

BİR ÜRETİM HATTINDA TOPLAM EKİPMAN ETKİNLİĞİNİN ÖLÇÜLMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Ömer Emrah ACAR¹

0000-0002-9911-1311

Murat ÇAKIRKAYA²

0000-0001-8191-6958

ÖZ

Toplam verimli bakım çalışmaları yalın üretim felsefesinin önemli bir basamağıdır. Toplam verimli bakım, üretim faaliyetlerinde kullanılan ekipmanların verimliliğini arttırmak ve olası makine hatalarından kaynaklanacak bozuk veya hatalı parçaları önlemek amacıyla yapılan çalışmaların tümü olarak ifade edilebilir. Yalın üretim ve toplam verimli bakım uygulamalarının ölçülmesinde ise Toplam Ekipman Etkinliği kavramı karşımıza çıkmaktadır. Bu kavram işletmelerdeki makine ve ekipmanın ne derece etkin kullanıldığını ölçmemize yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada, işletmelerde verimlilik açısından Toplam Verimli Bakım'a değinilmiş, Toplam Ekipman Etkinliği'nin işletmeler açısından önemi açıklanmış ve bir makarna üretim tesisindeki üretim hattının Toplam Ekipman Etkinliği değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda makine duruş sürelerinin yeteri kadar düşük olmadığı tespit edilmiş ve bazı iyileştirmeler yapılmıştır. Son bölümde ise, Toplam Ekipman Etkinliği değerlerinin ideal değerlerle karşılaştırılması yapılmış ve üretim hattı duruş süreleri, iyileştirme öncesi ve sonrası değerlere göre değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toplam Verimli Bakım (TVB), Altı Büyük Kayıp, Toplam Ekipman Etkinliği (TEE).

AN APPLICATION ON THE MEASUREMENT AND IMPROVEMENT OF OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY IN A PRODUCTION LINE

ABSTRACT

Total productive maintenance work is an important step of lean production philosophy. Total productive maintenance can be defined as the whole of the works performed to increase the productivity of the equipments that are used in production activities and to prevent the defected parts that result from the probable machine error. We come across the term of Overall Equipment Efficiency for the measurement of the lean production and total productive maintenance implementations. This term helps us measure how efficiently the machine and equipment are used in the workplace (uygun gibi). In this study, Total productive Maintenance was mentioned in terms of productivity in businesses the importance of overall equipment efficiency was expressed for businesses and the values of overall equipment efficiency of the production line in a pasta production plant were calculated. As a result of this calculation, it was determined that the machine stoppage was not low enough and some improvements were made. In the last chapter, the values of Overall Equipment Efficiency were compared to ideal values and production line stoppages were evaluated in terms of values before and after the improvement.

Keywords: Total Productive Maintenance (TPM), Six Big Losses, Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Giriş

Günümüzün son derece dinamik ve hızla değişen çevre şartlarında, örgütler arasındaki küresel rekabet üretim firmalarının daha fazla talepte bulunmasına yol açmıştır (Miyake ve Enkawa, 1999'dan aktaran: Ahuja ve Khamba, 2008: 709). Üretimde meydana gelebilecek duraksamalar ve arızalar üreticiler için büyük kayıplara yol açmakta ve bu da rekabet noktasında olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Çoğu üretici firma sürekli makine arızaları nedeniyle yaşanan kayıp üretim zamanını azaltarak veya ortadan kaldırarak israfı aşağı çekmenin yollarını aramaktadır (Howell, 2012: 18). Bu noktada ekipman arızalarını en aza indirmek ve verimi artırmak ise Toplam Verimli Bakım (TVB-Total Productive Maintenance) çalışmaları ile mümkün olmaktadır.

Bir yalın üretim stratejisi olarak önleyici ve düzeltici bakımı optimize eden TVB'nin dayanak noktası ekipmanların verimli ve faydalı olmasıdır (Rizzo, 2008: 16). TVB'de bakım ve verimlilik arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır ve ekipmanlar iyi bakım sayesinde yüksek verimliliğe ulaşabilecektir (Digalwar ve Nayagam, 2014: 39). TVB'nin özü makine operatörlerinin önleyici bakım çalışmalarına katkı sağlaması, makine arızalarında onarım çalışmalarına destek vermesi ve süreç ve makine gelişiminde takım olarak beraber çalışmalarıdır. (Maggard ve Rhyne, 1992: 7). Bu sayede makinelerin düzgün çalışmamasından kaynaklanan ve makine hızı, üretim başlangıcında yaşanan kayıplar, makine arızaları ve süreçte yaşanan darboğazlar gibi sorunların ortadan kaldırılması sağlanmaktadır. (Singh v.d., 2013: 592).

Üretim ekipmanının genel etkinliğini geliştirme amacı taşıyan TVB uygulamalarının ne derece faydalı olduğunun belirlenebilmesi Toplam Ekipman Etkinliği (TEE-Overall Equipment Effectiveness) değerlerinin hesaplanmasıyla mümkün olmaktadır. TEE, üretim firmaları tarafından sıklıkla kullanılan ve üretim ekipmanının verimliliğini görüntüleyen ve kontrol eden bir ölçme aracıdır (Reyes v.d., 2010: 49). TEE'nin amacı altı büyük kayıp olarak adlandırılan ve makinelerde maksimum verimliliğinin sağlanmasını engelleyen faktörlerin ortadan kaldırılmasıdır. Bu kayıpları engellemek için yapılan ölçümde ise karşımıza TEE'nin üç boyutu çıkmaktadır. Bunlar; kullanılabilirlik, performans değeri ve kalite değeri şeklinde sıralanabilir (Ljungberg, 1998: 496).

Bu değerler yüzde olarak ifade edilmekte ve dünyada genel kabul görmüş değerlerle karşılaştırılarak ekipmanın ne derece etkin olduğu belirlenebilmektedir.

Kullanılabilirlik boyutunun içerisinde değerlendirilen ve TEE değerinin hesaplanmasında yer alan makine duruş süreleri etkinliğin sağlanmasında önemli bir yere sahiptir. Bu duruş süreleri

planlı duruşlar (mola, bakım v.b.) ve plansız duruşlar (montaj, arıza v.b.) olarak ikiye ayrılmaktadır. Duruş sürelerinin azaltılması üreticilerin karşı karşıya kaldıkları kayıpların azalmasını dolayısıyla etkinliğin artmasını sağlayacaktır.

TEE'nin bir diğer boyutu olan performans, küçük durmalar ve ekipmanın boşa çalışması nedeniyle ortaya çıkan hız kayıplarını dikkate almaktadır. Performans değeri, ekipmanın gerçek çalışma hızının ideal hızına oranını ifade etmektedir (Saleem v.d., 2017: 40).

TEE'nin kalite boyutu ise, üretilen ürünlerin kusurlu olup olmamasıyla ilgilenmektedir. Buna göre kalite değeri, kusurlu üretim miktarının toplam üretim hacmine oranını ifade etmektedir (Reyes, 2015: 509).

Bu çalışmanın literatür kısmında Toplam Verimli Bakım, Toplam Ekipman Etkinliği ve bu konular içerisinde önemli bir yere sahip olan altı büyük kayıp açıklanacak ve uygulama bölümünde ise bir üretim tesisindeki hatta ait TEE değeri hesaplanacaktır. Hesaplanan TEE değerinin duruş sürelerinin azaltılmasından sonra nasıl bir noktaya geldiği belirlenecek ve duruş sürelerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar anlatılacaktır.

Literatür incelendiğinde toplam ekipman etkinliği konusuyla ilgili birçok çalışmanın bulunduğu görülmektedir. Bu çalışmayı diğerlerinden farklılaştıran nokta incelemeler sonucunda elde edilen değerlerin iyileştirilebileceği düşünülerek bazı düzenlemeler yapılmasıdır. Bu yönüyle çalışmanın hem ilgili literatüre katkı sağlayacağı hem de işletmelere plansız duruş sürelerinde yapabilecekleri iyileştirmeler konusunda örnek olabileceği düşünülmektedir.

Toplam Verimli Bakım (TVB)

İşletmeler, işleyişlerini geliştirme ve rekabet üstünlüğü elde edebilmek için çeşitli stratejiler geliştirmektedirler. Bakım performanslarını takip etmek birçok işletme için kilit bir yönetim konusu olarak görünmektedir (Brah ve Chong, 2004: 2384). Bu noktada bakım performansını artırmak için en umut verici strateji olarak TVB karşımıza çıkmaktadır (Nakajima, 1988'den aktaran: Ahuja ve Khamba, 2008: 716).

İlk kez 1971 yılında Nakajima (1988)'tarafından kullanılan TVB terimi aşağıdaki beş unsuru içermektedir (aktaran: Blanchard, 1997: 72-73):

- TVB ekipman etkinliğini en üst düzeye çıkarmayı hedefler.
- TVB ekipmanın bütün yaşam süresi boyunca geçerli olacak önleyici bakım sistemi kurar.
- TVB, bakım operasyon ve mühendislik gibi farklı departmanlarca uygulanır.
- TVB aşağıdan yukarıya bütün çalışanları içerir.

- TVB küçük grup faaliyetlerini içeren motivasyon yönetimi ile önleyici bakımın teşvikine dayanmaktadır.

Yukarıda sıralanan beş unsuru içeren TVB tanımını Nakajima (1998) şu şekilde özetlemektedir: “Ekipman etkinliğini maksimize eden ve kusursuz bir verimli bakım sisteminin oluşturulmasına ilave olarak toplam katılımı da içeren verimli bakımdır” (aktaran: Bamber v.d., 1999: 163).

TVB terimini oluşturan üç kelime ise aşağıdaki gibi analiz edilmektedir (Mwanza ve Mbohwa, 2015: 462):

- *Toplam (Total)*: Organizasyondaki tüm çalışanların katılımını ifade etmektedir.
- *Verimli (Productive)*: Faaliyetlerde veya üretimde kayıpların olmamasını ifade etmektedir.
- *Bakım (Maintenance)*: Ekipmanların her zaman etkin kullanılacak şekilde iyi bir çalışma düzenine sahip olmasını ifade etmektedir.

TVB, tüm örgütsel fonksiyonlar arasında özellikle de üretim ve bakım arasında ürün kalitesi, operasyonel etkinlik, kapasite ve güvenliğin sürekli gelişimini sağlayan etkileşimli ilişkilerdir (Maggard ve Rhyne, 1992: 7). TVB, makinelerin duruş süreleri, üretim kayıpları ve malzeme atıklarını azaltan aynı zamanda çalışanların ve ekipmanların etkin ve verimli çalışmalarını geliştiren etkili bir araçtır (Jain, v.d., 2014: 295). TVB felsefesinin başarısında önemli olan unsurlar; takım çalışması, çalışanlara güvenmek ve onların motivasyonları, katılımcılık ve cesaret, pozitif liderlik ve destek, yetenek ve deneyimlerin geliştirilmesinin sağlanması ve sürekli gelişimdir (Heizer ve Render, 2006’dan aktaran: Bayraktar, 2007: 417). Bu unsurların etkili bir şekilde uygulanması bakım uygulamalarının başarısını sağlayacaktır.

TVB, Kaizen, Tam Zamanında Üretim ve Toplam Kalite Yönetimi gibi kavramlarla yakından ilişkilidir. Kaizen sürekli gelişim anlamında kullanılmakta ve TVB’de aynı şekilde ekipmanın geliştirilmesi felsefine dayanmaktadır. Benzer şekilde, Tam Zamanında Üretim de sıfır kayıp hedeflemekte ve bu da TVB’nin hataları en aza indirmesiyle örtüşmektedir (Brah ve Chong, 2004: 2385). Toplam Kalite yönetimi ise performansın sürekli yüksek olmasını amaçlamasının yanı sıra TVB’yi de kapsayan organizasyonel bir gelişim felsefesini ifade etmektedir. TVB de ekipman performansının en üst düzeye çıkmasını amaçlamakta ve bu yönleriyle birbirleriyle bağlantılı iki önemli kalite yönetim faktörü olarak karşımıza çıkmaktadır.

TVB’nin temel amaçları şu şekilde açıklanabilir (Prabhuswamy, v.d., 2008: 42):

- Kayıpları azaltmaya odaklanmış gelişme ve insan yönetimi sağlama,

- Ekipman kullanımı ve bakımını daha kolay gerçekleştirmeye yönelik politika, strateji ve yönetim anlayışı edinme,
- Ekipmanın etkinliğini sağlamak üzere makine operatörlerine yetki vererek otonom bakım sistemi oluşturma,
- Makine ve ekipmanların planlı bakımını gerçekleştirme,
- Tüm operatör ve bakım personelinin ekipmanla ilgili bilgi ve yeteneklerini eğitim ve alıştırmalarla geliştirme,
- Çevresel faktörlere karşı korunma ve güvenlik uygulamalarını oluşturma,
- Organizasyon kaynaklarının israfını azaltma.

TVB, ekipman etkinliğini üst düzeye çıkarmak için ekipmanların tüm ömrü boyunca kapsamlı bir bakım sistemi kurar (Park ve Han, 2001: 326). Bu sistem de yukarıda sıralanan amaçlar çerçevesinde üç temel esasa dayanmaktadır. Bunlar; ekipman etkinliğini maksimize etmek, makine operatörleri tarafından otonom bakım yapılması ve küçük grup çalışmalarıdır (Ljungberg, 1998: 495).

TVB kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar ekipman etkinliğini artırmak ve dolayısıyla üretim sürecinin maksimum verimlilikle gerçekleştirilmesini sağlamak için yapılmaktadır. Üreticiler bu noktada ekipmanların verimli olup olmadığı ve TVB faaliyetleri sonucunda nasıl bir gelişme kaydettiklerini belirleyebilmek için anahtar gösterge olan TEE değerine başvurmuşlardır.

Toplam Ekipman Etkinliği (TEE)

Her üretim firmasının amacı gelir getiren ürünler üretmektir. Bu da makinelerin gereksiz duruşlarını ortadan kaldırmaya yardım eden etkili bir bakım sistemiyle gerçekleştirilebilir. Makine ve ekipmanın etkili bir şekilde bakımının yapılmaması performansa ve dolayısıyla toplam getiriye olumsuz etkisi bulunan önemli bir faktördür (Fore ve Zuze, 2010: 402).

Yalın üretim felsefesinin temel amaçlarından birini oluşturan sıfır hatayı gerçekleştirebilmek için makine ve ekipmanın etkili bir şekilde çalışması ve arızalardan kaynaklanan kayıpların ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu da etkili bir bakım gerektirir. Bu noktada ekipmanların etkinliğinin ölçülmesi yalın üretim ve toplam verimli bakım çalışmalarında önemli bir yere sahiptir.

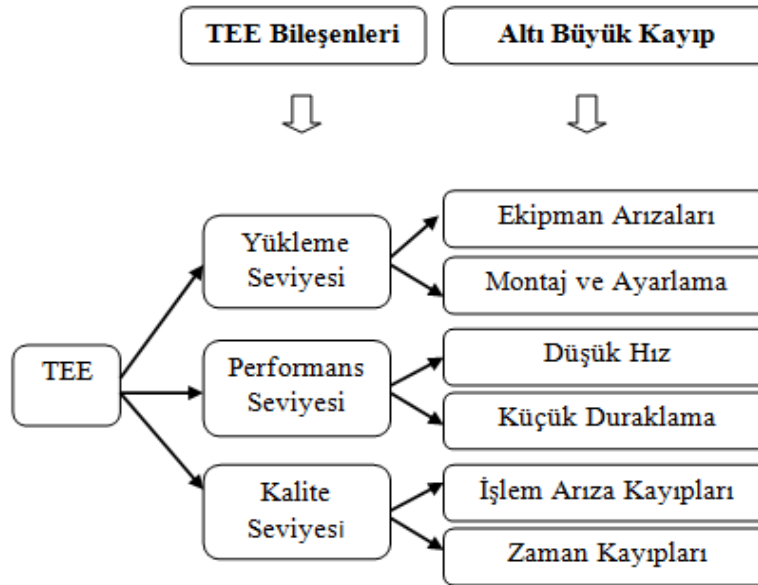
TEE, bir işletmede gerçekleştirilen üretim ile ideal olarak gerçekleştirilebilecek üretim arasındaki oran olarak tanımlanabilir (Braglia, 2009: 9). TEE, makine ve ekipmanın planlı duruşları, montaj süreleri, ekipman arızaları ve üretim ayarlama kayıpları gibi makinenin çalışması dışındaki zamanlardaki süreyi azaltmaya yarayan bir ölçme sistemidir (Junker, 2009:

40). TEE etkili bir üretim için gerekli olan; ekipmanın planlanan üretim zamanı boyunca çalışıyor olmasını, ekipmanın beklenen süre içerisinde üretimi gerçekleştiriyor olmasını ve spesifikasyonlara uygun bir şekilde üretimin gerçekleşmesini dikkate almaktadır (Becker, v.d., 2015: 419). Üretimin bu şartlarda gerçekleşmiyor olması ise makine ve ekipmanda beklenmedik sorunların olduğu anlamına gelmektedir. Üretime etki eden ve verimlilik kaybı yaşatan bu sorunlar altı büyük kayıp olarak adlandırılmakta ve TEE tarafından tespit edilerek üreticilere üretim etkinliğini artırma olanağı vermektedir.

Üretimi en üst düzeye çıkarmak için ekipman etkinliğini düşüren bu altı büyük kayıp şu şekilde sıralanabilir (Wang ve Lee, 2001: 493):

1. Ekipman arızalarından kaynaklanan kayıplar.
2. Montaj ve ayarlamalardan kaynaklanan kayıplar,
3. Düşük hız kayıpları,
4. Boşta çalışma ve küçük duruşların yarattığı kayıplar,
5. İşlem arızalarından kaynaklanan kayıplar,
6. Makinenin çalışmaya başlamasından istikrarlı duruma gelmesine kadar geçen zaman kayıpları,

Ekipman etkinliğini düşüren ve dolayısıyla üretim kaybına yol açan bu kayıpların belirlenmesi, TEE değerlerinin hesaplanması ile mümkün olmaktadır (Dal, v.d., 2000: 1496). Bu noktada altı büyük kaybın TEE bileşenleriyle olan ilişkisi Şekil-1’de görülmektedir.



Şekil 1: TEE ve Altı Büyük Kayıp İlişkisi

Kaynak: (Braglia v.d., 2009: 10) dan uyarlanmıştır.

Şekilde görüldüğü gibi ilk iki kayıp olan ekipman arızası ve montaj ve ayarlamalardan kaynaklanan kayıplar TEE'nin yükleme seviyesi ile ilgidir. Düşük hız kayıpları ve boşa çalışma kayıpları makine ve ekipmanın performans seviyesine etki etmektedir. İşlem arıza kayıpları ve makinenin çalıştıktan sonra beklenen hıza ulaşmasına kadar geçen sürenin kaybı ise kalite seviyesine etki etmektedir.

Nakajima (1988)'e göre TEE'nin ölçülmesinde üç önemli faktör bulunmaktadır. Bunlar; yükleme seviyesi, performans seviyesi ve kalite seviyesidir (aktaran: Reyes, 2015: 508).

Yükleme Seviyesi, işletmeler açısından önemli bir fonksiyondur. Bu hesaplamada kullanılan formül şu şekildedir (Fore ve Zuze, 2010: 407):

$$\text{Yükleme Seviyesi} = \frac{(\text{Çalışma Zamanı} - \text{Duruş Süreleri})}{(\text{Çalışma Zamanı})}$$

Formülde belirtilen duruş süreleri, planlı duruşlar (Dinlenme molaları, bakım süreleri, v.b.) ve plansız duruşların (montaj süresi, arıza, v.b.) toplamını oluşturmaktadır.

Performans Seviyesi, bir makinenin fiili operasyon hızı ile ideal hızının oranlanmasıyla bulunur ve aşağıdaki gibi formüle edilir (Reyes v.d, 2010: 50):

$$\text{Performans Seviyesi} = \frac{(\text{Fiili Operasyon Hızı})}{(\text{İdeal Hız})}$$

Kalite Seviyesi ise, hatalı ve yeniden işlenen ürünlerin üretim miktarından çıkarılması ve yine üretim miktarına bölünmesiyle hesaplanır. Formülü aşağıdaki gibidir (Temiz, v.d., 2010):

$$\text{Kalite Seviyesi} = \frac{(\text{Üretilen Miktar} - \text{Hatalı Miktar} - \text{Yeniden İşlenen})}{(\text{Üretilen Miktar})}$$

TEE değeri, yükleme seviyesi, performans seviyesi ve kalite seviyesi sonuçlarının çarpımı sonucunda hesaplanmaktadır.

TEE = Yükleme Seviyesi x Performans Seviyesi x Kalite Seviyesi

Bu çarpım sonucu yüzde olarak hesaplanmakta ve dünya genelinde kabul görmüş ortalama değerlerle karşılaştırılmaktadır.

Nakajima (1988)'in ortaya koyduğu ve literatürde TEE ölçümü için ideal olarak kabul edilen değerler aşağıdaki gibidir (Görener, 2012: 18):

- Yükleme seviyesi için %90,
- Performans seviyesi için %95,
- Kalite seviyesi için %99 ve
- TEE değeri için % 85'dir.

Literatür incelendiğinde yukarıda belirtilen değerler dışında bazı yazarların belirttiği farklı değerlerin de bulunduğu görülmektedir. Bu noktada Kotze (1993), %50'nin üzerindeki bir TEE değerinin daha gerçekçi olduğunu ve bu nedenle kabul edilebilir bir hedef olmasından dolayı daha faydalı olabileceğini belirtmiştir. Ericsson (1997), kabul edilebilir TEE değerinin %30 ile %80 arasında değişebileceğini ifade etmektedir. Ljungberg (1998) ise TEE değerinin %60 ile %75 arasında değişebileceğini belirtmiştir (Dal, v.d., 2000: 1491).

Sonuç olarak hangi değer kullanılırsa kullanılsın belirtilen değerlerle mevcut ekipmanın değerleri karşılaştırılmakta ve işletmelerin ekipman etkinliklerinin ne düzeyde olduğu hesaplanabilmektedir.

Toplam Ekipman Etkinliği Uygulaması

Bu çalışmada makarna üretimi yapan bir üretim hattının çalışma ve duruş süreleri incelenmiştir. Üretim hattı incelenen işletme günlük 210 ton üretim kapasitesine sahiptir. İşletmede 2 adet uzun ve 2 adet kısa kesim yapılabilen toplam 4 adet üretim hattı bulunmaktadır. Bu hatlarda 27 çeşit sade, 5 çeşit şipşak ve 20 çeşit sebzeli ve soslu makarna üretimi gerçekleştirilmektedir. İşletmenin yurtdışı üretimi çekme sistemine göre; yurtiçi üretimi ise itme sistemine göre gerçekleştirilmektedir. Bu noktada araştırma tam zamanlı çalışan bir üretim hattı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bir ay süreyle gözlemlenen hatta ait çalışma zamanı ve duruş süreleri Tablo 1'de açıklanmıştır.

Tablo 1: Bir Makarna Fabrikasındaki Üretim Hattına Ait Çalışma Zamanı ve Duruş Süreleri

<i>Çalışma Zamanı</i>	720 saat
<i>Planlı Duruş Süresi</i>	28 saat
<i>Plansız Duruş Süresi</i>	16 saat

Buna göre incelenen süre içerisinde üretim hattı 720 saat çalışmıştır. Bu sürede hatta meydana gelen planlı duruşların süresi 28 saatken, plansız duruşlar 16 saat olarak gerçekleşmiştir. Bu değerlere göre TEE hesaplamasında kullanılan boyutlardan biri olan yükleme seviyesi aşağıdaki şekildedir:

$$\text{Yükleme Seviyesi} = \frac{(720-28-16)}{720} = \% 93.8$$

Bu değer ideal değer olarak kabul edilen %90'ın üzerinde olsa da yapılan incelemeler sonucunda plansız duruşlar başlığı altında değerlendirilen arıza ve montaj sürelerinin daha da aşağıya çekilebileceği saptanmıştır.

Arızadan kaynaklı sürelerin azaltılması için kapsamlı bir bakım sistemi kuran ve ekipman etkinliğini en üst düzeye çıkarmayı amaçlayan Toplam Verimli Bakım uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalardan plansız duruşların azaltılmasına yönelik olanlar aşağıda sıralanmıştır:

- Toplam verimli bakımın en önemli unsurlarından olan otonom bakım kapsamında paketleme makinesi operatörüne hattı durdurma yetkisi verilmiştir. Bu sayede paketleme sırasında ambalaj sıkışmasından kaynaklanan duraklamalarda yetkili kişilerden onay alıp üretimin durması ve tekrar üretimin başlaması arasındaki geçen süre azaltılmıştır.
- 5S ile üretim bölümünün daha düzenli hale gelmesi sağlanmış ve bakım esnasında kullanılan ekipmanlar sınıflandırılıp düzenlenerek bakım sırasında geçen süreler kısaltılmıştır.

Bir diğer önemli kayıp olan montaj sürelerinin azaltılması için aşağıdaki uygulamalar gerçekleştirilmiştir:

- Kalıp değiştirmede kullanılan mevcut vinç sayısı ikiye çıkartılmış bu sayede tek vincin getirdiği zaman kaybı ortadan kaldırılmıştır. Bu noktada devam eden üretimden sonra yerleştirilmesi gereken kalıp mevcut üretim bitmeden vince takılmış ve montaja hazır hale getirilmiştir. Böylece montaj süresi kısaltılmıştır.

Bütün bu düzenlemeler sonucunda üretim hattı tekrar incelenmiş ve arıza ve montaj sürelerinin azaldığı belirlenmiştir. Buna göre paketleme makinesi operatörüne verilen hattı durdurma yetkisi sonucunda 4 saat 15 dakikalık bir zaman tasarrufu sağlandığı gözlemlenmiştir. 5S ile bakım için gerekli olan ekipmanların sınıflandırılması incelenen süre boyunca toplam 1 saat 15 dakikalık bir tasarruf sağlamıştır. 1 aylık inceleme süresi içerisinde üretim hattına ait kalıp bir kere değiştirilmiş ve bu esnada iki adet vincin kullanılması 30 dakikalık bir tasarruf sağlanmasına neden olmuştur. Bu düzenlemelerle beraber plansız duruş sürelerinde 6 saatlik bir iyileştirme sağlandığı belirlenmiştir. Bu noktada üretim hattının TEE değerinin hesaplanmasında kullanılan veriler Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2: Plansız Duruş Sürelerinin Azaltılması Sonucu Oluşan Üretim Hattına Ait TEE Verileri

<i>Çalışma Zamanı</i>	720 saat
<i>Planlı Duruş Süresi</i>	28 saat
<i>Plansız Duruş Süresi</i>	10 saat
<i>Fiili Operasyon Hızı</i>	5 saat/ton
<i>İdeal Hız</i>	5.1 saat/ton
<i>Üretim Miktarı</i>	4.165 ton
<i>Hatalı Üretim Miktarı</i>	48 ton
<i>Yeniden İşlenen Miktar</i>	36 ton

Yukarıdaki tabloda üretim hattında gerçekleştirilen düzenlemeler sonucunda elde edilen veriler yer almaktadır. Üretim hattı, incelenen süre boyunca 720 saat çalışmış ve bu süre içerisinde planlı duruş süresi 28 saat ve plansız duruş süresi 10 saat olarak gerçekleşmiştir. Yine tabloda belirtilen ideal hız, üretim hattının kapasitesini ifade etmektedir. Fiili operasyon hızı ise üretilen miktar ile teorik çevrim zamanının çarpımı sonucunda elde edilmiştir. Fiili operasyon hızı, hatta meydana gelen duruş sürelerinden etkilenmektedir. Bu noktada tabloda yer alan fiili operasyon hızı, plansız duruş sürelerinde yapılan iyileştirmeler dikkate alınarak elde edilen son değeri yansıtmaktadır.

Elde edilen veriler formüllere uygulandığında TEE değerini hesaplamada kullanılan faktörler aşağıdaki gibi sonuçlanmıştır.

$$\begin{aligned}
 \text{Yükleme Seviyesi} &= \frac{(720-28-10)}{720} = \% 94.7 \\
 \text{Performans Seviyesi} &= \frac{5}{5.1} = \% 98 \\
 \text{Kalite Seviyesi} &= \frac{(4.165-48-36)}{4.165} = \% 97.9
 \end{aligned}$$

Bu verilerden elde edilen değerlerle hesaplanan TEE değeri aşağıdaki gibidir:

$$\text{TEE değeri} = 0.947 \times 0.98 \times 0.979 = 0.908 \times 100 = \% 90.8$$

Aksi yönde açıklamalar bulunsa da Nakajima (1988)'in önerdiği yükleme seviyesi, performans seviyesi, kalite seviyesi ve TEE değerleri genel kabul görmüş değerler olarak literatürde yer

almaktadır (Dal, v.d., 2000: 1491). Bu değerler ile üretim hattından elde edilen değerlerin karşılaştırılması Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3: Elde Edilen TEE Değerleri İle İdeal Değerlerin Karşılaştırılması

	Üretim Hattı Değerleri	İdeal Değerler
<i>Yükleme Seviyesi</i>	% 94.7	% 90 ve üzeri
<i>Performans Seviyesi</i>	% 98	% 95 ve üzeri
<i>Kalite Seviyesi</i>	%97.9	% 99 ve üzeri
<i>TEE Değeri</i>	%90.8	% 85 ve üzeri

Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada koruyucu ve önleyici bakım faaliyetlerini içeren TVB çalışmalarının içeriği açıklanmış ve üreticiler açısından önemi vurgulanmıştır. Ekipmanın mevcut durumunun tespiti ve buna göre izlenecek yolun belirlenmesi ise TEE değerlerinin belirlenmesiyle mümkün olmaktadır. TEE değerinin belirlenmesinde birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar içerisinde değiştirilebilecek en uygun değer olarak plansız duruş süreleri belirlenmiştir. Plansız duruş süreleri olarak nitelendirilen arıza ve montaj sürelerinde yaşanan kayıplar çeşitli düzenlemelerle azaltılmıştır.

Bir makarna fabrikasında gerçekleştirilen çalışmada TEE değerinin hesaplanmasındaki faktörlerden yüklenme seviyesi %93.8 olarak hesaplanmıştır. Yapılan gözlem sonucunda yüklenme seviyesi değerine direk etki eden plansız duruşlarda iyileştirme yapılabileceği anlaşılmıştır. Firma içi değerlendirmeler sonucunda zaten başlangıç aşamasında olan toplam verimli bakım çalışmaları kapsamında plansız duruş süreleri başlığı altında değerlendirilen arıza ve montaj sürelerinin kısaltılması ile ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar makine operatörlerine yetki verilmesi, 5S ile ekipmanın verimliliğin artırılması, montaj için kullanılan vincin ikiye çıkarılması ile kalıp değiştirme hazırlıklarının planlanması şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Yapılan düzenlemelerin ardından üretim hattına ait TEE değerleri tekrar hesaplanmıştır. Bunun sonucunda yüklenme seviyesinin %93.8’lik önceki değeri plansız duruş süresinin 16 saatten 10 saate düşürülmesiyle %94.7 seviyesine ulaşmıştır. TEE’nin diğer boyutu olan performans

seviyesi %98, kalite seviyesi ise %97.9 olarak belirlenmiştir. Bu üç faktörün çarpımı sonucunda elde edilen TEE değeri ise %90.8 seviyesindedir.

Bu değerlerin ne anlam ifade ettiği ise literatürde ideal olarak kabul edilen değerlerle karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Yaptığımız çalışmada elde edilen yükleme seviyesi %93.8 iken ideal değer %90 ve üzeridir. Üretim hattının performans seviyesi %98 iken ideal değer %95 ve üzeri olarak kabul edilmektedir. Kalite seviyesi ise %97.9 iken ideal değer %99 ve üzeridir. Tüm bu değerler karşılaştırıldığında yükleme ve performans seviyelerinin ideal değer üzerinde olduğu, kalite seviyesinin ise ideal değer biraz altında olduğu anlaşılmaktadır. %90.8 olarak belirlenen TEE değeri ise ideal değer olan %85'in oldukça üzerindedir. Bu değer üretim hattının etkin bir şekilde kullanıldığını göstermektedir.

İdeal olarak kabul edilen değerlerle karşılaştırıldığında kalite seviyesinin artırılması gerektiği görülmektedir. Kalite seviyesinin belirlenmesinde etkili olan unsurlardan hatalı ürün üretiminin azaltılması hem kalite seviyesini hem de TEE değerini yükseltecek önemli bir faktördür. İşletmenin bu noktaya odaklanması üretim etkinliğini artırmasına yardımcı olacaktır.

Bütün bu bilgiler ışığında ekipman etkinliğini artırmak için üreticilerin bakım faaliyetlerine önem vermeleri gerektiği anlaşılmaktadır. Bu noktada optimum bakım oranının belirlenmesi de önemli bir husustur. Bakım faaliyetlerinin maliyeti ile faaliyetler sonucunda elde edilecek kazanç tespit edilmeli ve faaliyetlerin hangi oranda gerçekleşmesi gerektiğine karar verilmelidir.

Kaynakça

- Ahuja, I.P.S. ve Khamba J.S., (2008), "Total Productive Maintenance: Literature Review and Directions", *International Journal of Quality and Reliability Management*, 25(7), s. 709-756.
- Bamber, C.J., Sharp J.M. ve Hides M.T., (1999), "Factors Affecting Successful Implementation of Total Productive Maintenance", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 5(3), s. 162-181.
- Bayraktar, E., (Ed.) (2007), *Üretim ve Hizmet Süreçlerinin Yönetimi*, 1. Baskı, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Becker, J.M.J., Borst J. ve Van Der Veen A., (2015), "Improving the Overall Equipment Effectiveness in High-Mix-Low-Volume Manufacturing Environments", *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 64, s. 419-422.
- Blanchard, B.S., (1997), "An Enhanced Approach for Implementing Total Productive Maintenance in the Manufacturing Environment", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 3(2), s. 69-80.
- Braglia, M., Frosolini M. ve Zammori F., (2009), Francesco, "Overall Equipment Effectiveness of A Manufacturing Line (OEEML): An Integrated Approach To Assess Systems Performance", *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(1), s. 8-29.
- Brah, S. A. ve Chong W.K., (2004), "Relationship Between Total Productive Maintenance and Performance", *International Journal of Production Research*, 42(12), s. 2383-2401.
- Dal, B., Tugwell P. ve Greatbanks R., (2000), "Overall Equipment Effectiveness As A Measure of Operational Improvement - A Practical Analysis", *International Journal of Operations and Production Management*, 20(12), s. 1488-1502.
- Digalwar, Abhijeet K. ve Nayagam, P. V., (2014), "Implementation of Total Productive Maintenance in Manufacturing Industries: A Literature-Based Matedata Analysis", *The IUP Journal of Operations Management*, 8(1), s. 39-53.
- Ericsson, J. (1997), *Disruption Analysis-An Important Tool in Lean Production*, Department of Production and Materials Engineering, Lund University, Lund.
- Fore, S. ve Zuze L., (2010), "Improvement of Overall Equipment Effectiveness through Total Productive Maintenance", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 61, s. 402-410.
- Görener, A. (2012), "Toplam Verimli Bakım ve Ekipman Etkinliği: Bir İmalat İşletmesinde Uygulama", *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 2(1), s. 15-20.
- Howell, V., (2012), "Total Productive Maintenance: A Strategy for Your Lean Journey", *Ceramic Industry Journal*, 162(10), s. 18-23.
- Jain, A., Bhatti R.ve Singh H., (2014), "Total Productive Maintenance (TPM) Implementation Practice", *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(3), s. 293-323.
- Junker, B.H., (2009), "Application Of Overall Equipment Effectiveness To Biopharmaceutical Manufacturing", *BioPharm International*, 22(5), s. 40-50.
- Ljungberg, Ö., (1998), "Measurement Of Overall Equipment Effectiveness As A Basis For TPM Activities", *International Journal of Operations And Production Management*, 18(5), s. 495 – 507.
- Kotze, D. (1993), "Consistency, Accuracy Lead to Maximum OEE Benefits". *TPM Newsletter*, 4(2), s. 1-4.
- Maggard, B.N. ve Rhyne D.M., (1992), "Total Productive Maintenance: A Timely Integration of Production and Maintenance", *Production and Inventory Management Journal*, 33(4), s. 6-10.

- Mwanza, B.G. ve Mbohwa C., (2015), "Design of a Total Productive Maintenance Model for Effective Implementation: Case Study of a Chemical Manufacturing Company", *Procedia Manufacturing*, (4), s. 461-470.
- Park, K. S. ve Han S.W., (2001), "TPM—Total Productive Maintenance: Impact on Competitiveness and a Framework for Successful Implementation", *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 11(4), s. 321–338.
- Prabhuswamy, M. S., Ravikumar K.P. ve Nagesh P., (2008), "Total Productive Maintenance (TPM): An Operational Efficiency Tool", *The Icfai University Journal of Science and Technology*, 4(3), s. 41-55.
- Reyes, J.A.G., (2015), "From Measuring Overall Equipment Effectiveness (OEE) to Overall Resource Effectiveness (ORE)", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(4), s. 506-527.
- Reyes, J.A.G., Eldridge S., Barber K.D. ve Meier H.S., (2010), "Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Process Capability (PC) Measures A Relationship Analysis", *International Journal of Quality and Reliability Management*, 27(1), s. 48-62.
- Rizzo, K., (2008), "Total Productive Maintenance", *American Printer*, 125(9), s. 16-20.
- Saleem, F., Nisar, S., Khan, M. A., Khan, S. Z. ve Sheikh, M. A. (2017), "Overall Equipment Effectiveness of Tyre Curing Press: A Case Study", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 23(1), s. 39-56.
- Singh, R., Gohil A.M., Shah B.D. ve Desai S., "Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study", *Procedia Engineering*, (51), s. 592-599.
- Temiz İ., Atasoy E. ve Sucu A., (2012), "Toplam Ekipman Etkinliği ve Bir Uygulama", *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 12(4), s. 49-60.
- Wang, F. K. ve Lee W., (2001), "Learning Curve Analysis in Total Productive Maintenance", *The International Journal of Management Science*, Omega 29, s. 491–499.