

TOPLAM VERİMLİ BAKIM VE EKİPMAN ETKİNLİĞİ: BİR İMALAT İŞLETMESİNDE UYGULAMA**Ali GÖRENER¹****Özet**

Toplam Verimli Bakım (TVB); etkinlik analizleri, grup çalışmaları, planlı ve otonom bakım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği, sıfır hata, sıfır makine ve sistem duruşunu hedefleyen bir varlık yönetimi sistemidir. Bu çalışmada, öncelikle bakım kavramı açıklanmış ve ekipman etkinliğiyle ilgili literatür taraması sunulmuştur. İşletme varlıklarının etkinliğinin ölçülmesinde kullanılan, Toplam Ekipman Etkinliği (TEE) kavramı ve bu kapsamda gerçekleştirilen makine ve ekipman uygunluğu, performans etkinliği, kaliteli ürün oranı hesaplamalarına ilişkin denklemler ifade edilmiştir. Son kısımda ise, aspiratör imalatı yapan bir firmada gerçekleştirilen TEE analizi çalışması sunulmuştur. Yapılabilecek iyileştirme faaliyetleri kapsamında, uygunluk değerinin artırılması için süreç planlaması ve bir dakikada kalıp değişimi gibi önerilere yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: toplam verimli bakım, toplam ekipman etkinliği, varlık yönetimi.

TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE AND EQUIPMENT EFFECTIVENESS: APPLICATION FOR A MANUFACTURING COMPANY**Abstract**

Total Productive Maintenance (TPM) is the assests management system aimed to zero fault and zero machine and system using effectiveness analysis, group studies, planned and autonomous maintenance activities. In this study, firstly maintenance concept is explained and literature review related to equipment effectiveness presented. Secondly, TPM philosophy is introduced, Overall Equipment Effectiveness (OEE) framework is described with the components and machine availability, performance efficiency, quality rate equations and calculations clarified to measure the firm's efficiency about own assets. Lastly, detailed OOE case study performed in a cooker hood manufacturing company and some improvement actions like single minute exchange die (SMED) and process planning activities for development for availability were suggested.

Keywords: total productive maintenance, overall equipment effectiveness, assests management

Giriş

Sahip oldukları varlıkları ekonomik ömrü süresince, istenilen düzeyde etkin bir şekilde kullanmak isteyen işletmeler için, bakım ihtiyacının tespiti ve gerekli bakım faaliyetlerinin planlaması kritik önemdedir. Rekabetin giderek arttığı günümüzde bakım konusu, "varlık yönetimi" başlığı altında bir bütün olarak ele alınmaya başlamıştır. Özellikle imalat işletmelerinin performansı ve buna bağlı olarak rekabet gücü, üretim tesislerinin istenen düzeyde kullanılabilirliğine ve güvenilirliğine bağlıdır (Muchiri vd., 2010).

Bakım; üretim araçlarını ve diğer varlıkları, örgütün amaçlarını en iyi şekilde destekleyecek durumda tutmak için tasarlanan faaliyetler bütünüdür (Monks, 1996). Bakım, imalat veya hizmet sistemine ait ekipmanların, beklenen verimlilik ve koşullarda çalışması için yapılan tüm işlemleri kapsamaktadır (Heizer ve Render, 2012). Etkili bir bakım sistemi; üretimin gerçekleştirildiği makine ve ekipmana ilişkin etkinliğin istenen düzeyde olmasını sağlamak üzere, belirlenmiş yönetim politikaları ile teknik spesifikasyonlara uygun bir şekilde kurulmalıdır. Bakım maliyetlerinin, işletmeye göre değişmekle birlikte, üretim maliyetleri içerisinde % 5 ila % 40 arasında oranlarda olabileceği, bazı sektörlerde % 70'lere kadar çıkabildiği ifade edilmektedir (Bevilacqua ve Braglia, 2000; Köksal, 2007). Üretim sistemi içerisinde bulunan makine ve teçhizatın istenen düzeyde çalışmadığı durumlarda oluşabilecek temel problemler şunlardır (Stevenson, 2009):

- İmalat ve hizmetin sağlandığı sistemin düzensiz hale gelmesi,
- Maliyetlerin artması,

¹ Öğr. Gör. Dr., Beykent Üniversitesi, aligorener@beykent.edu.tr

- c) İstenen ürün kalitesinin sağlanamaması,
- d) Teslimat zamanlarının gecikmesi,
- e) Üretim kapasitesinin azalması,
- f) Güvenlik problemlerinin oluşması.

Günümüz endüstrisinde bakım fonksiyonu artık kaçınılmaz bir maliyet unsuru olarak görülmek yerine, karlılığa katkı sağlayan, rekabete yardımcı bir öge olarak nitelendirilmektedir. Önemi artmasına rağmen, akademik çalışmalar incelendiğinde ve üretim yönetimi ve sistemleriyle ilgili diğer başlıklarla karşılaştırıldığında, bakım konusunun sınırlı sayıda çalışmada işlendiği görülmektedir (Wang vd., 2007).

Bakım planlaması, özellikle üretim sisteminin büyümesi ve üretim miktarının artması durumunda daha fazla önem kazanmaktadır. Bakım faaliyetlerinin, özellikle seri üretim yapan işletmelerde üretim akışı üzerindeki etkisi daha büyüktür (Tekin, 2003).

Toplam Verimli Bakım (TVB) ise, imalat işlemlerini gerçekleştiren operatörlerden üst yönetime kadar tüm çalışanların bakım faaliyetlerine katıldığı, üretim operasyonlarını destekleyen, işletme çapında bir makine ve ekipman bakım yönetimi sistemidir. TVB ilk olarak, 1971 yılında Toyota grubuna bağlı Nippon Denso firması tarafından uygulanmıştır. Seiichi Nakajima (1988), toplam verimli bakımı; makine ve ekipmanların özelliklerini, üretim kalitesi ile olan ilişkilerini, kritik ekipmanların arızalanma sıklıkları ve nedenlerini analiz etmeye ve anlamaya yönelik sistematik bir yaklaşım olarak ifade etmiştir (Türkan ve Esnaf, 2008).

TVB faaliyetleri kapsamında uygulanan ekipman etkinliği analizleri, firmaların ellerindeki varlıkları ne ölçüde etkin kullandıklarını tespit etmeye yarayan hesaplama yöntemleridir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen etkinlik değerleri, ideal değerlerle karşılaştırılarak, sisteme ilişkin iyileştirme önerileri sunulabilmektedir. Toplam ekipman etkinliği; makine uygunluğu, performans etkinliği ve kaliteli ürün oranı değerlerinin bir fonksiyonudur. Bu çalışmada, literatür taramasını takiben, TVB ve toplam ekipman etkinliği kavramları açıklanmış, sonrasında mutfak aspiratörleri üreten bir fabrikada iki hafta süre dikkate alınarak gerçekleştirilen etkinlik hesaplamaları sunulmuş, sonuçlar irdelenerek yorumlanmıştır.

Literatür Taraması

Literatür incelendiğinde, benzeri imalat tesisleri dikkate alınarak, ekipman etkinliğinin hesaplanması için yapılan çalışmalara rastlanmaktadır. Chand ve Shirvani (2000) yapmış oldukları çalışmada, dört haftalık süre ile bir imalat hücresinde gerçekleşen faaliyetleri izlemişlerdir. 125 saatlik operasyon süresini baz alarak yapmış oldukları çalışmada, toplam ekipman etkinliği değerini, % 62 olarak tespit etmişlerdir. İdeal değer olan; % 85'e göre oldukça düşük çıkan sonucu irdelleyen araştırmacılar, özellikle kalıp değiştirme zamanlarının (set-up zamanları) azaltılması gerektiğini vurgulamışlardır. Jeong ve Phillips (2001) gerçekleştirdikleri çalışmada, sermaye yoğun endüstriler için toplam ekipman etkinliği hesaplamaya yönelik bir öneri sunmuşlardır. Detaylı bir veri toplama sisteminin kurulmasına odaklanılan çalışmada, toplam dört makineden oluşan iki adet imalat hücresi ekipman etkinliği açısından incelenmiştir. Saraç vd. (2007) gerçekleştirdikleri çalışmada, bir porselen üretim işletmesinde, altı farklı pres makinesini dikkate alarak ekipman etkinliğini hesaplamışlardır. Bir aylık veriler dikkate alınarak gerçekleştirilen çalışmada, % 47,8 ile 79,1 arasında değerler tespit edilmiştir. Sonuçları irdelleyen araştırmacılar, kalıp değişim süresi ve yükleme süresinin azaltılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Raja ve Kannan (2008) ise yapmış oldukları çalışmada, döküm endüstrisinde toplam ekipman etkinliğinin hesaplanması için bir model önermişlerdir. Tesisat borusu, musluk vb. ürünlerin dökümünün gerçekleştirildiği bir fabrikada, otomatik kalıplama makinelerinin ve indüksiyon fırınlarının yer aldığı imalat sistemini incelemişlerdir. Araştırmacılar, sektöre özel olarak ifade ettikleri "akma" oranı değerini de hesaplamaya katarak oluşturdukları, geliştirilmiş toplam ekipman etkinliği değerini % 51,3 olarak tespit etmişlerdir. Yurdakul vd. (2008) yapmış oldukları çalışmada ise, motorlu taşıtlar sektöründe faaliyet gösteren bir firmada, TVB uygulamaları sonucunda iyileşen kullanım oranı değerlerini irdelemişlerdir. Altı aylık süre sonucunda, kullanım oranında % 13,2 iyileşme sağlandığını ifade etmişlerdir. Almeanazel (2010) yapmış olduğu çalışmada; Ürdün'deki bir çelik üretim işletmesinde gerçekleştirdiği ve on beş günlük süreyi kapsayan uygulama sonucunda, toplam ekipman etkinliği değerini % 55 olarak tespit etmiştir. Çözüm önerisi olarak; hızlı kalıp değişimi uygulamalarının gerçekleştirilmesini ve bilgisayar destekli bakım yönetim sistemine geçilmesi

gerektiğini ifade etmiştir. Tsarouhas (2012), bir içecek üretim hattında sekiz ay boyunca yapmış olduğu gözlemler neticesinde elde etmiş olduğu verileri kullanarak, toplam ekipman etkinliğini hesaplamıştır. Aylık bazda toplam ekipman etkinliğinin, % 71,3 ile % 75,9 arasında değiştiğini tespit etmiştir. İyileştirme önerileri olarak; bazı parça değişimlerinin yapılması ve operatörlere yönelik eğitim programları geliştirilmesi gerektiğini, ayrıca TVB faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi gerekliliğini ifade etmiştir.

Toplam Verimli Bakım

Toplam Verimli Bakım; çalışanların tamamının katılımını gerektiren, operatörlere üzerinde çalıştıkları makine veya ekipmanın otonom bakım sorumluluğunu da yükleyen, arızaları önleyerek ekipman etkinliğini üst düzeye çıkarmayı hedefleyen bir yönetim yaklaşımıdır. 1971 yılında, Japonya'da, Japon Fabrika Bakım Enstitüsü (JIMP) tarafından geliştirilen Toplam Verimli Bakım, Toplam Kalite Yönetimi'nin sıfır üretim hatası düşüncesini temel alarak, hedefin sıfır arıza ve minimum üretim kayıplarına sahip olmak olduğu bakım yönetimi anlayışıyla ekipmanlara uygulayan bir yaklaşımdır (Görener ve Yenen, 2007). TVB, birbiri ile ilişkili üç temel kavramı kapsamaktadır (Gouvea da Costa ve Pinheiro de Lima, 2002):

- Ekipman etkinliğinin belirlenmesi ve artırılmasına ilişkin faaliyetler,
- Operatörlerin gerçekleştirdiği otonom bakım faaliyetleri,
- İyileştirme hedefi ile yapılandırılmış küçük grupların çalışmaları.

TVB uygulamalarının en önemli aşamalarından biri, ekipmanların kullanımına ilişkin mevcut etkinlik değerlerinin hesaplanması ve gerekli faaliyetlerin gerçekleştirilmesidir.

Toplam Ekipman Etkinliği

Toplam Verimli Bakımın temel hedeflerinden biri, işletme varlıklarına ilişkin ekipman etkinliği değerinin en üst seviyede tutulmasıdır. Toplam ekipman etkinliği (TEE); işletmede kullanılan ekipmanların verimliliğini tespit etmek için kullanılan bir ölçüt olarak ifade edilmektedir. Özellikle imalat sektöründeki firmalar, TEE çerçevesinde yapılan analizlerin, ellerindeki varlıkların faydalı kullanım oranını iyileştirdiğini ifade etmektedirler (Muchiri ve Pintelon, 2008). Toplam ekipman etkinliği, makine ve tesislerin hangi etkinlikte kullanıldığını ölçen, yalın üretim ve toplam verimli bakım uygulamalarının başarısında anahtar rol oynayan önemli bir parametredir (Temiz vd., 2010). TEE, endüstriyel anlamda kabul görmüş, geçerli bir performans ölçütüdür (Tsarouhas, 2012). Toplam ekipman etkinliği kavramı; üretilen kaliteli ürün oranı, makinelerin uygunluğu ve performans etkinliği kavramlarıyla ilişkilidir (Chand ve Shirvani, 2000). Bu kapsamda hesaplanması gereken değerler ve bunlarla ilişkili formüller şu şekildedir:

Ekipman Kullanım Değeri = [(Toplam çalışma süresi - Toplam planlanan duraklamalar) / Toplam Çalışma Süresi] x 100

Planlanan Makine Uygunluğu= [(İşleme süresi - Set-up süresi)/ İşleme süresi] x 100

Gerçekleşen Makine Uygunluğu= [(İşleme süresi - Set-up süresi - Boşta kalmalar)/ İşleme süresi] x 100

Performans Etkinliği = [(Ortalama döngü süresi x Üretilen hatasız ürün sayısı) / Operasyon süresi] x 100

Kaliteli Ürün Oranı = [(Üretilen hatasız ürün sayısı - Hatalı ürün sayısı)/ Üretilen hatasız ürün sayısı] x 100

Toplam Ekipman Etkinliği = Gerçekleşen Makine Uygunluğu x Performans Etkinliği x Kaliteli Ürün Oranı x 100

Uygulama

Mutfak aspiratörleri imalatı yapan bir fabrikadaki, mamul imalat süreci 2 hafta süre ile izlenmiştir. İşletmede günde iki vardiya ve haftanın 5 günü çalışılmaktadır. Her vardiya 8 saatten oluşmaktadır. Her vardiya süresi içerisinde planlanmış 30 dakika duraklama süresi mevcuttur. İzleme süresi içerisinde;

Toplam üretilen ürün sayısı = 1680 adet

Yeniden işlenen ürün sayısı = 150 adet

Iskarta sayısı = 28 adet

Üretilen hatasız ürün sayısı = 1502 adettir.

Toplam Ekipman Etkinliğinin Ölçülmesi

Toplam ekipman etkinliği; makine uygunluğu, performans etkinliği ve kaliteli ürün oranı değerlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edildiğinden, belirtilen değerlerin hesaplanması gereklidir.

Ekipman Kullanım Değeri

Haftada 80 saatlik çalışma süresi için, iki hafta dikkate alınarak hesaplanan dakikia bazında çalışma süresi, 9600 dakikadır.

Toplam Çalışma Süresi = 9600 dakika

Planlanan duraklamalar= 600 dakika (Ayarlamalar, çay molası vb.) + 150 dakika (kalıp değişimi)

Toplam Planlanan duraklamalar = 750 dakika

Ekipman kullanım değeri = [(Toplam Çalışma Süresi – Toplam Planlanan duraklamalar)/ Toplam Çalışma Süresi] x 100= 92,1875.

Planlanan Makine Uygunluğu

İşleme süresi= Toplam Çalışma Süresi - Toplam Planlanan duraklamalar = 9600 - 750 = 8850 dakika

Set-up süresi = 150 dakika

Planlanan Makine Uygunluğu= [(İşleme süresi - Set-up süresi)/ İşleme süresi] x 100= 98,3051.

Gerçekleşen Makine Uygunluğu

Boşta kalma süresi tespit edilirken, her ürün için ortalama 3 dakikalık boşta kalma süresi dikkate alınmıştır.

Operasyon süresi değeri, işleme süresi olarak ifade edilen değere eşittir.

Gerçekleşen Makine Uygunluğu = [(İşleme süresi - Set-up süresi - Boşta kalmalar)/ İşleme süresi] x 100= 41,3560.

Makine ve ekipmandan kaynaklanan beklemler (kalıp değiştirme ve ayar dışındakiler) 840 dakikadır.

Performans Etkinliği

Operasyon süresi = 8850 dakika

Ortalama döngü süresi = 5,33 dk/birim

Üretilen hatasız ürün sayısı = 1502 adet

Performans Etkinliği = [(Ortalama döngü süresi x Üretilen hatasız ürün sayısı) / Operasyon süresi] x 100 = 90,4594.

Kaliteli Ürün Oranı

Kaliteli Ürün Oranı = [(Üretilen hatasız ürün sayısı - Hatalı Ürün sayısı)/ Üretilen hatasız ürün sayısı] x 100 = 88,1491.

Toplam Ekipman Etkinliği

Toplam Ekipman Etkinliği = Gerçekleşen Makine Uygunluğu x Performans Etkinliği x Kaliteli Ürün Oranı x 100

Toplam Ekipman Etkinliği = 0,4135 x 0,9045 x 0,8815 x 100

Toplam Ekipman Etkinliği = % 32,9690.

Tablo 1’de analizin gerçekleştirildiği firma ile, literatürde ideal değerler olarak kabul edilen (Chand ve Shirnavi, 2000; Köksal, 2007; Almeanazel, 2010) oranların karşılaştırılması sunulmuştur.

Tablo 1: Uygulamanın Yapıldığı Fabrikada Elde Edilen Değerler İle İdeal Değerlerin Karşılaştırılması

Fabrika Performansı	İdeal Performans Değerleri
Makine Uygunluğu = % 41	Makine Uygunluğu = % 90 ve üstü
Performans Etkinliği = % 90	Performans Etkinliği = % 95 ve üstü
Kaliteli Ürün Oranı = % 88	Kaliteli Ürün Oranı = % 99 ve üstü

Toplam Ekipman Etkinliği = % 33

Toplam Ekipman Etkinliği = % 85 ve üstü

Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan çalışmada, zorlu rekabet koşulları altında firmaların varlıklarının etkin olarak kullanımlarını sağlamak durumunda oldukları yaklaşımdan yola çıkılarak, TVB anlayışı kapsamında gerçekleştirilen ekipman etkinliği analizleri irdelenmiştir.

Uygulamanın gerçekleştirildiği firmada elde edilen toplam ekipman etkinliği değeri, %33 olarak hesaplanmıştır. Ortaya çıkan oran, ideal değer ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Toplam ekipman etkinliğinin hesaplanmasında kullanılan değerler analiz edildiğinde, hesaplama sonucu ortaya çıkan, en düşük orana sahip bileşenin % 41 değeriyle “makine uygunluğu” olduğu görülmektedir. TEE değerinin iyileştirilmesi için öncelikle, makine uygunluğunun düşük çıkmasının nedenleri araştırılmalıdır. Analizin gerçekleştirildiği iki haftalık süre içerisinde elde edilen bulgulardan en önemlisi, her bir ürün için ortalama 3 dakikalık boşa kalma süresinin oluştuğudur. Bu süre, makine uygunluğu değerini oldukça düşürmektedir. Öncelikle boşa kalma süresinin azaltılması gereklidir. Ayrıca set-up süresi olarak ifade edilen kalıp değişimi sürelerinin azaltılması da, ekipman etkinliğinin artırılmasını sağlayacaktır. Ayrıca, kaliteli ürün oranındaki yetersizliğin sebeplerinin; neden-sonuç diyagramı, pareto analizi vb. gibi araçlar kullanılarak araştırılması gereklidir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, uygulamanın süresi arttırılarak elde edilen değerlerin güvenilirliği sağlanabilir. Ayrıca yapılacak iyileştirme çalışmaları sonucunda, toplam ekipman etkinliği değeri tekrar ölçülerek, iyileşme düzeyi saptanabilir.

Kaynakça

- Almeanazel, O. T. R. (2010). Total productive maintenance review and overall equipment effectiveness measurement, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 4 (4), 517-522.
- Bevilacqua, M. ve Braglia, M. (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection, *Reliability Engineering and System Safety*, 70 (2), 71-83.
- Chand, G. ve Shirvani, B. (2000). Implementation of TPM in cellular manufacture, *Journal of Materials Processing Technology*, 103, 149-154.
- Gouvea da Costa, S. E. ve Pinheiro de Lima, E. (2002). Uses and misuses of the ‘Overall Equipment Effectiveness’ for production management, *Proceedings of the 2002 IEEE International Engineering Management Conference*, 816-820.
- Görener, A. ve Yenen, V. Z. (2007). İşletmelerde toplam verimli bakım çalışmaları kapsamında yapılan faaliyetler ve verimliliğe katkıları. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (11), 47-63.
- Heizer, J. ve Render, B. (2012), *Operations Management*, USA: Pearson Education Inc., Tenth Edition.
- Jeong, K. Y. ve Phillips, D. T. (2001). Operational efficiency and effectiveness measurement, *International Journal of Operations & Production Management*, 21 (11), 1404-1416.
- Köksal, M. (2007). *Bakım Planlaması*, İstanbul: Seçkin Yayıncılık.
- Monks, J. G. (1996). *İşlemler Yönetimi*, Schaum’s Outline Series, USA: McGraw-Hill, Second Edition, 2. Basımdan Çeviren: Sevinç Üreten, Nobel Yayın.
- Muchiri, P. ve Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion, *International Journal of Production Research*, 46 (13), 3517-3535.
- Muchiri, P. N., Pintelon, L., Martin, H. ve De Meyer, A. M. (2010). Empirical analysis of maintenance performance measurement in Belgian industries, *International Journal of Production Research*, 48 (20), 5905-5924.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM*. Cambridge:Productivity Press.
- Raja, P. N. ve Kannan S. M. (2008). Overall process effectiveness model for the tyre manufacturing industry, *Manufacturing And Industrial Engineering Journal*, 3, 70-73.
- Stevenson, W. J. (2009). *Operations Management*, USA: McGraw-Hill, Tenth Edition.
- Tekin, M. (2003). *Üretim Yönetimi - Cilt 2*, Konya: Günay Ofset.

- Temiz, İ., Atasoy, E. ve Sucu, A. (2010). Toplam ekipman etkinliği ve bir uygulama, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 12 (4), 49-60.
- Tsarouhas, P. G. (2012). Evaluation of overall equipment effectiveness in the beverage industry: a case study, *International Journal of Production Research iFirst*, Doi:10.1080/00207543.2011.653014, 1-9.
- Türkan, Y. S. ve Esnaf, Ş. (2008). Bakım yönetim çatısının oluşturulmasına yönelik bir uygulama. *VIII. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 613-624.
- Saraç, M. S. Tekin, O., Doğanay, E. ve Elevli, S. (2007). Toplam ekipman etkinliğinin kütahya ilinde bir porselen üretim işletmesinde uygulanması, *YA/EM 2007 Yöneyem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği XXVII. Ulusal Kongresinde Sunulmuş Bildiri*.
- Wang, L., Chu, J. ve Wu, J. (2007). Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process, *International Journal of Production Economics*, 107, 151-163.
- Yurdakul, M., Türkbaş, S. ve Altınova, S. (2008), Bir imalat tesisinde toplam verimli bakım uygulaması, *Mühendis ve Makina*, 49 (583), 11-16.