

EKİPMAN ETKİNLİĞİNE FARKLI BİR YAKLAŞIM: GENEL OPERASYON ETKİNLİĞİ

Araştırma Makalesi

Hakan ÇELİK¹

ÇELİK, H., (2020), **Ekipman Etkinliğine Farklı Bir Yaklaşım: Genel Operasyon Etkinliği**, Verimlilik Dergisi, Yıl: 2020, Sayı: 4, T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yayını.

ÖZET

Makine ve ekipmanların etkinlik düzeylerini hesaplamada en önemli unsur, performans göstergelerinin kısıtlarıdır. OEE (Toplam Ekipman Etkinliği), makine ve ekipmanların etkinlik düzeyini belirlemede kullanılan en yaygın performans göstergesidir. OEE değeri, kullanılabilirlik, performans ve kalite oranlarına bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Kullanılabilirlik değeri, brüt çalışma süresi yerine planlanan üretim süresi üzerinden, gerçekleşen üretim süresini hesaplamaktadır. Brüt üretim süresi ile planlanan üretim süresi arasındaki fark, planlı duruş süresi olarak tanımlanmaktadır ve hesaplama katılmamaktadır. Bu durum, bir yılın sonunda önemli duruş süresine sebep olan unsurların değerlendirilmemesine ve gerçek etkinlik düzeyinin hesaplanamamasına neden olmaktadır. Ayrıca, bu duruşlar planlı olarak değerlendirildiğinden olağan kabul edilmektedir ve çoğu zaman iyileştirilmesi düşünülmemektedir.

Çalışmanın amacı, planlı duruş süresinin önemini vurgulayarak ekipman etkinliğinin hesaplanmasına yönelik alternatif yaklaşım belirlemektir. Bu doğrultuda, OEE'ye alternatif olarak OOE (Genel Operasyon Etkinliği) tanımlanmıştır. OOE, kullanılabilir süre kavramını vardiya süresi üzerinden değerlendiren ve herhangi bir sebeple kaynaklanan duruşu etkinlik kaybı olarak değerlendiren performans anahtarıdır. OEE ile OOE arasındaki farkın açıklanabilmesi için, bir vasıflı çelik işletmesinde üretim hattının bir yıllık verilerine dayalı hesaplama gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, OOE ile hesaplanan etkinlik düzeyi % 6,17 düşük hesaplanmış ve OEE'nin gerçek tesis etkinliğini yüksek gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: OEE, OOE, TPM, Etkinlik.

¹ **Hakan ÇELİK**, Akçelik Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş., Makine Mühendisi ve Endüstri Mühendisi. ORCID: 0000-0003-4123-6725

* Makale Gönderim Tarihi: 04.05.2019 Kabul Tarihi: 21.08.2019

A DIFFERENT APPROACH TO EQUIPMENT EFFICIENCY: GENERAL OPERATION EFFECTIVENESS

ABSTRACT

The most important factor in calculating efficiency level of machinery and equipment is the constraints of performance indicator. OEE (Total Equipment Effectiveness) is the most common performance indicator used to determine the performance level of machinery and equipment. The OEE value is calculated based on the availability, performance and quality ratios.

Availability ratio calculates actual production time based on planned production time instead of gross working time. The value between gross working and planned production time is defined as the planned downtime and it does not contribute to the calculation. This type of calculation misses the opportunity to analyze the causes of downtime and as a result the efficiency level is miscalculated. Furthermore, since planned downtime is considered normal, no improvement efforts are made.

The aim of the study is to determine an alternative method for calculating the efficiency of the equipment by emphasizing the importance of planned downtime. For this, OOE (General Operation Effectiveness) is defined as a performance key that evaluates the available time concept based on the duration of the shift and evaluates any lay offs as a loss of efficiency. In order to explain the difference between actual and the proposed method, OEE and OOE values based on one-year data of the production line were calculated in a bright steel production company. According to the results, efficiency level calculated by OOE was 6,17 % less and OEE was found to show higher machine efficiency.

Keywords: OEE, OOE, TPM, Efficiency.

1. GİRİŞ

Günümüzde faaliyet gösterdiği sektör hacmi daralan ve birim ürün başına kâr miktarı azalan işletmeler, varlıklarını devam ettirebilmek için gerçekleştirdiği faaliyetlerin etkinlik düzeyini artırması gerekmektedir. İşletme yöneticileri bir yandan değişen çevre koşullarını takip ederken, diğer taraftan faaliyetlerin etkinlik düzeyinin seyrine göre işletmeyi en iyiye getirecek önlemleri almak zorundadır.

Faaliyetlerin takip edilebilirliğinin ve izlenebilirliğinin önem kazanmasından dolayı, veri akışının doğru, güvenilir ve aksamadan gerçekleşmesi, yöneticiler için anlamlı sonuçlar çıkarılması karar süreci için kritik öneme sahiptir. İşletme karar sürecinde, faaliyet çıktılarının anlamlı olarak değerlendirilmesine olanak tanıyan özet verilere, performans göstergeleri adı verilmektedir. Performans göstergeleri, işletmenin üretim ya da diğer faaliyet süreçlerinde gerçekleşen faaliyetleri ile ilgili ölçülmesi beklenen bir çıktıyı tanımlayan kilit karar anahtarlarıdır. Bir insan kaynakları bölümü için performans anahtarı Personel Devir Oranı olabilirken, planlama bölümü için plana uyum veya Stok Devir Oranı olabilmektedir.

Üretim işletmelerinde, ürün dönüşüm sürecinin gerçekleştiği ana faaliyetlerinde birçok performans göstergesi kullanılabilir. Bu göstergeler, aylık üretim miktarı olabildiği gibi, hatalı üretim oranı, yeniden işlem miktarı olabilmektedir. Son dönemde, üretim kabiliyetini artırmak ve müşteri gereksinimlerine hızlı yanıt verme hedefinde olan üretim işlemlerin makine ve ekipmanlara yapmış oldukları yatırımlar, üretim algısı ve beklentisini değiştirmiştir. Gerçekleşen yatırımlar ve kâr oranlarının düşüklüğü, ekipmanların birim zamanı en etkin kullanması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Üretim makine ve ekipmanlarının etkinlik düzeyini belirlemek ve izlemek üzere kullanılan en etkin performans göstergelerinden birisi OEE (Toplam Ekipman Etkinliği)'dir. OEE değeri kullanılabilirlik, performans ve kalite olmak üzere üç alt değerlendirme anahtarına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu sayede, gerektiğinde alt unsurların analizine olanak tanıyarak iyileştirme ve izleme sürecine katkı sağlamaktadır.

OEE açısından kullanılabilirlik, etkin üretim zamanının planlanan üretim zamanı içerisindeki payını değerlendirmek üzere kurgulanmıştır. Planlanan üretim zamanı; günlük üretim vardiyası içerisindeki yemek ve dinlenme molaları, planlı bakım gibi öngörülen ve kabul edilen planlı duruşların dışında kalan kısımdan oluşmaktadır. Bu yaklaşım iki durumun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Birinci olarak, makine ve ekipmanların "planlı duruş" süresi içerisinde çalışması gerekliliği ve duruşların iyileşmesi gerekliliğine inanın azalmasına neden olmaktadır. İkinci olarak ise dur-kalk süreleri

uzun olan makinelerin durdurulması veya çalışma durumunda bırakılmasından dolayı işletme kaynaklarının gereksiz yere tüketilmesine neden olmasıdır. Söz konusu olumsuzlukların ortadan kaldırılmasına yönelik hesaplama değişikliği yapılması ve bütün işletmelerin bütün hatları için anlam ifade edebilir bir hesaplamanın sağlanması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmanın amacı, kullanılabilir zaman içerisinde, planlı duruş sürelerinin dâhil edildiği bir yaklaşımı açıklamaktır. Bu amaçla, kavramsal olarak Genel Operasyon Etkinliği (OOE) kavramı açıklanmış ve OEE ile hesaplama farklılıkları gösterildikten sonra, bir vasıflı çelik üreticisinin bir üretim hattı üzerinde uygulama gerçekleştirilmiştir.

OOE kavramı, performans değerlerinin ortak bir dilde değerlendirilmesinde, “planlı duruş” kavramının oluşturduğu değerlendirme karmaşasının ortadan kalkmasına fayda sağlayarak, hesaplanan değer tüm çalışan ve araştırmacılar için aynı yargısal sonucun oluşmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, TPM uygulamalarının kilit performans anahtarlarından biri olan OEE kavramının yerine OOE kullanılması, iyileştirilmesi gereken konular içerisinde göz ardı edilen “planlı duruş sürelerini” dâhil ederek, incelenen üretim hattı veya makine ve ekipmanların çıktı miktarlarının artmasına katkı sağlayacaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Üretim makineleri ve ekipmanlarının genel verimlilik düzeyi bakımından en önemli performans göstergelerinden biri olan OEE, sağlamış olduğu verilerin analiz dinamik zamanlarda kendisini güncellemesi ve değerlendirmeye olanak tanınması sayesinde, saha uygulamasında kullanım sıklığını artırdığı gibi yapılan literatür çalışmalarında da önemli düzeyde kullanılmış ve incelenmiştir.

OEE ile ilgili yapılan literatür çalışmaları, kavramsal çerçevenin ve hesaplama yönteminin açıklanması ile uygulamalarda kullanımının örneklenmesi üzerine gerçekleşmiştir. Bu kısımda, OEE performans göstergesi son yıllarda gerçekleşen çalışmalar hakkında özet bilgiye ver verilmiştir.

TPM metodolojisinin temel mantığı ile uyuşan ve metodolojinin temel göstergelerinden biri olan OEE ile ilgili Dökme (2013), Koçak (2015), Ramachandra vd. (2016) ile Darade vd. (2017) çalışmalarında, yöntemin TPM için önemi ve kullanım amacını açıklamıştır. TPM yapısının özellikle kurulum aşamasında, kayıp türleri yapısının kurulması aşaması olmak üzere, kayıpların analiz edilmesi ve uygulama yöntemlerinin belirlenmesi ile çalışmaların takip edilebilirliği aşamasında OEE'nin katkısı ve etkinliği vurgulanmıştır.

Çalışmaların bir kısmı, "OEE nasıl hesaplanmaktadır?" sorusunun cevabını oluşturmaktadır. Söz konusu çalışmalarda, OEE'nin hesaplama metodolojisi açıklanmış ve yazarların belirlemiş oldukları bir uygulama alanında örnekleme yaparak yöntemin hesaplaması pratik olarak gösterilmiştir. Temiz vd. (2010), bir döküm fabrikasının kalıplama hattında; Nayak vd. (2013), kablo imalatı işletmesi izolasyon hattında; Güner ve İşler (2013), konveksiyon işletmesinde; Kalpande (2014), bir eğitim enstitüsünde; Siveselvam ve Gajendran (2014), plastik fabrikasında bulunan kapsül enjeksiyon makinesinde ve Vivekprabhu vd. (2014) ise bir imalat işletmesinde OEE'nin hesaplama metodolojisini açıklayan çalışmalar gerçekleştirmiştir.

OEE çalışmalarının önemli kısmı, iyileştirme çalışmalarının ölçüm ve izleme aracı olarak OEE'nin kullanılması üzerine gerçekleşmiştir. Görener (2012), aspiratör imalatı yapan bir işletmede makine etkinliğinin artırılması amacı ile TPM metodolojisinden uygulamış ve çalışmanın başlangıç aşamasında mevcut durumun analiz edilmesinde OEE'den faydalanarak, odaklanılan üretim makinesinin etkinliğini % 33 olarak hesaplamıştır. Palanisamy ve Vino (2013), çalışmasının başlangıç aşamasında ve SMED metodolojisinin uygulama aşamasından sonra etkinliği, OEE ile değerlendirmiş ve söz konusu makinenin etkinliğinin çalışma ile % 35,4 değerinden % 44,6 değerine yükseltildiği sonucuna ulaşmıştır. Benzer şekilde Polat (2014), otomasyon uygulamasını işletmeye entegre ederek elektrik enerjisi tasarrufu sağlamaya yönelik yapmış olduğu çalışmada; Vijayakumar ve Gajendran (2014), enjeksiyon kalıbı prosesinde uygulamış olduğu TPM çalışmalarının etkinliğinin değerlendirilmesinde; Lahri ve Pathak (2015), CNC freze ve CNC borverk tezgâhlarının mevcut durum analizi ve iyileştirme etkinliğinin ölçülmesinde; Yasin ve Daş (2017), kalite çemberleri ve iyileştirme takımları ile yapılan çalışmalarının etkinliğinin değerlendirmesinde; Rimawan ve Irawan (2017), mevcut durum analizi ve SMED, otonom bakım ve KAIZEN çalışmaları sonucunda elde edilen etkinliğin belirlenmesinde; Raut ve Raut (2017), otomotiv yan sanayinde bir işletmede 5S, Otonom Bakım, KAIZEN ve Planlı Bakım çalışmalarının sonuçlarının ölçülmesinde ve Ersoy vd. (2018), demir çelik fabrikasında TPM uygulamasının başlangıç, izleme ve değerlendirme aşamalarında OEE performans göstergesinden faydalanmıştır.

Çalışmada önerilen OOE (Genel Operasyon Etkinliği) kavramı ile ilgili herhangi bir literatür çalışmasına rastlanmamıştır. Ancak, performans anahtarı olarak OEE sıklıkla literatürde kullanılmıştır. Ancak bu çalışma ile OOE kavramının literatüre kazandırılmasından sonra uygulamada tercih edilme oranının artması beklenmektedir.

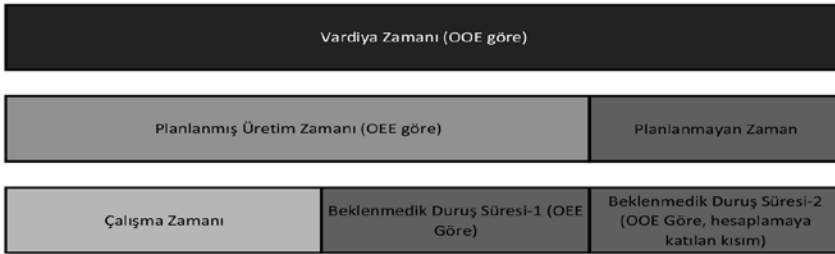
3. YÖNTEM

Üretim organizasyonlarının faaliyet çeşitliliği ve faaliyet verimliliklerini hesaplama yöntemlerine bakış açısı, ortaya çıkan verimlilik değerlerinin farklılaşmasına ve hesaplanan değerlerin farklı değerlendirilmesine yol açmıştır (Çelik, 2018).

Makine ve üretim ekipmanı etkinliğinin değerlendirilmesinde genel kabul görmüş performans kriteri olan OEE; kullanılabilirlik, performans ve kalite olmak üzere üç unsuru içeren faaliyet göstergesidir. Bu unsurlar içerisinde kullanılabilirlik, planlanan üretim zamanı kabulüne göre hesaplanmaktadır.

Planlanan üretim zamanı, üretim işletmesinin üretim vardiyası içerisinde planlanan duruş zamanının dışında üretimin gerçekleşeceği düşünülen çalışma zamanını ifade etmektedir. Personelin ara ve yemek molaları, eğitim, planlı bakım gibi nedenlerle meydana gelen duruşlar planlı duruş içerisinde değerlendirilmektedir. Bunların dışında, ayar ve hazırlık kayıpları, arıza, bekleme ve organizasyonel sebeplerden dolayı meydana gelen duruşlar plansız duruşlar olarak kabul edilip, hesaplamalarda kullanılabilirlik oranını düşüren unsurlar olarak kabul edilmektedir.

OEE göre kullanılabilirlik hesaplandığında, planlanan çalışma zamanı vardiya zamanının tamamı olarak kabul edilmektedir. Bu durumda, OEE içerisinde dikkate alınmayan ve hesaplama katılmayan planlı duruş süreleri, makine etkinliğine katılmış olacaktır.



Şekil 1. OEE ve OOE Göre Kullanılabilir Zaman Kavramları

Planlanan zaman hesaplama yöntemine bağlı olarak, makine ve ekipmanın kullanılabilirliği aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$\text{Kullanılabilirlik} = \frac{\text{Çalışma Zamanı}}{\text{Planlı Üretim Zamanı}}$$

Ekipman etkinliği kavramı içerisinde performans, gerçekleşen üretim süresi içerisinde tamamlanması gereken üretim miktarına göre tamamlanmış üretim miktarının seviyesini değerlendirmek amacı ile kullanılmaktadır. Üretim hatlarından veya makinelerde, boş ve küçük duruş kayıpları, üretim zamanı içerisinde makinenin boş olduğu zaman dilimleri veya geçici makine duruşları nedeniyle meydana gelebilir. Bunun yanı sıra ölçülen ve kabul edilen hız değerlerinin azaltılarak üretimin gerçekleşmesi sebebiyle, düşük hız kayıpları oluşabilir. Meydana gelen kayıpları, makinenin çalıştığı süre boyunca ortaya çıkan üretim miktarında azalmalara neden olmaktadır.

$$\text{Performans} = \frac{\text{Gerçekleşen Üretim Miktarı}}{\text{Yapılabilir Üretim Miktarı}}$$

Etkinlik ölçümünün ikincil parametresi, performans oranıdır. Kullanılabilirliğin uzantısı olarak gerçek üretim süresini dikkate alarak hesaplanmalıdır. Gerçekleşen üretim süresi içerisinde üretilmesi gereken miktara bağlı olarak gerçekleşen üretim miktarının seviyesi ölçülmektedir (Çelik, 2018).

Üretim ekipmanlarının yanlış kullanımı ve ayar parametrelerinin doğru belirlenememesi ya da arıza sebebi ile üretim makine veya hatlarından çıkan ürünlerin müşteri toleransları dâhilinde kabul edilebilir seviyede üretilme sıklığını, ekipman etkinliğinin kalite unsuru ile değerlendirilmesi yapılır. Diğer bir ifade ile kalite oranı üretim prosesine olan hâkimiyeti ve müşteri isteklerinin hatasızlık çerçevesini ifade etmektedir. Müşteri istek ve şartlarını sağlayan üretim miktarının toplam üretim miktarına oranı, kalite oranı veya kalite uygunluk oranı olarak tanımlanır (Dökme ve Taner, 2013).

$$\text{Kalite} = \frac{\text{İyi Parça Miktarı}}{\text{Toplam Parça Miktarı}}$$

Ekipman etkinliği hesaplaması; kullanılabilirlik, performans ve kalite oranlarından elde edilen değerlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Kullanılabilirlik kriteri, gerçekleşen üretim süresinin planlanan üretim süresi içerisindeki payını belirlemektedir. Etkinlik veya performans kriteri, gerçekleşen üretim süresi içerisinde üretim miktarının, üretilmesi gereken üretim miktarı içerisindeki payı göstermektedir. Kullanılabilirlik ve performans kriterlerine bağlı olarak, gerçekleşen üretim miktarı içerisinden müşteriye direkt gönderilebilir üretim miktarı kalite oranı ile açıklanmaktadır. OEE ve OOE yaklaşımlarına bağlı olarak ekipmanın etkinliğinin hesaplamalarını ve kullanılabilirlik unsurunun hesaplamasındaki kabulünü açıklamak amacıyla Çizelge 1 oluşturulmuştur.

Çizelge 1. OEE ve OOE Yaklaşımlarına Göre Ekipman Etkinliği Hesaplaması

Tanım	Açıklama	OEE Hesaplama Yöntemi	OOE Hesaplama Yöntemi	Ekipman Etkinliği
A	Vardiya Süresi	Kullanılabilirlik $F = (E/C) \times 100$	Kullanılabilirlik $M = (E/A) \times 100$	$OEE = F * J * L$
B	Planlı Duruş			
C	Planlı Çalışma Zamanı (A-B)			
D	Planlı Çalışma Zamanı Kayıpları			
E	Operasyon Zamanı			
G	Üretim Miktarı	Performans $J = (G \times 100) / I$	Performans $J = (G \times 100) / I$	$OOE = M * J * L$
H	Makine Kapasitesi (adet/min)			
I	Beklenen Üretim Miktarı			
K	Hatalı Üretim Miktarı	Kalite $L = (G - K) * 100 / G$	Kalite $L = (G - K) * 100 / G$	

Yapılan çalışmalar ve araştırmalar, her ne kadar tüm makine ve ekipmanlar için genelleme yapılması doğru olduğu kabul edilmeyen çalışmalar olsa da OEE için dünya standardının % 85 ve üzeri olması gerekliliğini ortaya koymuştur (Gupta ve Garg, 2012). En düşük OEE performansının ortaya çıkabilmesi için, kullanılabilirlik değerinin % 90, performans değerinin % 95 ve kalite oranının % 99,9 olması gerekmektedir.

4. ÖRNEK ÜRETİM HATTINDA ETKİNLİK DEĞERİNİN HESAPLANMASI

Üretim etkinliğini değerlendirmek üzere belirlenen performans anahtarları, işletme yöneticilerinin üretim faaliyetlerinin genel seyrini takip etmesi ve aksiyonların etkinliğini değerlendirmesi amacı ile kullanılan özet verilerdir. Üretime ya da farklı bir sürece ait bir performans anahtarı, ilgili sürecin hedeflenen kısmının ölçülmesinde doğru ve güvenilir sonuçlar sunması gerekmektedir.

Üretim ekipmanlarının değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan OEE, makine ve ekipmanların etkinliğini, kullanılabilirlik, performans ve kalite unsurlarına bağlı olarak değerlendirmektedir. İşletmelerin iç ve dış paydaşlarının da üretim etkinliğini ortak çerçevede değerlendirmesi açısından önemli bir parametredir. Ancak, işletme yöneticilerinin planlı duruş kavramına bakış açısında değişiklikler ve işletmelerinin operasyon özellikleri, kullanılabilirlik hesaplamasında farklılıklar oluşmasına neden olmaktadır.

Kullanılabilirlik hesaplamalarındaki farklılığın ortadan kaldırılmasının önlenmesi amacı ile önerilen OEE ile OEE arasındaki farklılığı açıklamak üzere, Kocaeli ilinde faaliyet gösteren vasıflı çelik üreticisinin üretim hattında bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

4.1. Makine Kayıp Türlerinin Belirlenmesi

Kayıp türlerinin belirlenmesi, OEE ve OEE hesaplamalarında kullanılabilirlik değerinin hesaplanmasına katkı sağladığı gibi, kullanıcıların özellikle Kullanılabilirlik Analizi yaparak önlemler almak istediğinde ilk başvurduğu veri kaynağı niteliğindedir.

Çalışmada ele alınan üretim hattı, bir aylık zaman aralığında incelenerek, kayıp türleri belirlenmiştir. Bu aşamada, saha incelemesi, proses başında video kaydı ve üretim kayıtları incelenerek kayıp türleri belirlenerek üretim hatlarına atanmıştır. Elde edilen verilere dayalı olarak hatlarda belirlenen kayıp türleri Çizelge 2'de özetlenmiştir.

Çizelge 2. Üretim Hattı Duruş Türleri

Duruş Tipi	Duruş Tipi
Ayar İşlemleri	Diğer Operasyon Bekleme
Kesici Uç Değişimi	Yağ İlavesi
Hammadde Değişimi	Tavan Vinci Bekleme
Mekanik Arızalar	Hammadde Bekleme
Elektrik Arızaları	Malzeme Taşıma
Kalite Onayı Bekleme	

Kayıp türlerinin belirlenmesi ve üretim veri sisteminin düzenlenmesinden sonra, kullanılabilirlik hesabının alt kırılımlarında Çizelge 2, verilen kayıp türlerinin izlenebilmesine olanak tanımıştır.

Belirlenen kayıp türlerine bağlı olarak, üretim veri sistemi üzerinde gereken değişiklikler yapıldıktan sonra 2018 yılı Ocak / Aralık ayları arasında makinenin kullanılabilirlik düzeyi hesaplanmıştır. Üretim hattının aylara bağlı etkinlik değerlerinin hesaplama yöntemi ve elde edilen sonuçlar bir sonraki kısımda incelenmiştir.

4.2. Makine Etkinliğinin Belirlenmesi

OEE oranı, üretim hatlarının planlanan üretim zamanı içerisinde belirlenen performans kriterlerine göre üretilebilen doğru üretim oranını ifade eden performans anahtarıdır. OEE oranının hesaplanabilmesi için, kullanılabilirlik, performans ve kalite oranlarının belirlenmiş olması gerekmektedir.

Hesaplanan OEE verileri, üretim hatlarının etkinlik düzeylerini belirlemek amacı ile kullanılabilirdiği gibi, alınan aksiyonların ve çalışmaların etkinliğinin değerlendirilmesi aşamasında da kullanılabilir. Bu nedenle iyileştirme çalışmalarının başlangıcında, devamında ve çalışma sonrası sürdürülebilirliğin izlenmesi amacı ile OEE verilerinden faydalanılır. Bu çalışmada ise başlangıç aşamasında "hangi üretim hattının öncelikli olarak incelenmesi gerekir?" ve devamında "yapılan çalışmaların ekipman etkinliğine etkisi nedir?" sorularının cevaplanması amacı ile OEE oranından faydalanılmıştır.

Üretim hatlarına ait OEE hesaplanması için gerekli veri tipleri ve kaynakları belirlendikten sonra, 2018 -2019 yılı arasında 12 aylık dönem içerisinde hatların etkinlik değerleri izlenmiştir. Örnek olarak üretim hattına Ocak ayına ait veriler Çizelge 3'te verilmiş ve devamında ekipman etkinlikleri OEE ve OOE Yaklaşımı ile hesaplanmıştır.

Çizelge 3. Üretim Hattı Duruş Türleri

Tanım	Süre (dk)	Tanım	Miktar (Ton)
Brüt Üretim Süresi	23953	Üretilebilecek Ürün Mik.	880
Planlı Duruş Süresi	1612	Üretilen Ürün Mik.	593
Plansız Duruş Süresi	5634	Üretilen Hatalı Ürün Mik.	0,47

OEE göre kullanılabilirlik, planlanan üretim süresi içerisindeki aktif olarak çalışma yapılan üretim süresinin oranını ifade etmektedir. Diğer bir ifade ile planlanan üretim süresinden plansız duruşların çıkartılması sonucunda kalan sürenin, toplam planlı üretim süresi içerisindeki oranıdır. Buna göre kabuk soyma hattına ait kullanılabilirlik değeri Çizelge 3'te verilen değerlere bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Kullanılabilirlik} = \frac{(23953 - 1612) \text{ dk} - 5634 \text{ dk}}{(23953 - 1612) \text{ dk}} = 0,7478$$

Çalışmada önerilen OOE'ye göre kullanılabilirlik, brüt çalışma süresi içerisindeki aktif olarak çalışma yapılan üretim süresinin oranını ifade etmektedir. Diğer bir ifade ile brüt üretim süresinden, planlı ve plansız duruşların çıkartılması sonucunda kalan sürenin, toplam brüt üretim süresi içerisindeki oranıdır. Buna göre kabuk soyma hattına ait OOE yaklaşımına göre, kullanılabilirlik değeri Çizelge 3'te verilen değerlere bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Kullanılabilirlik} = \frac{23953 \text{ dk} - (5634 + 1612) \text{ dk}}{23953 \text{ dk}} = 0,6975$$

Performans, etkin çalışma süresi içerisinde makine performansını değerlendirmektedir. Söz konusu süre içerisinde üretilen üretim miktarının, üretilebilecek üretim miktarına oranı şeklinde hesaplanabilir.

$$\text{Performans} = \frac{593 \text{ ton}}{880 \text{ ton}} = 0,6738$$

Hesaplanan yapılabilir üretim miktarı, üretim hattında işlem gören sipariş için, belirlenen çalışma parametrelerinde yer alan üretim hızına bağlı olarak hesaplanmıştır. Bir ay içerisinde çok sayıda farklı sipariş söz konusu olduğunda, hesaplama aşamasında bu değerler dikkate alınmasına rağmen, bu çalışmada hesaplamaların çıktıları sunulmuştur.

Üretilen üretim miktarı içerisinde, müşteri spesifikasyonunu karşılayabilecek ürünlerin payı kalite oranı ile ifade edilmektedir.

$$\text{Kalite} = \frac{592,53 \text{ ton}}{593 \text{ ton}} = 0,9992$$

Hesaplanan kullanılabilirlik, performans ve kalite oranlarına bağlı olarak, kabuk soyma hattının ocak ayına ait OEE ve OOE değeri aşağıdaki formüle bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$\text{OEE} = 0,7478 * 0,6738 * 0,9992 = 0,5034 (50,34 \%)$$

$$\text{OOE} = 0,6975 * 0,6738 * 0,9992 = 0,4696 (46,96 \%)$$

Örnek hesaplama yöntemine göre, üretim hattının ocak ayına ait OEE ve OOE değerleri sırasıyla % 50,34 ve % 46,96 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde, her bir üretim hattının on iki aylık verilerine bağlı olarak aylık ve ortalama yıllık kullanılabilirlik, performans ve kalite oranları ile OEE değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4'te elde edilen sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4. Üretim Hattı Duruş Türleri (OEE Göre)

Üretim Hattı	Değerlendirme Kriteri	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Yıl Ortalaması
	Kullanılabilirlik	% 74,78	% 70,96	% 74,4	% 67,80	% 67,0	% 71,66	Kullanılabilirlik
	Performans	% 67,37	% 74,16	% 79,9	% 72,53	% 78,2	% 85,36	% 72,36
	Kalite	% 99,92	% 99,83	% 99,9	% 99,70	% 99,9	% 100,0	Performans
	OEE	% 50,31	% 52,53	% 59,4	% 49,03	% 52,3	% 61,17	% 78,30
	Değerlendirme Kriteri	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Kalite
	Kullanılabilirlik	% 70,63	% 75,93	% 57,8	% 72,47	% 84,6	% 80,16	% 99,81
	Performans	% 80,05	% 80,11	% 83,7	% 82,94	% 80,7	% 74,52	OEE
	Kalite	% 99,95	% 100,0	% 99,0	% 100,0	% 99,7	% 99,64	% 56,50
	OEE	% 56,51	% 60,83	% 47,9	% 60,11	% 68,2	% 59,52	

OEE yaklaşımına bağlı olarak hesaplanan on iki aylık kullanılabilirlik değeri dikkate alınarak, üretim hattının ortalama kullanılabilirlik değeri, ortalama performans ve kalite oranı ile etkinlik değeri Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Üretim Hattı Duruş Türleri (OOE Göre)

Üretim Hattı	Değerlendirme Kriteri	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Yıl Ortalaması
	Kullanılabilirlik	% 69,75	% 66,92	% 68,0	% 61,52	% 63,2	% 64,30	Kullanılabilirlik
	Performans	% 67,37	% 74,16	% 79,9	% 72,53	% 78,2	% 85,36	% 64,58
	Kalite	% 99,92	% 99,83	% 99,9	% 99,70	% 99,9	% 100,0	
	OEE	% 46,95	% 49,54	% 54,2	% 49,03	% 52,3	% 61,17	Performans
	Planlı Süre (dk)	1612	1500	1715	1684	1018	1816	% 78,30
	Değerlendirme Kriteri	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Kalite
	Kullanılabilirlik	% 65,73	% 67,07	% 51,6	% 65,16	% 65,53	% 66,16	% 99,81
	Performans	% 80,05	% 80,11	% 83,7	% 82,94	% 80,7	% 74,52	OEE
	Kalite	% 99,95	% 100,0	% 99,0	% 100,0	% 99,7	% 99,64	% 50,33
OEE	% 56,51	% 60,83	% 47,9	% 60,11	% 68,2	% 59,52		
Planlı Süre (dk)	1483	1288	1033	981	1140	1006		

Çizelge 4 ve Çizelge 5'te, OOE yaklaşımına göre hesaplanan etkinlik değeri, geleneksel ekipman etkinliği değeri olan OEE'ye göre % 6,17 oranında daha düşük hesaplanmıştır.

5. SONUÇ

Günümüzde işletmeler, müşteri, rekabet ve maliyet üçlüsünün neden olduğu zorlayıcı koşullar altında faaliyetlerini devam ettirmektedir. Bir yandan değişen ve farklılaşan müşteri beklentileri, diğer yandan beklentilerin karşılanması için gerçekleşen yatırım harcamaları, birim üretim veya hizmet maliyetlerini artırmıştır. İşletme kârlılığının korunması için, artan maliyet oranında satış fiyatının artırılması beklenirken, sektör içi rekabet ve ikame ürünlerin çeşitliliği, satış fiyatının piyasa koşullarında kısıtlanmasına neden olmuştur. Bu koşullar altında hedeflenen satış hacmindeki kârlılık düzeyine ulaşılması, maliyetler karşısında esnek olmayan satış fiyatlarını artırarak değil üretim maliyetlerini azaltarak gerçekleşmesi olasıdır.

Üretim maliyetlerinin azaltılması, özellikle ürün dönüşüm faaliyetlerinde yaşanan kayıpların elimine edilerek ortadan kaldırılması ile gerçekleşecektir. Yaşayan organizasyon olan işletmelerin dinamik yapısı gereği, bu kayıpların da anlık olarak incelenebilmesi ve hızlı değişimler karşısında yöneticilerin hızlı ve doğru kararlar alması gerekmektedir. İşletme yöneticilerinin karar noktasında, faaliyetlerin hızlı ve doğru olarak değerlendirilmesine yardımcı olan verilere performans göstergeleri adı verilmektedir. Performans göstergeleri, odaklanılan faaliyetlerle ilgili kilit çıktıların ölçülmesine ve değerlendiriciler için, ortak anlamlı değerlendirmelerin oluşmasına katkı sağlamaktadır.

Üretim işletmeleri için faaliyet kayıplarının azaltılması söz konusu olduğundan odaklanılan nokta ürün dönüşümünün gerçekleştiği makine ve ekipmanlardır. Makine ve ekipmanların etkinliğinin ölçülmesi, verimsizlik kaynaklarının belirlenmesi, alınan iyileştirme aksiyonlarının tesir düzeyinin belirlenmesi amacı ile sıklıkla kullanılan performans göstergesi OEE'dir. OEE, üretim makine ve ekipmanlarında zamanın etkin kullanımını, üretim çıktısının performansı ve kalitesi üzerinden değerlendirmektedir. Bu nedenle, kullanılabilirlik, performans ve kalite oranı olmak üzere üç alt unsurdan meydana gelmektedir. Alt unsurlar içerisinde kullanılabilirlik, üretim zamanı içerisinde kayıpsız gerçekleşen üretim zamanının payını ölçmektedir ve genel olarak işletme yöneticilerine kayıpların türleri ve analizi konusunda özet bilgi sunmaktadır.

Kullanılabilirlik hesaplamalarında, "planlanan üretim süresi" kavramı kritik öneme sahiptir. Planlanan üretim süresi, işletmenin brüt çalışma süresi (vardiya süresi) içerisinde planlı olarak belirlenmiş duruşların çıkartılarak elde edilen zaman verisidir. Üretim hattının veya makinenin zaman kullanım oranını, bu süre üzerinden değerlendirmesi esasına dayanır. Ancak, işletmeler arası rekabetin artışı, birim zamanın etkin kullanılmasına bağlı

çıktı miktarının artırılarak müşteriye daha hızlı ulaştırılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, işletmede “planlı duruş” kapsamına alınan ve kullanılmayan zaman diliminin kullanılması önemli hale gelmiştir.

Bu çalışmanın amacı, ekipman etkinliğinin değerlendirilmesinde “planlı duruş” kavramının ortadan kaldırılmasına yönelik bir yaklaşım sunarak, OEE’ye alternatif belirlemektir. Çalışmada, kullanılabilirlik hesaplamasını brüt çalışma süresi üzerinden değerlendirme esasına dayalı OOE kavramı tanımlamıştır. Devamında, OOE ile OEE farklılıklarını göstermek amacı ile hesaplama sistematığı açıklanmış ve bir vasıflı çelik üretici firmanın üretim hattının bir yıllık etkinlik düzeyi değerlendirilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre, üretim hattında bir yıl boyunca planlı duruş adı altında 16.276 dakika duruş yaşanmaktadır. Üretim hattının yıl içi ortalama planlanan üretim süresi 10.333 dakika olduğu göz önüne alındığında, “planlı duruş” kaybının işletme için bir aylık üretim süresinin çok üzerinden bir değer olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sürenin, kullanılabilir süre içerisinde değerlendirilmemesinden dolayı ortaya çıkan yapay performans artışı % 6,17 değerindedir. Oysa ki siparişe dayalı bir üretim işletmesinde ayar sürelerinin iyileştirilmesine yönelik bir SMED çalışmalarında bile, ortalama birim ayar süresi % 58- % 67 oranında iyileşmesinin kullanılabilirlik değerine yansımaları % 6,64 olmaktadır (Çelik, 2018). Bu değer dikkate alındığında, “plan duruş” kavramında yer alan duruş kaynaklarının hesaplamalara katılması gerektiği, gerçek ekipman performansının hesaplanmasında OOE yaklaşımının, işletmelerin mevcut durumu ile daha gerçeğe yakın bir oran verdiği sonucu ulaşılmıştır. OOE hesaplaması ile verimlilik düzeyi gerçeğe indirgeneceğinden, işletme yöneticilerinin iyileştirme ve organize etme çalışmaları içerisinde bu kayıp türleri de katılacaktır. Bu sürelerin de dikkate alınarak, işletmeler birim vardiya sonucunda elde edilebilecek çıktı miktarını en büyükleme imkânı oluşacaktır.

Kullanılabilir sürenin sınırlarının genişletilmesini ve ölçülmesini gerekliliğini açıklayan bu çalışmanın devamında gerçekleştirilecek olan akademik araştırma ve uygulama çalışmalarında ele alınacak olan bir üretim hattı veya makinesinin iyileştirmesi kapsamında, diğer kayıp türleri ile birlikte planlı duruş kayıplarının da incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- ÇELİK, H., (2018), **SMED Uygulamalarının İmalat Sürelerine ve Birim Maliyete Olan Etkisi ve Toplam Ekipman Etkinliği İle Değerlendirilmesi**, Sakarya Üniversitesi, İşletme Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- DARADE, M., KHARE, P., DESAI, P., (2017), **Overall Equipment Effectiveness in Construction Equipment's (Implementation of OEE for Improving Performance and Quality Output of the Equipment)**, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, 5 (7): 1808-1811.
- DÖKME, F., TANER, E., (2013), **Toplam Verimli Bakım Stratejisi ve Endüstriyel Tesislerde Uygulanmasının Önemi**, Teknik Bülten, 42 (4): 21-31.
- ERSÖZ, T., ÖZTÜRK, E. ve GÜREL, E., (2018), **Demir Çelik Sektöründe Toplam Verimli Bakım Uygulaması**, International Journal of Economic and Administrative Studies, 18:447-458.
- GÖRENER, A., (2012), **Toplam Verimli Bakım ve Ekipman Etkinliği: Bir İmalat İşletmesinde Uygulama**, Electronic Journal of Vocational Colleges, 2 (1): 15-20.
- GUPTA, A. K., GARG, R. K., (2012), **OEE Improvement by TPM Implementation: A Case Study**, International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research (IJIEASR), 1 (1): 115-124.
- GÜNER, M., İŞLER, M., (2013), **The Effect of Model Change Processes on the Overall Equipment Effectiveness in Clothing Production**, Tekstil ve Konfeksiyon, 23 (3): 297-302.
- KALPANDE, S. D., (2014), **OEE an Effective Tool for TPM Implementation- A Case Study**, 8th International Quality Conference, Serbia, 521-526.
- KOÇAK, A., (2015), **İmalat Süreçlerinde Kullanılan Performans Ölçütleri Üzerine Bir Literatür Araştırması**, Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 17 (3): 160-184.
- LAHRI, V. & PATHAK, P., (2015), **A Case Study of Implementation of Overall Equipment Effectiveness on CNC Table Type Boring & Milling Machine of a Heavy Machinery Manufacturing Industry**, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 12 (5): 66-70.
- NAYAK, D. M., KUMAR, V. M. N., NAIDU, G. S., SHARKAR, V., (2013), **Evaluation of OEE in a Continuous Process Industry on an Insulation Line in a Cable Manufacturing Unit**, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2 (5): 1629-1634.
- PALANISAMY, V. & VINO, J. A., (2013), **Implementing Overall Equipment Effectiveness in a Process Industry**, Indian Journal of Science and Technology, 6: 4789-4793.
- POLAT, İ., (2014), **İşletmelerde Toplam Ekipman Etkinliği (OEE) Kullanımı İle Elektrik Enerjisi Tasarrufu**, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- RAMACHANDRA, C. G., PRASHANTH, P. M., SRINIVAS, T. R., RAGHAVENDRA, M. J., (2016), **OEE - A Tool to Measure the Effectiveness of TPM Implementation**

- in Industries - A Review**, GRD Journals- Global Research and Development Journal for Engineering, 1 (12): 92-96.
- RAUT, S. & RAUT, N., (2017), **Implementation of TPM to Enhance OEE in A Medium Scale Industry**, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 4 (5): 1035-1041.
 - RIMAWAN, E., IRAWAN, A. P. B., (2017), **Analysis of Calculation Overall Equipment Effectiveness (OEE) in the Implementation of Total Productive Maintenance (TPM) PC 200-8 Excavator Grab and Magnet Type Case Study in Cakratunggal Steel Mills Company**, International Journal of Scientific & Engineering Research, 8 (1): 1363-1398.
 - SIVASELVAM, E. & GAJENDRAN, S., (2014), **Improvement of Overall Equipment Effectiveness in a Plastic Injection Moulding Industry**, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 5 (53): 12-16.
 - TEMİZ, İ., ATASOY, E., SUCU, A., (2011), **Toplam Ekipman Etkinliği ve Bir Uygulama**, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 12 (4): 49-60.
 - VIJAYAKUMAR, S. R., GAJENDRAN, S., (2014), **Improvement of Overall Equipment Effectiveness (OEE) in Injection Moulding Process Industry**, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 2 (22): 44-60.
 - VIVEKPRABHU, M., KARTHICK, R., KUMAR, G. S., (2014), **Optimization of Overall Equipment Effectiveness in a Manufacturing System**, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 3 (3): 1192-1196.
 - YAŞIN, M. F., DAŞ, G. S., (2017), **KOBİ'lerde Ekipman Etkinliğinin İyileştirilmesinde TEE Tabanlı Yeni Bir Yaklaşım: Bir Ahşap İşleme Kuruluşunda Uygulama**, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32 (1): 45-52.