%
KK-7	72,06%	71,92%	89,29%
KK-8	65,39%	72,84%	65,51%
ORTALAMA	70,82%	77,91%	67,06%
ST. SAPMA	3,74%	5,49%	1,10%
(Not: KK-Kollu Kesici kısaltmasıdır.)			

Bu çalışma aynı özelliklere sahip 5 adet zincirli kollu kesme makinesinin etkinliğinin değerlendirilmesini göstermektedir (Tablo 12). Burada TEE, ÜEE ve MEPE değerleri karşılaştırıldığında %67,06 ortalama ile en düşük MEPE değerinin olduğunu ve %1,10 standart sapma ile bu önerinin faydalı bir modele dönüştürülebileceği söylenebilir.

Ekipmanlar kendi aralarında değerlendirildiğinde KK-7 ekipmanının diğerlerine göre daha etkin kullanıldığı gözlemlenmektedir. Çalışma süreleri ve performans değerleri dikkate alındığında

ekipmanın diğer ekipmanlara göre hız kayıplarının az olduğu, dolayısıyla net operasyon süresinin arttığı görülmektedir. Bu açıdan değerlendirmek de ekipmanlara farklı bir bakış açısı sağlamaktadır.

Tablo 12 ve Şekil 3 değerlendirildiğinde ÜEE değerlerinin diğer iki yaklaşıma göre daha yüksek yüzde değeri olduğu görülmektedir. Bu durumun TEE ve ÜEE arasındaki farkın parametrelere uygulanan ağırlık derecelerinden kaynaklandığını ve yapılan yaklaşımı genelleştirmenin doğru olmadığını söylemek mümkündür. PEE’de kullanılan ağırlık değerlerini standardize etmek doğru değildir. MEPE’de uygulanan Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden nesnel yöntemlerini uygulamak çalışmayı daha doğru bir yöne götürmektedir.



Şekil 3. Ekipman Etkinlik değerlerinin grafiksel gösterimi

4. Sonuçlar ve Öneriler

Mermer ocaklarında üretim genellikle zincirli kollu kesme makineleri ve elmas tel kesme makineleri ile koordineli olarak yapılmaktadır. Buradaki avantaj ocağın yapısından dolayı üretimin sadece zincirli kollu kesme makineleri ile yapılmasıdır. Zincirli kollu kesme makineleri, elmas tel kesme makinelerine kıyasla üretim açısından daha hızlı ve daha düzgün blok kesim yapan ekipmanlardır. Dezavantajlı kısmı ise ekipmanların ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır.

Ekipmanların fiyatının yüksek olması ekipmanı maksimum etkinlik ile kullanmaya zorlamaktadır. Bu durum ekipmanın performansının yüksek olmasını istenilmesinin yanı sıra etkin bir şekilde kullanılmasını da öngörmektedir.

Genel olarak endüstri başta olmak üzere madencilikte hiçbir ekipman bazı etkenlerden dolayı %85 bir sınır etkinlik ile çalışmamaktadır. Bu etkenler ekipmanların eskime oranı, üretime dahil olmaması, mücbir sebepler, operatör eksikliği, yanlış kullanıma bağlı olarak kaynaklanan plansız

arızalar, üretimin hızlı olması için kontrol-bakım çalışmalarının aksaması şeklinde belirtilebilir. Tüm bu etkenler göz önüne alındığında MEPE yaklaşımında daha fazla parametrenin kullanılması ve nesnel ağırlıklandırma yönteminin uygulanması ekipmanların etkinliklerinin değerlendirilmesinde daha gerçekçi bir sonuca varılmaktadır.

Bu çalışma, mermer sektöründe yaygın olarak kullanılmayan birbirine benzer üç yöntemi karşılaştırmaktadır. Bu çalışmanın özgünlüğü mermer ocaklarında TEE, ÜEE ve MEPE yöntemlerinin daha önce uygulanmamış olmasıdır. Çıkan sonuçlar, firma ile paylaşılarak ekstra maliyetin önüne geçilmesini ve üretimin planlı bir şekilde yapılmasının işletmenin karı açısından fayda sağlayacağını belirtmektedir. Ekipman etkinliği yöntemleri madencilikte açık ocak işletmesinde çalışan ekskavatör ve kamyonlar üzerinde uygulanmıştır fakat mermer ocaklarında karşılaştırılacak ve bir skala oluşturulacak kadar bulgu bulunmamaktadır. Mermer ocakları kış şartlarından dolayı senede 3-4 ay verimli çalışmamakta ve sezondaki talep durumuna göre üretim yapmaktadır. Bu çalışma da üretimin en aktif olduğu ve mevcut 5 zincirli kollu kesme makinesinin kullanıldığı aylar dikkate alınarak yapılmıştır.

Endüstride hiçbir ekipman %100 etkinlik ile çalışmaz. Endüstride sık uygulanan etkinlik yöntemi için literatürde belirli skalalara ulaşmak mümkündür. Fakat madencilikte belirli bir skala üzerinden değerlendirme yapılamaz. Madencilikte ekipmanların durumu göz önünde bulundurulduğu gibi ocak yapısı ve şartları değişkenlik gösterdiğinden tek düze bir çalışma söz konusu olamaz. Burada yapılması gereken en önemli kısım firmaların ekipmanların sadece performanslarını değil etkinliklerini de beraberinde değerlendirmesi gerektiğidir.

Teşekkür

Bu çalışmada yardımlarını esirgemeyen ve arazi çalışmaları sırasında destek olan Özçınar Mermer firması çalışanlarına teşekkürler.

Yazarların Katkısı

Yazar makaleyi tek başına tamamlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Andras, I., Nan, M.S., Kovacs, I., Cristea, D., Tomescu, L.C. (2006). Research regarding the OEE (Overall Equipment Effectiveness) assessment of the coal open pit mines production system. *Annals of The University Of Petroşani. Mechanical Engineering*, 8, 139-146.
- Andras, I., Nan, M.S., Kovacs, I., Cristea, D., Tomescu, L.C. (2007). Overall equipment effectiveness assessment of the open pit coal mining production system. *7th International Multidisciplinary Conference*, 17-19 May, Romania, 21-28
- Brodny, J., Stecula, K., Tutak, M. (2016). Application of the TPM strategy to analyze the effectiveness of using a set of mining machines. *16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, SGEM*, 28 June-6 July, Bulgaria, 65-72.
- Demir Şahin D, Eker H. (2024). Assessment of hazards and risks in a marble quarry. *BSJ Eng Sci*, 7(6): 1294-1301.
- Eker, H. (2023). Investigation of the usability of industrial mining wastes in agriculture. *Front. Environ. Sci.* 11:1248188. doi: 10.3389/fenvs.2023.1248188.
- Eker, H. (2024). Natural Language Processing Risk Assessment Application Developed for Marble Quarries. *Appl. Sci.*, 14, 9045. <https://doi.org/10.3390/app14199045>
- Elevli, S., Elevli, B. (2010). Performance measurement of mining equipments by utilizing OEE. *Acta Montanistica Slovaca*, 15(2), 95-101.
- Karaabat Varol, M. (2022). Mermer ocağı ekipmanlarının etkinliklerinin değerlendirilmesi üzerine yeni bir yaklaşım. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Lanke, A.A., Hoseinie, S.H., Ghodrati, B. (2014). Mine production index (MPI)- new method to evaluate effectiveness of mining machinery. *International Journal Of Geological and Environmental Engineering*, 8(11),755-759.
- Lanke, A.A., Hoseinie, S.H., Ghodrati, B. (2016). Mine production index (MPI)-extension of OEE for bottleneck detection in mining. *International Journal of Mining Science and Technology*, 26(5), 753-760.
- Mohammadii, M., Rai, P., Gupta, S. (2015). Performance measurement of mining equipment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 5(7), 240-248.
- Nakajima, S. (1988). Introduction to total productive maintenance (TPM), *Productivity Press*, Portland, OR
- Paraszczak, J. (2005). Understanding and assessment of mining equipment effectiveness. *Mining Technology*, 114(3), 147-151.
- Raouf, A. (1994). Improving capital productivity through maintenance. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(7), 44-52.
- Samatamba, B., Zhang, L., Besa, B. (2020). Evaluating and optimizing the effectiveness of mining equipment; the case of chibuluma south underground mine. *Journal of Cleaner Production*, 252, 15p.
- Waqas, M., Tairq, S.M., Shahzad, M., Ali, Z., Saqib, S. (2015). Performance measurement of surface mining equipment by using overall equipment effectiveness. *Pakistan Journal Of Science*, 67(2), 212-216.