

# İMALAT SÜREÇLERİNDE KULLANILAN PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Aydın Koçak\*

## Öz

Günümüzün geldiği noktada yoğun rekabet baskısı ile beraber küreselleşme, ürün hayat seyirlerinin kısılması, tüketici istek ve beklentilerinin hızlı değişimi, ürün çeşitliliğinin çok olduğu bir ortamda, maliyet ve verimlilik odaklı çalışmak isteyen işletmelerde imalatın izlenmesi ve performans ölçüm sistemlerinin geliştirilmesi zorun hale gelmiştir. Bu anlamda Toplan Üretken Bakım(TÜB) yaklaşımının en temel uygulamalarından biri olan Toplam Ekipman Etkinliği (TEE) imalat işletmelerinde en yaygın olarak kullanılan performans ölçütlerinden birisidir. Fakat TEE ölçütü, imalatı birçok açıdan değerlendirme gerekliliği ve ekipman seviyesinde kullanılmasından dolayı yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle imalat süreçlerinde hem bütünsel hem de bireysel açıdan kullanılacak birçok ölçüt mevcuttur. Hem literatürde hem de endüstrilerde uzun yıllardır bu ölçütler üzerine farklı açılardan yaklaşan çalışmalar ve standartlar yapılmıştır. Buna bağlı olarak yapılan bu çalışmanın temel amacı, imalat süreçlerinde kullanılacak performans ölçütlerini literatür tabanlı ve bütünsel olarak ortaya koymaktır.

**Anahtar Kelimeler: Performans Ölçümü, Toplam Ekipman Etkinliği, Performans Ölçütleri**

---

\* Yrd. Doç. Dr., Ege Üniversitesi Öğretim Üyesi, aydin.kocak@ege.edu.tr

## **A LITERATURE REVIEW ON THE PERFORMANCE METRICS USED IN MANUFACTURING PROCESSES**

### **Abstract**

Today, in an environment in which there is a wide range of products through the pressure of intensive competition and globalization, a reduction in the life courses of products, a rapid change in the requests and expectations of consumers, it has become compulsory for enterprises that would like to work in a cost and efficiency-oriented manner to monitor manufacturing and to develop performance benchmarking systems. In this sense, the Total Equipment Effectiveness (TEE), which is one of the main applications of the Total Productive Maintenance (TPM) approach, is one of the most commonly used performance metric in manufacturing enterprises. However, TEE fails to be sufficient due to the necessity of evaluating manufacturing in terms of many aspects and as it is used at the level of equipment. Therefore, there are many metrics that can be used in manufacturing processes in terms of both holistic and individual aspects. There have been studies and standards with different approaches on these metrics both in the literature and in industries for long years. The main aim of this study that has been conducted based on this approach is to put forth the performance metrics that can be used in manufacturing processes based on the literature and in a holistic way.

**Keywords: Measuring Performance, Overall Equipment Effectiveness, Performance Metrics.**

### **GİRİŞ**

Küresel rekabetin ön planda olduğu günümüz koşullarında imalat işletmelerinde kaynakların daha iyi yönetilerek maliyet avantajı sağlamaya yönelik çeşitli yöntemlerin arayışını zorunlu kılmıştır. 1980'li yıllarda Nakajima tarafından ortaya konan toplam üretken bakım (total productive maintenance), bu arayışları tetikleyen bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmıştır. Nakajima tarafından TÜB, sürekli olarak kalite iyileştirme odaklı ve çalışanları imalat süreçlerini iyileştirmek için teşvik eden ve sürece dahil eden bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır.

İmalat işletmelerinde TÜB'ün etkin olarak uygulanması, tüm faaliyetlerin performansının geliştirilmesi için stratejik bir yaklaşımdır (Attri ve diğerleri, 2013:365).

TÜB, sıfır fire ve sıfır duruş bakış açısıyla makine etkinliğini ve güvenilirliğini artırmak amacıyla imalat işlemlerinin iyileştirilme sürecidir. TÜB, imalat kaynaklarının etkin yönetimi sağlayacak ve ekipman güvenilirliğini optimize edecek şekilde tasarlanan imalat odaklı bir iyileştirme metodolojisi olarak da tanımlanabilir(Ahuja ve Kumar, 2009:243) . TÜB'in temel amacı optimal ekipman koşullarını sağlayarak ekipman çıktısını maksimize etmek ve ekipman etkinliğini sağlamaktır (Chand ve Shirvani, 2000:150). Bu anlamda TÜB, tüm imalat süreçlerinde imalat ve ekipman kayıplarını tanımlayarak ve minimize ederek imalat optimizasyonunu sağlayan ekipman merkezli bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle TÜB sistemi içerisinde ekipman performansının izlenmesi ve değerlendirilmesi için temel olarak toplam ekipman etkinliği ölçütü kullanılmaktadır.

Fakat TEE, ekipman seviyesinde bir performans ölçütü olduğu için bir imalat sürecini bütünsel olarak değerlendirilmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle imalat süreçlerini farklı açılardan değerlendiren TEE tabanlı olarak toplam ekipman etkinliği performansı, net ekipman etkinliği, üretim ekipman etkinliği, toplam ağırlıklandırılmış ekipman etkinliği, toplam çıktı etkinliği, toplam tesis etkinliği ve toplam hat etkinliği gibi farklı performans ölçütleri bulunmaktadır.

Literatürde günümüze kadar imalat süreçlerinde uygulanabilecek performans ölçütleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır. TEE, hiç şüphesiz ki 1980'lerde Nakajima'nın ortaya koymasından sonra en çok kabul gören ölçütlerden biridir. Bu çalışmanın temel amacı, 1980'lerden günümüze kadarki süreçte imalat süreçlerinde kullanılabilecek performans ölçütleri üzerine literatür çalışması yapmaktır. Ayrıca bu çalışmada endüstrilerde performans ölçütleri üzerine geliştirilen standartlara da yer verilecektir.

## I) TOPLAM EKİPMAN ETKİNLİĞİ

Toplam ekipman etkinliği, imalat süreçlerinde ekipman verimliliğini ölçmek için TÜB yaklaşımının sayısal bir ölçütü olarak ortaya çıkmıştır (Huang ve diğerleri, 2003:514). TÜB'ün temel amacı, ekipman duruşlarını azaltarak ya da minimize ederek ekipman kullanımını artırmaktır. Bu amaca ulaşmak için de kullanılan temel ölçüt ise kaynak kullanımı, ekipman yönetimi ve bakım faaliyetlerinin bir birleşimi olan TEE kavramıdır (Ng ve diğerleri, 2013:1184 ve Chan ve diğerleri, 2005:75). Ekipman kullanımının doğru ölçülmesi özellikle sermaye yoğun endüstrilerde çok önemlidir. Çünkü bu endüstrilerdeki yöneticiler ekipmanları mümkün olduğunca en etkin kullanarak yatırımların erken dönüşünü sağlamak istemektedirler (Jeong ve Phillips, 2001:1404). Bu anlamda TEE, ekipman güvenilirliğini ve performansını sağlamak amacıyla ekipmana bağlı kayıpları azaltmak için kullanılmaktadır. Bu nedenle ekipmandan kaynaklanan temel kayıpların ve kötü performansla sonuçlanan nedenlerinin belirlenmesi gereklidir. Bu kayıplar, iyileştirme önceliklerinin belirlenmesi ve neden sonuç analizi için önemli bir temel sağlayacaktır. Nakajima'nın tanımladığı ekipmandan kaynaklı altı büyük kayıp gruplar haline aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Muchiri ve Pintelon,2008:3518-3519):

### a) Duruş Kayıpları

- Ekipman hataları ya da arızalarından kaynaklanan zaman ve miktar kayıpları olarak tanımlanabilen **arıza kayıpları**
- Tezgâhlarda bir üründen diğer ürüne geçiş sırasında yaşanan **kurulum ve ayar kayıpları**

### b) Hız Kayıpları

- Bir makinenin boş kalması ya da geçici ve ufak arızalar nedeniyle üretimin aksaması nedeniyle **küçük duruş kayıpları**
- Ekipmanın tasarlandığı hızı ile üretimin gerçekleştiği hız arasında oluşan farklılıklardan kaynaklanan **hız düşüşleri kayıpları**

### c) Kalite Kayıpları

- Üretim ekipmanlarındaki arızalar sonucu kalitede oluşan **kalite ve yeniden işleme kayıpları**
- Bir makinenin çalışmaya başlamasından ısınarak stabil hale gelmesine kadarki sürede oluşan kalite kaynaklı **randıman kayıpları**

TEE, imalat süreçleri içerisinde farklı seviyelerde uygulanabilir. İlk olarak bütünsel olarak bir fabrika performansının ölçümünde kıyaslama yapmak

için kullanılabilir. Bu anlamada farklı dönemlerdeki TEE değerleri karşılaştırılarak süreçlerdeki gelişmeler izlenebilir. İkinci olarak TEE, sistem içerisindeki imalat hatlarının performansı için de kullanılabilir. Son olarak da TEE, TÜB'nin odaklandığı gibi tek olarak makine performansının izlenmesinde önemli bir ölçüttür (Dal ve diğerleri, 2000:1490). TEE'nin fabrika ve hat performansının ölçümünde nasıl kullanıldığı diğer bölümlerde açıklanacaktır.

TEE; imalattaki duruşları izleme ve kontrol fonksiyonundan öte süreç iyileştirmeyi de göz önüne alarak üretim hatlarının ya da makinelerin bireysel olarak alt optimizasyonunu önler, imalat hedeflerini belirlemek için sistematik bir metot sağlar ve sürecin kullanılabilirlik, performans ve kalite dengesini sağlamak için pratik bir yönetim aracıdır.(Bamber ve diğerleri, 2003:226).

TEE, sadece TÜB'de değil aynı zamanda yalın üretim, altı sigma ve dünya klasmanında üretim gibi uygulamalarda da iyileştirme alanlarının belirlenmesinde ve kayıpların daha görünür hale gelmesinde bel kemiği görevini görmektedir (Iannone ve Nenni, 2013:32)

TEE ölçütü, imalat süreçlerindeki katma değer yaratmayan faaliyetleri azaltmak amacıyla kalite, verimlilik ve makine kullanımına odaklanarak işletmenin performansını geliştirmek için kullanılmaktadır(Bamber ve diğerleri, 2003:224).

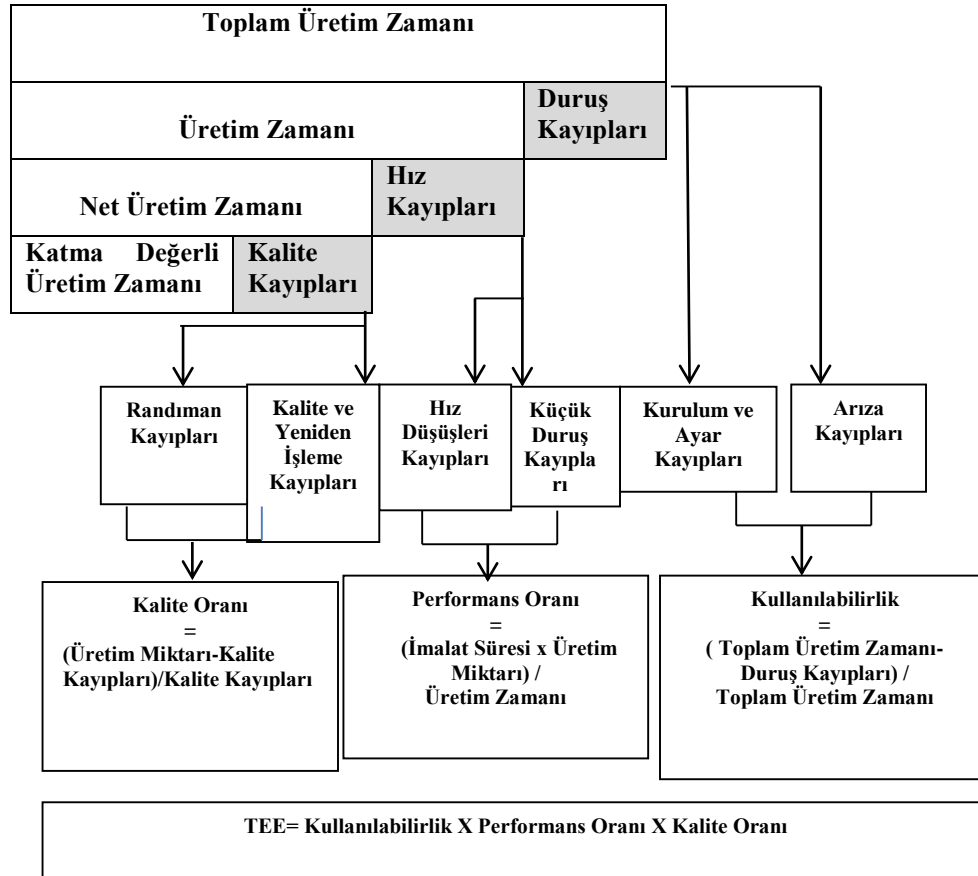
TEE, işletmedeki gizli kapasiteyi ortaya çıkartarak ekipmanın hem etkililiğini hem de etkinliğini ölçmektedir (Pophaley, 2010:36) Bu anlamda TEE ölçütü içerisinde performans ölçümü aşağıdaki üç boyutla ele alınmaktadır (Ljungberg, 1998:496)

- Kullanılabilirlik
- Performans oranı
- Kalite oranı

TEE, bu üç boyutun çarpımından ortaya çıkmaktadır. Şekil 1'de her bir boyutun hangi kayıpları temsil ettiği ve hangi süreler ile hesaplandığı gösterilmektedir.

Her ne kadar amaç aynı olsa da TEE ölçütünün hesabı farklı süreler kullanılarak hesaplanabilir. Kullanılabilirlik ölçütünün hesabının payında "üretim zamanı" da kullanılabilir. Aynı şekilde performans oranının hesaplamasının pay kısmında, üretim zamanından hız kayıpları çıkarılarak bulunan net üretim zamanı kullanılabilir. Kalite oranı ise katma değerli üretim

zamanının net üretim zamanına bölünmesi ile hesaplanabilir (Singh ve diğerleri, 2013:580).



**Şekil 1: Üretim Kayıplarına Göre TEE Hesaplanması (Ahuja ve Khampa, 2008:725)**

Birçok semikondaktör işletmeler, TEE'yi baz alarak ekipman performansını ölçmek için SEMI E10 ve E79 standartlarını izlemektedirler (Wang ve Pan, 2011:5764). SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International), mikro ve nano elektronik endüstrilere tedarik zinciri içerisinde imalat yapan işletmelerin yer aldığı küresel bir endüstri kuruluşudur. Bu kuruluşa üye olan firmalar ürünlerini daha düşük maliyetle, daha hızlı, daha güçlü yapabilmek için yenilik ve teknoloji odaklı olarak çalışırlar. Bu anlamda SEMI üyelerine yeni teknolojiler ve fırsatlar konusunda sürekli destek

sağlamaktadır(www.semi.org,2015). Bu anlamda SEMI, imalat süreçlerinde performans ölçümü için Şekil 1’de gösterilen Nakajima’nın TEE modelini baz alarak standartlar geliştirmiştir. Bu standartlar SEMI E10(Specification for Definition and Measurement of Equipment Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) and Utilization) ve SEMI E76(Specification for Definition and Measurement of Equipment Productivity) olarak karşımıza çıkmaktadır. SEMI E10, TEE için temel oluşturacak ekipman durumlarını verirken SEMI E76, verimliliği etkileyen kayıp ölçütleri üzerine ilgilidir.

SEMI E76 standartlarında TEE içerisinde kullanılabilirlik kaybı, işlem kaybı, miktar kaybı ve kalite kaybı olmak üzere dört temel kayıp ölçütü belirlenmiştir (<http://www.semi.org/node/50191>,2015).

Ayrıca SEMI E10-2001 standartlarına göre ekipman ile ilgili 6 temel durum bulunmaktadır (Pomorski, 2004:78, Jeong and Phillips, 2001:1407 ve Ron ve Rooda, 2005:191)

**Planlama Dışı Durum:** Hafta sonları, tatiller, izinler, molalar gibi ekipmanın çalışmadığı planlanma dışı durumu ifade etmektedir.

**Planlanmış Duruş:** Önleyici bakım, üretim testleri, ayar değişimleri(set-up) için ayrılmış planlı bir durumdur.

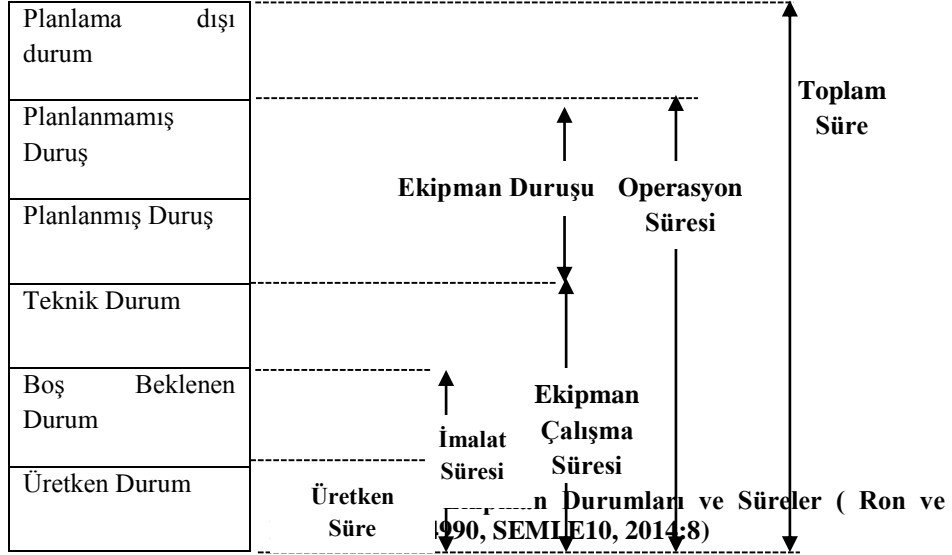
**Planlanmamış Duruş:** Tamir gibi makinenin performansını yerine getiremeyerek çalışmadığı durumu ifade etmektedir.

**Teknik (Engineering) Durum:** Makinenin çalışması için herhangi bir engeli olmamasına rağmen süreç, ekipman ya da yazılımdan kaynaklı teknik duruşlardır.

**Üretken(Üretim) Durum:** Makineden beklenen fonksiyonların yerine getirildiği başla bir değişle kesintisiz üretim yapıldığı durumdur.

**Boş Beklenen Durum:** Makinenin çalışması için herhangi bir engeli olmamasına rağmen gerçekleşen duruşlardır. Operatörün, malzemenin ya da araç gerecin olmamasından kaynaklı duruşlar örnek verilebilir.

Şekil 2’de bu durumların TEE hesaplanmasındaki etkilediği süreler görülmektedir.



SEMI E10, TEE hesaplarında kullanılan ekipman durumlarını vermesi açısından SEMI E79 ile doğrudan ilişkilidir. Şekil 3'de bu ilişki ekipman durumları, kayıp ölçütleri ve TEE hesaplanmasında kullanımı gösterilmektedir. Bu iki standart arasındaki ilişki, iyileştirme çalışmalarında ekipman ile ilgili durumlar hakkında veri toplayarak iyileştirme alanlarının belirlenmesinde destek sağlamaktadır.

Buna göre TEE şu şekilde hesaplanmaktadır (Wang ve Pan, 2011:5765)

TEE = Kullanılabilirlik Etkinliği (availability efficiency) x (Operasyonel Etkinlik (operational efficiency) x Miktar Etkinliği (rate efficiency)) x Kalite Etkinliği (quality efficiency)

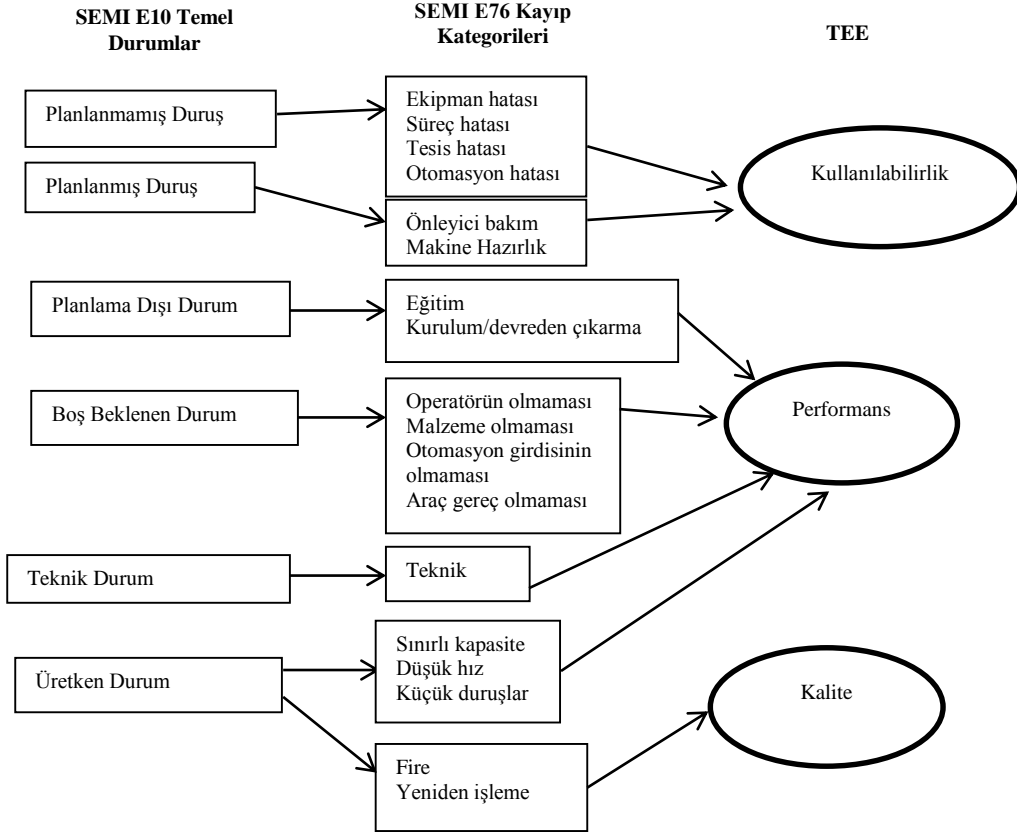
**KE** = Ekipman Çalışma Süresi / Toplam Süre

**OE** = Üretken Süre / Ekipman Çalışma Süresi

**ME** = Gerçekleşen Çıktının Üretim Süresi / Üretken Süre

**KE** = Sağlam Çıktının Üretim Süresi / Gerçekleşen Çıktının Üretim Süresi



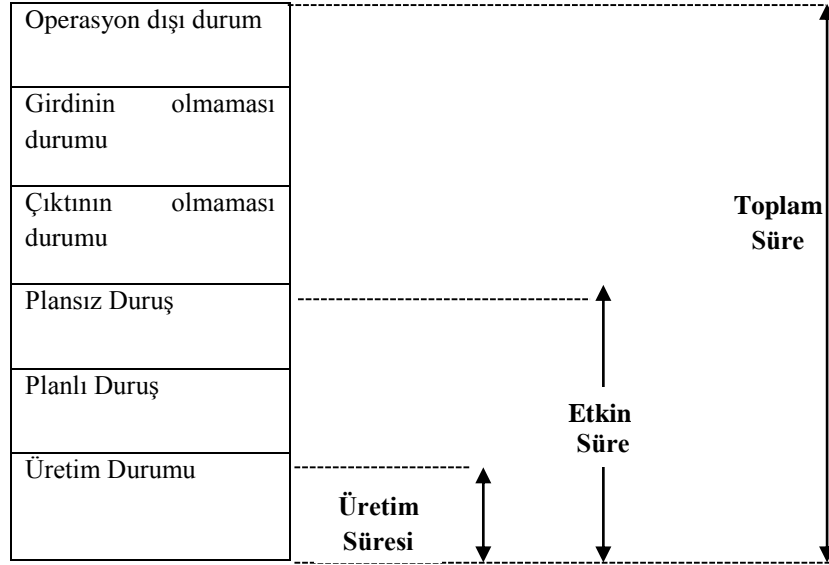


**Şekil 3: SEMI E10 ve SEMI E79 Standartlarının İlişkisi** ([www.semi.org/en/Standards/CTR\\_031244](http://www.semi.org/en/Standards/CTR_031244), 2015)

Görüldüğü gibi Nakajima'nın TEE metodolojisinden farklı olarak SEMI metodolojisinde performans ölçütü, operasyonel ve miktar etkinliği olarak ikiye ayrılmaktadır. Operasyonel etkinlik ölçütünde boş beklenen durumlar ele alındığından dolayı ekipmanın çevresel nedenlerden dolayı duruşu da izlenebilmektedir.

Ron ve Rooda (2005), ekipmanın bir imalat sistemi içerisinde yer aldığını ve bu nedenle ekipmanın performansının çevresel etkileri de göz önüne alarak izlenmesinin gerekliliğini belirterek Ekipman Etkinliği (Equipment Effectiveness- E) modelini önermişlerdir. Ekipmanın performansını operatörler, malzemenin bulunabilirliği, araç gereçlerin varlığı gibi çevresel faktörler de etkilemektedir. Örneğin malzeme ya da makine operatörünün olmaması makinenin herhangi bir sıkıntısı olmamasına rağmen boş beklemesi ile

sonuçlanacaktır. Fakat burada makinenin herhangi bir performans düşüklüğü yoktur. Bu nedenle modele girdinin ve çıktının olmaması durumları eklenmiştir. Bu süreler, ekipmanın çalışma süresi belirlenirken toplam süreden çıkarılmaktadır. Şekil 4’de ekipman etkinliğinin hesaplanmasındaki zaman durumları gösterilmektedir.



**Şekil 4: Ekipman Etkinliği Modelinde Durumlar (Ron ve Rooda, 2005: 192).**

Ekipman etkinliği, getiri(yield) ölçütü, oran (rate) ölçütü ve kullanılabilirlik (availability) ölçütü olmak üzere üç alt ölçütün çarpımından oluşmaktadır (Ron ve Rooda, 2006: 4994). Bu ölçütler şu şekilde hesaplanmaktadır.

**Getiri** = Sağlam üretilen çıktı / Tüm çıktı

**Oran** = Ekipmanın gerçekleşen hızı / Ekipmanın maksimum hızı

**Kullanılabilirlik** = Üretim süresi / Etkin süre

TEE ile E'nin arasındaki temel fark, bütünsel ya da tek olarak ekipman yaklaşımıdır. TEE, ekipmanın performansını diğer ekipmanların etkisi ile bütünsel olarak ölçerken E, ekipmanı tek başına olarak değerlendirmektedir. Bir diğer fark ise süre ölçütleri açısından karşımıza çıkmaktadır. E modelinde ekipman dışındaki duruş süreleri hesap dışında tutulmaktadır.

Pomorski (1997), TEE'yi üretimTEE, talepTEE ve basitTEE olarak üçe ayırmıştır. Üretim etkinliği, ekipmanın üretim için mümkün olduğu durumdaki etkinliğidir ve ekipmanın çalışma süresinden çalışılmayan zaman çıkarılarak hesaplanır.

ÜretimTEE = Kullanılabilirlik Etkinliği (availability efficiency) x (Üretim Operasyonel Etkinliği (production operational efficiency) x Miktar Etkinliği (rate efficiency)) x Kalite Etkinliği (quality efficiency)

**KE** = Ekipman Çalışma Süresi / Toplam Süre

**ÜOE** = Üretken Süre / (Ekipman Çalışma Süresi- Çalışılmayan süre)

**ME**= Gerçekleşen Çıktı Miktarı/ Teorik Çıktı Miktarı

**KE**= Gerçekleşen Çıktı Miktarı– (Fire Miktarı +Yeniden İşleme) /Gerçekleşen Çıktı Miktarı

TalepTEE, üretim programı ile ilişkili bir ölçüttür. TalepTEE'nin hesaplanması için ekipman için planlanmış boş zamanların belirlenmesi gerekmektedir.

TalepTEE = Kullanılabilirlik Etkinliği (availability efficiency) x (Talebin Operasyonel Etkinliği (demand operational efficiency) x Miktar Etkinliği (rate efficiency)) x Kalite Etkinliği (quality efficiency)

**KE** = Ekipman Çalışma Süresi / Toplam Süre

**TOE** = Üretken Süre / (Ekipman Çalışma Süresi- Planlı Boş Duruşlar)

**ME**= Gerçekleşen Çıktı Miktarı/ Teorik Çıktı Miktarı

**KE**= Gerçekleşen Çıktı Miktarı– (Fire Miktarı +Yeniden İşleme) /Gerçekleşen Çıktı Miktarı

BasitTEE, gerçekleşen ve teorik çıktı miktarları alınarak hesaplanmaktadır.

**BasitTEE** = Gerçekleşen Çıktı Miktarı / Teorik Çıktı Miktarı

Zammori ve diğerleri (2011), imalat süreçlerinde değişkenliğin dönemden döneme farklı olduğunu ve bu değişkenliğin ekipman ve süreçleri etkilediğini belirterek stokastik TEE yöntemini önermişlerdir. Standart TEE hesaplamalarının dönemsel değişkenliklerin ortalama değerler üzerinden alındığını belirterek imalat süreçlerindeki israfların asıl bu değişkenliklerden kaynaklandığını vurgulamışlardır. Bu nedenle TEE hesaplamalarında merkezi limit teorisi tabanlı ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak değişkenlik analizinin yapıldığı bir stokastik TEE modeli önermişlerdir.

## II) TOPLAM EKİPMAN ETKİNLİĞİ PERFORMANSI ( TOTAL EQUIPMENT EFFECTIVENESS PERFORMANCE –TEEP)

Toplam Ekipman Etkinliği Performansı(TEEP), tüm çalışma zamanını baz alarak ekipmanın toplam performansını gösteren bir performans ölçütüdür(Iannone ve Nenni, 2013:38). TEEP, TEE ve planlı duruşları içine alan ekipman kullanımının bir kombinasyonudur ve ekipmanın gerçek performansını göstermektedir (Chand ve Shirvani, 2000:152). TEEP'nin TEE'den temel farkı hesaplama içerisine çalışma takvimindeki tüm çalışma süresini alması (günde 24 saat yılda 365 gün gibi çünkü ekipman bu sürelerde teorik olarak çalışabilir) ve ekipmanın kullanımının etkisini göstermesidir (Grabill, 2012:42). Şekil 5'de görüldüğü gibi ekipmanın toplam üretim süresini tüm çalışma süresine bölerek ekipmanın kullanım oranı bulunmaktadır. Bu iki süre arasındaki fark planlı duruşlardır. Bu duruşlar içerisinde imalat için periyodik olarak yapılan temizleme, düzenleme ve toplama gibi faaliyetler, çalışılmayan günlerdeki boş duruşlar ya da talep eksikliğinden kaynaklanan yavaşlamalar bulunmaktadır. Fakat ayar süreleri bu duruş içerisinde yer almamaktadır. Şekil 1 ile şekil 5 karşılaştırılarak iki ölçüt arasındaki fark net bir şekilde anlaşılabilir.

TEEP şu şekilde hesaplanabilir (Chand ve Shirvani, 2000:153)

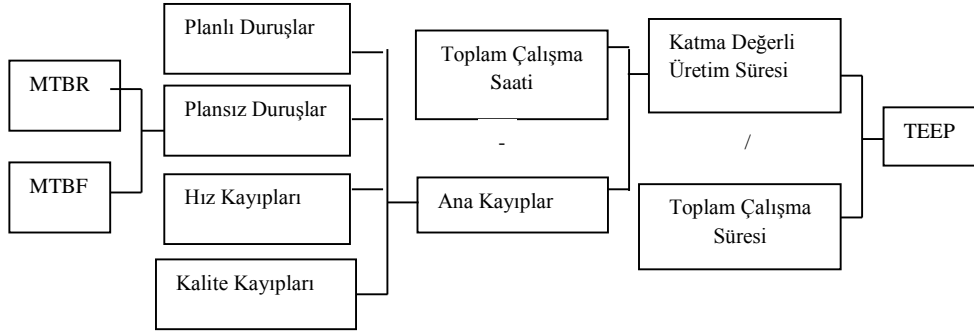
**TEEP= Kullanım Oranı x Kullanılabilirlik Oranı x Performans Oranı x Kalite Oranı**

<b>Toplam Çalışma Süresi</b>			
<b>Toplam Üretim Süresi</b>			<b>Planlı Duruşlar</b>
<b>Üretim Süresi</b>		<b>Duruş Kayıpları</b>	
<b>Net Üretim Süresi</b>		<b>Hız Kayıpları</b>	
<b>Katma Değerli Üretim Süresi</b>	<b>Kalite Kayıpları</b>		

Şekil 5: TEEP Hesaplama Süreleri (Muchiri ve Pintelon,2008:3522)

Planlı olmayan duruşlar, ekipmanın belirli bir zaman dilimi içinde kaç defa arıza yaşadığı ile bu arızaları düzeltmek için ortalama ne kadarlık bir tamir süresinin gerektiğinin bir fonksiyonudur. Başka bir deyişle planlı olmayan duruş, arızalar arasında geçen ortalama süre ( Mean Time Between Failures-MTBF) ve ortalama tamir süresidir (Mean Time To Repair-MTTR). TEEP ile planlanan

kayıplar ile planlanmayan kayıplar ölçülebilir. Bu iki kaybın analizi, Şekil 6'da görüldüğü gibi MTBF'yi artırarak ya da MTTR'yi azaltarak ekipmanın kullanılabilirliğini iyileştirmek için önemli bir çalışmadır (Muchiri ve Pintelon,2008:3521). Eğer MTBR yüksek ise ekipmanın kullanılabilirliğinin de yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle MTTR'yi azaltarak MTBR artırılabilir. Bunun için veri analizi ve kök neden analizi yapılmalıdır (Relkar ve Nandurkar, 2012:2974).



Şekil 6: TEEP ile MTBF ve MTBR İlişkisi (Muchiri ve Pintelon,2008:3522)

### III) NET EKİPMAN ETKİNLİĞİ (NET EQUIPMENT EFFECTIVENESS)

TEE; ayar, düzenlemeler, kurulum süreleri gibi süreleri ele aldığı için bir ekipmanın etkinliğinin ölçümünde tam bir sonuç vermemektedir. Bu nedenle daha doğru bir analiz yapmak için Net Ekipman Etkinliği (NEE) ölçütü, ekipmanın çalışırken etkinliğini ve gerçek kalitesini belirlemek amacıyla kullanılabilir (Chand ve Shirvani, 2000:152). Şekil1'deki süreler göz önüne alınarak NEE aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Afezy,2013:71)

**NEE= Ekipman Çalışma Oranı x Performans Oranı x Kalite Oranı**

**Ekipman Çalışma Oranı** = Üretim Zamanı - Duruşlar (Hazırlık Süreleri Hariç)/  
Üretim Zamanı

Her ne kadar TEE, TEEP ve NEE ölçütlerinin temel amacı imalattaki kayıpların nedenlerinin ortaya çıkarmak olsa da aralarındaki temel fark ekipmanın kullanılabilirliğinin tanımından gelmektedir. TEEP, tatiller ve dinlenme süreleri gibi planlı duruşları da ele alırken, TEE, toplam üretim süresini ele almaktadır. Doğal olarak TEEP değeri TEE değerinden daha büyük olması mümkün değildir. TEE'den türetilen NEE ölçütü ise hazırlık sürelerini de içerisinde barındırmaktadır (Behrens ve Lau, 2008:77)

#### IV) ÜRETİM EKİPMAN ETKİNLİĞİ (PRODUCTION EQUIPMENT EFFECTIVENESS )

Raouf (1994), bir ekipmanın performansının ölçümünde tüm parametrelerin eşit öneme sahip olmadığını belirterek TEE'ye benzer olarak Üretim Ekipman Etkinliği (ÜEE) ölçütünü önermiştir. Bu nedenle ÜEE'nin TEE'den temel farkı, TEE'nin bileşenleri olan kullanılabilir zaman, performans ve kalite parametrelerinin TEE'de eşit ağırlığa sahip iken ÜEE'de farklı ağırlıklara sahip olması mümkündür.

ÜEE, kesikli ve sürekli üretim sistemleri için Şekil 7'deki sürelerle göre aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Raouf, 1994: 50-51)

##### Kesikli üretim sistemleri için ÜEE

$$\text{ÜEE} = (A^{k_1}) (P^{k_2}) (Q^{k_3})$$

$0 < k_i \leq 1$ ,  $k_i$ : bileşenlerin ağırlıkları

A: Kullanılabilirlik, P: Performans etkinliği, Q: Kalite etkinliği

##### Sürekli üretim sistemleri için ÜEE

$$\text{ÜEE} = (A_1)^{k_1} (A_2)^{k_2} (E)^{k_3} (Q)^{k_4} (PSE)^{k_5} (OU)^{k_6}$$

A1: Kullanılabilirlik

A2: Başarı (Attainment)

E: Performans etkinliği

QR: Kalite oranı

PSE: Ürün desteği etkinliği

OU: Operasyonel kullanım

$A_1 = (\text{Planlanan Süre} - \text{Planlı Duruşlar}) / \text{Planlanan Süre}$

$A_2 = (\text{Planlanan Operasyon Süresi} - \text{Plansız Duruşlar}) / \text{Planlanan Operasyon Süresi}$

$E = (\text{Net Operasyon Süresi} - \text{Hız Kayıpları}) / \text{Net Operasyon Süresi}$

$QR = (\text{Üretim Süresi} - \text{Kalite Kayıpları}) / \text{Üretim Süresi}$

$PSE = (\text{Kaliteli Üretim Süresi} - \text{İşlem Kayıpları}) / \text{Kaliteli Üretim Süresi}$

$OU = (\text{Kaliteli Üretim Süresi} - \text{Talep Olmayan Süre}) / \text{Kaliteli Üretim Süresi}$

Sürekli üretim sistemlerinde sürekli bir hazırlık faaliyeti olmadığı için hazırlık süreleri değerlendirmeye alınmamaktadır.

<b>Planlanan Süre</b>			
<b>Planlanan Operasyon Süresi</b>		<b>Planlı Duruşlar</b>	<b>A1</b>
<b>Net Operasyon Süresi</b>		<b>Plansız Duruşlar</b>	<b>A2</b>
<b>Üretim Süresi</b>		<b>Hız Kayıpları</b>	<b>E</b>
<b>Kaliteli Üretim Süresi</b>		<b>Kalite Kayıpları</b>	<b>QR</b>
<b>Katma Değerli Üretim Süresi</b>	<b>Talep Olmayan Süre</b>	<b>İşlem Kayıpları</b>	
<b>OU</b>	<b>PSE</b>		

**Şekil 7: Sürekli Tip Üretim Sistemleri için ÜEE Süreleri (Muchiri ve Pintelon,2008:3523)**

Bu ölçütteki en büyük eksiklik parametrelerin ağırlıklarının nasıl verilmesi konusunda herhangi bir öneri getirmemesidir (Yuniawan ve diğerleri, 2013: 298)

### **V)TOPLAM AĞIRLIKLANDIRILMIŞ EKİPMAN ETKİNLİĞİ (OVERALL WEIGHT EQUIPMENT EFFECTIVENESS)**

Wudhikarn (2010), TEE'yi oluşturan alt ölçütlerin ağırlıklandırılması gerektiğini belirterek Analitik Hiyerarşi Proses tabanlı Rank Order Centroid (ROC) yöntemi ile bu ölçütlerin ağırlıklandırıldığı Toplam Ağırlıklandırılmış Ekipman Etkinliğini (TAEE) önermiştir.

TEE ölçütünde tüm alt ölçütler eşit ağırlığa sahiptir. Fakat her alt ölçüt farklı kayıpları temsil ettiğinden dolayı ekipman performansının doğru belirlenmesinde yeterli kalmamaktadır. Raouf (1994), alt ölçütlerin ağırlıklandırılması gerektiğini belirtmiş fakat nasıl ağırlıklandırılacağını değerlendiriciye bırakmıştır. Bu nedenle basit bir ağırlıklandırma yöntemi olan ROC kullanılarak TAEE aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Wudhikarn, 2010: 26)

$$TAEE = w_A A + w_P P + w_Q Q$$

W, ilgili alt ölçütün ağırlığını temsil etmektedir ve aşağıdaki ROC formülü ile hesaplanmaktadır.

$$W_i = \left(\frac{1}{k}\right) \sum_{j=i}^k \frac{1}{r^k}$$

Buna göre karar verici kullanılabilirlik, performans ve kalite alt ölçütünü 1 den 3'e kadar sıralaması gereklidir. Bundan sonra aşağıdaki örnekte gösterildiği gibi ROC yöntemi ile her bir alt ölçüt ağırlıklandırılmaktadır.

Alt Ölçüt	Sıralama	Hesaplama	Ağırlık
Kullanılabilirlik	3	(1/3)/3	0,11
Performans	2	(1/2+1/3)/3	0,28
Kalite	1	(1+1/2+1/3)/3	0,61

## VI) TOPLAM ÇIKTI ETKİNLİĞİ(OVERALL THROUGHPUT EFFECTIVENESS)

TEE, ekipman seviyesinde performans ve verimlilik ölçütünde oldukça güçlü bir ölçüt olmasına karşın tesis seviyesinde performans ölçümünde yetersiz kalmaktadır(Muthiah ve diğerleri,2008:811). Bu nedenle Toplam Çıktı Etkinliği (TÇE), hem tesis seviyesindeki performansının hem de tesisteki darboğazların belirlenmesinde ve gizli kapasitenin ortaya çıkarılması için kullanılan bir ölçüttür (Muthiah ve Huang, 2007:4753)

İmalat sistemleri sektöre ve ürün yapısına bağlı olarak genellikle farklı tip ağ yapılarını barındıran bir yapıya sahiptir. TÇE, TEE'den ortaya çıkan ve farklı alt sistemlere sahip karmaşık bir ağ yapısına sahip olan imalat sistemlerinin performans ölçümünde kullanılacak bir ölçüt olarak kullanılabilir (Huang ve Diğerleri, 2003:514). Mutiah ve Huang (2007), TÇE hesaplamalarının paralel, seri, montaj ya da ayrılan olarak dört farklı şekilde hesaplanması gerektiğini belirtmişlerdir. Çünkü birçok üretim süreci bu dört alt süreçlerin bileşiminden oluşmaktadır. Bu dört alt sistem için TÇE ölçütü, ekipmanın boş kalmasından kaynaklı olan sistem kısıtı yaklaşımından ortaya çıkmıştır.



Şekil 8’de her bir alt süreç için TÇE ölçütünün hesaplanması verilmektedir.

Alt Sistemler	TÇE
Seri Bağlı	$\frac{\min \left\{ \min_{i=1,2,\dots,n-1} \left\{ TEE_{(i)} \times R_{th(i)} \times \prod_{j=i+1}^n Q_{eff(j)} \right\}, TEE_{(n)} \times R_{th(n)} \right\}}{\min_{i=1,2,\dots,n} \left\{ R_{th(i)} \right\}}$
Paralel Bağlı	$\frac{\sum_{i=1}^n (TEE_{(i)} \times R_{th(i)})}{\sum_{i=1}^n R_{th(i)}}$
Montaj	$\frac{\min \left\{ \min_{i=1,2,\dots,n} \left\{ TEE_{(i)} \times (R_{th(i)} / k_{A(i)}) \times Q_{eff(a)} \right\}, R_{th(a)} \times TEE_{(a)} \right\}}{\min \left\{ \min_{i=1,2,\dots,n} \left\{ R_{th(i)} / k_{A(i)} \right\}, R_{th(a)} \right\}}$
Genişleyen	$\frac{\sum_{i=1}^n \min \left\{ R_{th(e)} \times TEE_{(e)} \times k_{E(i)} \times Q_{eff(i)}, R_{th(i)} \times TEE_{(i)} \right\}}{\sum_{i=1}^n \min \left\{ R_{th(e)} \times k_{E(i)}, R_{th(i)} \right\}}$

Şekil 8: Alt Sistem Bazında Toplam Çıktı Etkinliği (Muthiah ve Huang, 2007:4758)

Şekilde n her bir alt süreçteki ekipman sayısını ifade etmektedir.  $TEE_{(i)}$ , i ekipmanının TEE oranı,  $TEE_{(a)}$ , montaj tipi alt süreç içerisindeki ekipmanın TEE oranı,  $TEE_{(e)}$ , genişleyen tip alt süreç içerisindeki ekipmanın TEE oranı ve  $TEE_{(n)}$ , ise seri tip alt süreçteki en sonda bulunan ekipmanın TEE oranıdır.  $R_{th(i)}$ , i ekipmanının birim zamandaki imalat miktarını,  $R_{th(a)}$ , montaj tipi alt süreç içerisindeki ekipmanın birim zamandaki imalat miktarını,  $R_{th(e)}$ , genişleyen tip alt süreç içerisindeki ekipmanın birim zamandaki imalat miktarını ve  $R_{th(n)}$ , ise seri tip alt süreçteki en sonda bulunan ekipmanın birim zamandaki imalat miktarını belirtmektedir.  $Q_{eff(j)}$ , ise i ekipmanının kalite oranını,  $Q_{eff(a)}$ , montaj tip alt sürecin kalite oranını ifade etmektedir.  $k_{A(i)}$ , montaj tip alt süreçte i ekipmanından birleşilecek ekipmana giden parça sayısı,  $k_{E(i)}$  ise ayrılan tip alt süreçte genişleyen durumdaki ekipmandan i ekipmanına giden parça sayısıdır.

Görüldüğü gibi bir imalat sistemi içerisinde bulunan her bir makinenin TEE hesaplaması yapıldıktan sonra imalat sürecinin ağ yapısına bağlı olarak TÇE ölçütünün belirlenmesi tüm imalatın bütünsel bir bakış açısıyla

değerlendirilmesi açısından önemli bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu ölçüt, toplam tesis etkinliğinin ölçümüne de temel oluşturacaktır.

## **VII) TOPLAM TESİS ETKİNLİĞİ (OVERALL FAB EFFECTIVENESS)**

Toplam Tesis Etkinliği (TTE) kavramını ilk olarak Scott ve Pisa (1998) ortaya koyarak imalat sistemlerinin birçok makine, teknoloji, insan, malzeme gibi unsurların oluşturduğu karmaşık bir ağ yapısına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bir tesis içerisindeki tüm bu unsurlar birbirinden bağımsız olmadığı için ekipman performansının izlenmesinde kullanılan TEE ölçütünün tesis bazında yetersiz kaldığını vurgulamışlardır.

TTE, birçok farklı faaliyetin ve farklı makineler ve süreçler arasındaki ilişkilerin ve farklı alt sistemler arasındaki bilgi, karar ve aksiyonların bütünleştirilmesidir. TTE, imalattaki tüm faaliyetler ile bilgi sistemlerinin bütünleştirilmesini gerektirmektedir (Scott ve Pisa, 1998:76 ve Muthiah ve Huang, 2007:4754).

TEE, bir ekipmanın tek olarak iyi bir performansa ulaşması için kullanılan bir ölçüt iken TTE, farklı makine ve süreçler arasındaki ilişkiye odaklanmaktadır (Muchiri ve Pintelon,2008:3523)

Scott (1999) , TTE, yazılım ve donanım entegrasyonu, tesis yerleştirme ve araç –gereç yerleştirme olmak üzere dört bileşenden oluştuğunu belirterek bu dört bileşenin koordineli çalışması gerektiğini vurgulamıştır.

Oechsner ve diğerleri (2003), bir tesisin performansının ölçümünde tesis içerisinde bulunan birçok unsurun ele alınması gerektiğini belirterek ölçüt içerisinde maliyet analizlerinin de katılması gerektiğini vurgulamışlardır. Ekipman etkinliği, ekipmanın kendisinden başka operatör, reçete, tesis yapısı, malzeme uygunluğu, çizelgeleme ihtiyaçları gibi pek çok farklı faktörden etkilenmektedir. Dolayısıyla ekipman performansına yönelik doğru ölçümlerin yapılabilmesi için tüm bu ilgili ölçütlerin düzenli olarak takip edilmesi bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. TTE optimizasyonunun sağlanabilmesi için pek çok farklı fakat birbirine bağlı faaliyetlerin koordinasyonlu bir şekilde iyileştirilmesi gerekmektedir (Oechsner ve diğerleri, 2003:335-337).

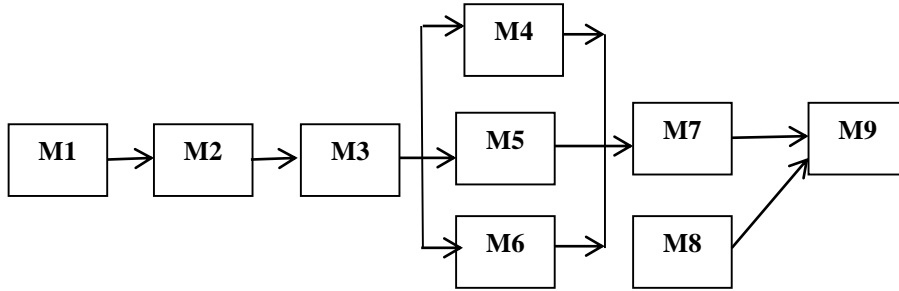
Scott ve Pisa (1998), bir imalat sistemi içerisinde birçok unsur olduğundan dolayı bu unsurları içerisine alan farklı ölçütlerin bütünsel olarak değerlendirilmesi gerekliliği üzerine odaklanmışlardır. Bu çerçevede bu ölçütler sektöre ve işletmeye göre farklılıklar göstereceği için her işletme bu ölçütleri belirleyerek her bir ölçütün işletme amaç ve stratejileri doğrultusunda ağırlıklandırarak bir TTE ölçütüne ulaşabileceğini belirtmişlerdir. Tablo 1’de TTE ölçütü için kullanılacak örnek bir yapı gösterilmektedir.

Amaç	Ağırlık	Sonuç
OEE		
Çıktı zamanı etkinliği (teorik çıktı zamanı/gerçekleşen çıktı zamanı)		
Zamanında teslimat		
Kapasite kullanımı (çıktı miktarı /tesis kapasitesi)		
Yeniden işleme		
Hat verimliliği		
Üretim miktarı		
Stok devir hızı		

**Tablo 1: Toplam Tesis Etkinliği Ölçütleri (Scott ve Pisa, 1998: 81)**

Muthiah ve Huang (2007) çalışmalarında bir tesisin bütünsel anlamda etkinliğinin ölçülmesine vurgu yaparak TTE ölçütü üzerine bir model önererek farklı senaryolarla analizini yapmışlardır. Bu anlamda öncelikle tesis yapısı seri bağlı, paralel bağlı ve montaj ve ayrılan olarak ayrılır ve her bir ekipmanın TEE ölçütünü kullanarak için bulunduğu alt sisteme göre TÇE değerleri hesaplanır. Sonrasında alt sistemlerin TÇE değerleri kullanılarak, tüm tesis için TTE değeri hesaplanmaktadır.

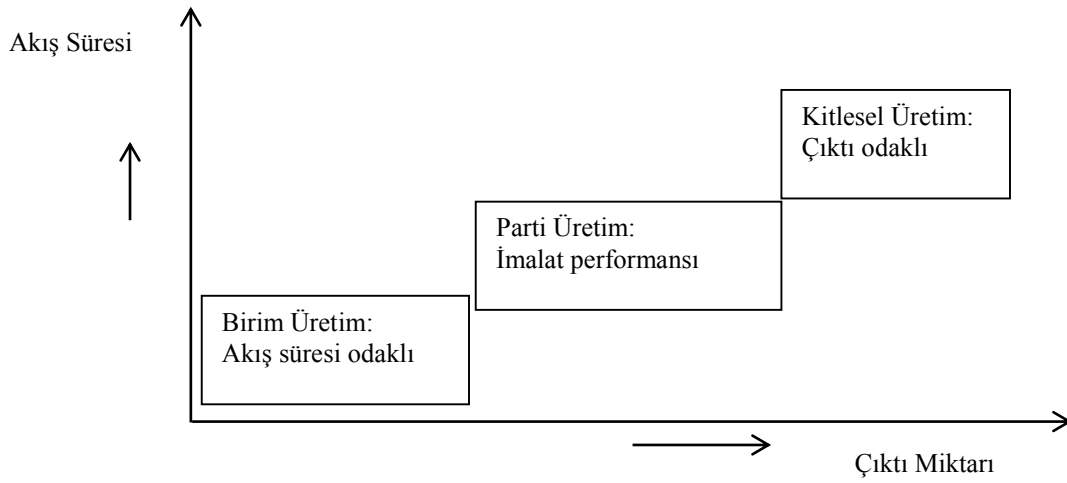
Şekil 9'da görüldüğü gibi bir üretim süreci olduğu ve süreçte 9 makine (M) olduğu düşünüldüğünde süreç; 1. , 2. ve 3 makineler seri bağlı alt sistemi, 4., 5. ve 6. makineler paralel tip alt sistemi ve 7., 8. ve 9. makineler ise montaj tipi alt sistem olmak üzere 3 temel alt sisteme ayrılmaktadır. Her bir makinenin TEE değerleri kullanılarak içinde bulunduğu alt sisteme göre TÇE değerleri hesaplanır. Sonuçta üç alt sistem seri bağlı bir sistemi oluşturacağından dolayı bu seri bağlı alt sistem formülünde TEE değerleri yerine TÇE değerleri kullanılarak tüm tesis için TTE ölçütü hesaplanır.



**Şekil 9: TTE Ölçütü İçin Bir İmalat Sistem Yapısı (Muthiah ve Huang, 2007:4763)**

Ron ve Rooda(2005), bir imalat sisteminin performansında çıktı miktarı ve akış süresi parametrelerinin önemine vurgu yaparak sistemin bütünsel olarak değerlendirilmesi için TTE ölçütü içerisinde bu iki parametrenin bulunması gerekliliğini belirtmişlerdir.

Ron ve Rooda, bir imalat sisteminde çıktı miktarı ile akış süresi arasında önemli bir ilişki olduğu belirtmişlerdir. Şekil 10'da gösterildiği gibi farklı imalat tiplerinde bu iki parametrenin önemi farklılaşmaktadır. Bu nedenle minimum akış süresi ile maksimum çıktı elde etmek temel amaçtır. Bu bakış açısıyla tesis etkinliğini etkileyen bu iki parametre tabanlı bir TTE ölçütü, bir tesisin nasıl çalıştığını ve nasıl çalışması gerektiğini gösterebilir.



**Şekil 10: İmalat Tiplerindeki Akış Süresi ve Çıktı Miktarı İlişkisi (Ron ve Rooda,2005:400)**

Ron ve Rooda, bir imalat performansını (P), gerçekleşen çıktı miktarının (ÇM) gerçekleşen akış süresi(AS) oranının refere edilen çıktı miktarının (RÇM) refere edilen akış süresine(RAS) oranı olarak ifade etmişlerdir. Burada refere edilen kavramı teorik kavramı ile aynı anlama gelmektedir.

$$P = \frac{\text{ÇM} / \text{AS}}{\text{RÇM} / \text{RAS}}$$

Mutiah ve diğerleri (2008) yaptıkları çalışmada farklı imalat süreçleri olan bir imalat sisteminde her bir alt sistemi TÇE değerlerinden yola çıkarak üç farklı senaryoda tesis etkinliğini hesaplayarak sistemdeki darboğaz yaratan ekipmanın belirlenmesi ve buna bağlı olarak TTE ölçütünün artırılması için önem verilmesi gereken konular üzerine odaklanmışlardır.

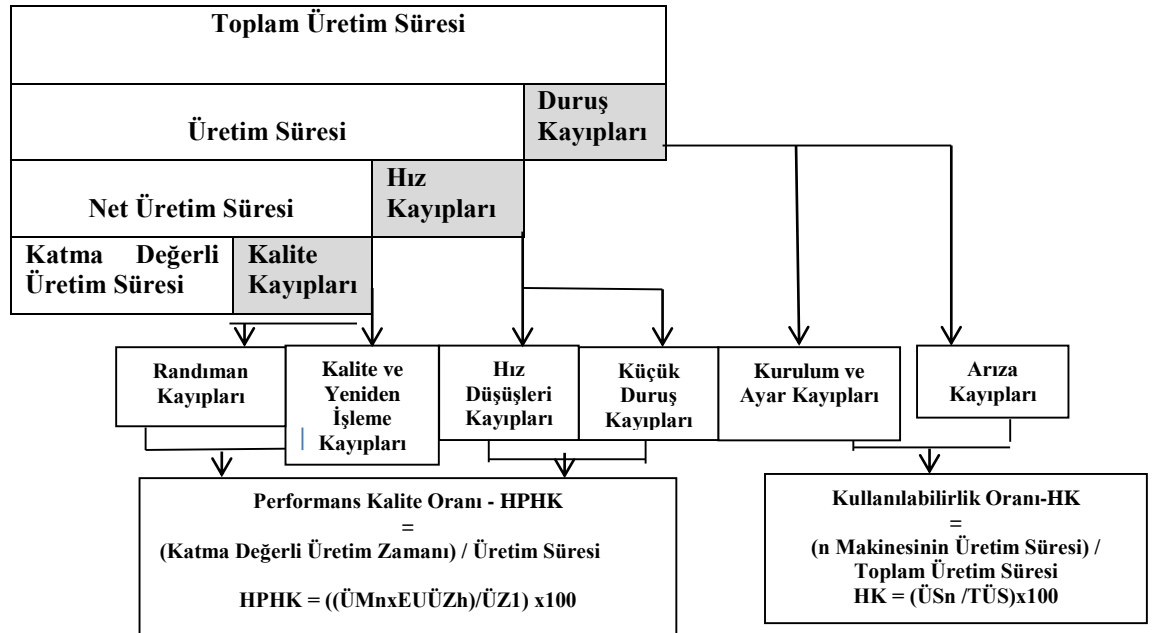
### VIII) TOPLAM HAT ETKİNLİĞİ (OVERALL LINE EFFECTIVENESS - OLE)

Nachiappan ve Anantharaman (2005), sürekli tip üretim sistemlerinde tek bir makinenin etkinliğinin yeterli olmadığını önemli olan tüm hattın etkinliğinin olduğunu belirterek toplam hat etkinliği (THE) ölçütünü önermişlerdir. Sürekli tip üretim sistemlerinde bir makinenin çıktısı diğer makinenin girdisi olduğundan dolayı üretim hattının performans ölçümü bütünsel olarak alınmalıdır. Bu anlamda tüm hattın etkinliği TEE ölçütünden yola çıkarak hesaplanabilir. Bunun için hatta ait kullanılabilirlik (HK), performans(HP) ve kalite(HK) oranlarının belirlenmesi gereklidir.

Hattın kullanılabilirliği hesaplanırken sürekli tip üretim süreçlerinde bir sürecin kendinden önceki sürece bağlı olduğu için önceki sürecin üretim süresi sonraki sürecin toplam üretim süresini etkileyecektir. Ayrıca hattın performans ölçütünde kaliteli çıktı yer aldığı için hattın kalite ölçütünün hesaplanmasına gerek kalmayacaktır. Bu nedenle toplam hat etkinliği aşağıdaki gibi hesaplanabilir(Nachiappan ve Anantharaman, 2005: 993).

$$THE = HK \times HPHK$$

Şekil 11'de TEE ölçütünden yola çıkarak THE ölçütünün hesaplanması parametreleri gösterilmektedir. Şekil'de  $\sum n$ , n alt sürecin kaliteli üretim miktarını,  $EU\dot{U}Sh$ , hatta bulunan en uzun süreye sahip alt sürecin üretim süresini ve  $\dot{U}Z1$  ise hattaki birinci prosesin üretim süresini ifade etmektedir.



Şekil 11: Toplam Hat Etkinliği Ölçütünün Hesaplama Parametreleri (Nachiappan ve Anantharaman, 2005: 995).

## **XI) TOPLAM İŞGÜCÜ ETKİNLİĞİ (OVERALL CRAFT EFFECTIVENESS-OCE)**

Peters (2003), imalat süreçlerinde önemli bir kaynak olan işgücü etkinliğinin ölçümü toplam işgücü etkinliği(TİE) ölçütünü önermiştir. TEE ölçütüne benzer bir mantığa sahip olan TİE ölçütünde temel amaç işgücü kaynağının ölçümü ve iyileştirilmesidir. Bu anlamda TİE ölçütü şu şekilde hesaplanabilir (Peters, 2003:5).

**TİE = İşgücü Kullanımı (Craft Utilization) x İşgücü Performansı (Craft Performance) x İşgücü Hizmet Kalitesi (Craft Service Quality)**

TİE ölçütünün ilk birleşeni olan işgücü kullanımı, planlanan işgücü kaynağının nasıl etkin çalıştığını gösteren bir parametredir. Burada çalışma saati içerisinde işgücünün katma değer yarattığı zaman başka bir deyişle üretken zamanı önemlidir. Üretken zaman içerisinde arama, bulma, taşıma, malzeme ve makine bekleme zamanları dahil edilmemektedir. Ayrıca iş istasyonları arasında gezme, eğitim, toplantı ve duruş zamanları da bu süreye dahil edilmemektedir. Bu anlamda işgücü kullanımı şu şekilde hesaplanabilir (Peters, 2003:8):

**İK=Toplam Üretken Zaman / Toplam İşgücü Zamanı**

TİE ölçütünün ikinci birleşeni işgücü performansıdır. Bu element, planlanan yada standart işgücü zamanı ile gerçekleşen işgücü zamanının karşılaştırılmasına olanak sağlayan bir parametre olup aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Peters, 2003:11):

**İP = Toplam Planlanan Zaman/Toplam Gerçekleşen Zaman**

TİE ölçütünün son bileşeni olan işgücü hizmet kalitesi, işgücünün işini yaparken çıkardığı işin kalitesi ile ilişkilidir. Bu birleşen, diğer iki birleşen kadar ölçülmesi kolay olmayan subjektif bir yapıya sahiptir. Bu nedenle bu birleşen için gerekli veri toplama süreçlerinin olmaması durumunda TİE ölçütünün hesaplamasına katılmayabilir (Peters, 2003:14).

## **SONUÇ**

Yapılan bu çalışmada imalat süreçlerinin performans ölçümünde farklı açılardan kullanılabilir performans ölçütleri incelenmiştir. Çalışma

sonucunda performans ölçütleri üzerine hem literatürde hem de uygulamada birçok ölçüt olduğu görülmüştür. Fakat bu ölçütlerin temel çıkış noktası toplam ekipman etkinliği ölçütüdür. SEMI standartlarının öncülüğünü yaptığı endüstriyel ölçütler ise literatürdeki ölçütlere göre çok daha geniş ve ayrıntılı olduğu tespit edilmiştir. 1980'li yıllardan sonra TEE ölçütü ile beraber bu ölçütten yola çıkarak imalatı farklı açılardan özelden genele doğru değerlendiren TEEP, NEE, ÜEE, TÇE ve TTE gibi ölçütler performans yönetiminde kullanılmaktadır.

Çalışmada incelenen performans ölçütlerinin temel farklılıkları olsa da bu ölçütlerin temel amacı, imalat ve zaman kayıplarının ortaya konarak kayıp kapasitenin fark edilmesi ve imalat performansının yönetilmesidir. Bu ölçütler arasında temel fark, etkinlik hesaplaması için kullanılan kayıp parametrelerinin tanımlanması ve kullanım şeklinde yatmaktadır.

TEE, yukarıda bahsedilen temel altı kayıp üzerine odaklanırken, TEEP tüm çalışma süresini baz alarak ekipmanın arıza ve tamir sürelerine (MTBF/MTTR) odaklanmaktadır. NEE ise ekipman performansının hesaplanmasında duruşlar içerisine hazırlık sürelerini almamaktadır. ÜEE ise ölçüm bileşenlerine ağırlık veren ve kesikli ve sürekli tip imalat sistemleri için ayrı performans ölçütleri öneren bir ölçüttür. TÇE ise performans ölçümünü ekipman seviyesinden hat seviyesine taşıyan bir ölçüt olup TTE, TÇE değerleri üzerinden tüm tesisin performansının ölçümü ile ilgilenmektedir.

Tüm bu ölçütlerin hangisi ya da hangilerinin kullanılacağı neyin performansının ve nasıl ölçüleceğine bağlıdır. Bu yönetsel bir karar olup bunun için kayıp parametrelerine ilişkin bilgi sistem destekli olarak güncel ve doğru bir veri akış alt yapısının kurulması gereklidir. Ayrıca bu ölçütlerin kullanılacağı performans sisteminin kurulması, yönetilmesi ve karar süreçlerinde uygulanması için gerekli işgücü ihtiyacı diğer önemli bir konudur.

**KAYNAKÇA**

- AHUJA, I.P.S. and KHAMBA, J.S. (2008), "Total Productive Maintenance: Literature Review And Directions", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 25 No. 7, pp. 709-56.
- AHUJA, I. P. S. and KUMAR, P. (2009), "A Case Study of Total Productive Maintenance Implementation at Precision Tube Mills" *Journal of Quality in Maintenance Engineering* Vol: 15 (3) pp. 241–258.
- AFEFY, Islam H. (2013), "Implementation of Total Productive Maintenance and Overall Equipment Effectiveness Evaluation", *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, Vol: 13 No: 01, pp. 69-75.
- ATTRI, Rajesh, SANDEEP, Grover NIKHIL, Dev and KUMAR, Deepak (2013), "Analysis of Barriers of Total Productive Maintenance (TPM)", *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, (Oct-Dec 2013) Vol: 4(4), pp.365–377
- BEHRENS, Bernd-Arno and PHILIPP, Lau (2008), "Key Performance Indicators for Sheet Metal Forming Processes", *Production Engineering Research and Development*, Vol: 2, pp.73–78
- BAMBER, C.J., CASTKA, P., SHARP, J.M. and MOTARA, Y. (2003), "Cross Functional Team Working For Overall Equipment Effectiveness (OEE)", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 9 No. 3, pp.223-238
- CHAN, F.T.S., LAU, H.C.W., IP, R.W.L., CHAN, H.K., and KONG, S. (2005) "Implementation of Total Productive Maintenance: A Case Study", *International Journal of Production Economics*, Vol.95, pp. 71–94
- CHAND, G. and SHIRVANI, B. (2000), "Implementation of TPM in Cellular Manufacture", *Journal of Materials Processing Technology* Vol: 103,pp.:149-154.
- DAL, B., TUGWELL, P. and GREATBANKS, R. (2000), "Overall Equipment Effectiveness as a Measure of Operational Improvement, A Practical Analysis", *International Journal of Operations and Production Management*, Vol: 20 (12), pp.1488–1502.
- GRABILL, Stanley T. (2012), "Driving OEE: A Strategy for Business Results", *Plant Engineering*, October, pp. 41-45.
- HUANG, S., DISMUKES, J., SHI, J., SU, Q., RAZZAK, M., BODHALE, R. and ROBINSON, D.E. (2003), "Manufacturing Productivity Improvement Using Effectiveness Metrics and Simulation Analysis", *International Journal of Production Research*, Vol. 41 No. 3, p. 513-527.
- IANNONE, Raffaele and NENNI, Maria Elena (2013), *Operations Management*, InTech.
- JEONG, K. and PHILLIPS, D.T. (2001), "Operational Efficiency and Effectiveness Measurement", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 21 No. 11, pp. 1404-16.



- LJUNGBERG, Örjan (1998), "Measurement of Overall Equipment Effectiveness as A Basis For TPM Activities", *International Journal of Operation and Production Management*, Vol.18 (5), pp. 495–507
- MUCHIRI P. and PINTELON, L. (2008), "Performance Measurement Using Overall Equipment Effectiveness (OEE): Literature Review and Practical Application Discussion", *International Journal of Production Research*, Vol: 46:13, pp.3517-3535.
- MUTHIAH, K. M. N. and HUANG, S.H. (2007), "Overall Throughput Effectiveness (OTE) Metric For Factory-Level Performance Monitoring And Bottleneck Detection", *International Journal of Production Research*, Vol: 45, No:20, pp.4753-4769.
- MUTHIAH, K.M.N., HUANG, S.H. and MAHADEVAN, S. (2008), "Automating Factory Performance Diagnostics Using Overall Throughput Effectiveness (OTE) Metric", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 36 No: 7/8, pp. 811-824.
- NACHIAPPAN, R.M. and ANANTHARAMAN, N. (2005), "Evaluation of Overall Line Effectiveness (OLE) in A Continuous Product Line Manufacturing System", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 17 No. 7, pp. 987-1008.
- NG, K.C., CHONG, K.E. and GOH, G.G.G. (2013), "Total Productive Maintenance Strategy in a Semiconductor Manufacturer: A Case Study", *Proceedings of the 2013 IEEE IEEM*, pp.1184-1188
- OECHSNER, R., PFEFFER, M., PFITZNER, L., BINDER, H., MULLER, E. and VONDERSTRASS, T. (2003), "From Overall Equipment Effectiveness to Overall Fab Effectiveness (OFE)", *Materials Science in Semiconductor Processing*, Vol: 5, pp.333–339.
- POMORSKI, T. (1997), "Managing Overall Equipment Effectiveness (OEE) to Optimize", *Factory Performance*, 0-7803-3752-2 IEEE.
- POMORSKI Thomas R. (2004), *Total Productive Maintenance Concepts and Literature Review*, Brooks Automation, Inc.
- POPHALEY, Mahesh (2010), "Revisiting OEE as an Assessment Methodology for TPM Activities: A Practical Analysis", *Journal of Operations Management*, Vol: 9, No: 1/2, pp.35-42.
- RALPH W, Peters (2003), *Measuring Overall Craft Effectiveness (OCE)*, The Maintenance Excellence Institute, <http://www.plant-maintenance.com/articles/OCE1.pdf>, (08.06.2015).
- RAOUF, A., (1994), "Improving Capital Productivity Through Maintenance", *International Journal of Operations and Production Management*, Vol: 14, No. 7, pp. 44-52.
- RELKAR, Anand S. and NANDURKAR K.N. (2012), "Optimizing & Analyzing Overall Equipment Effectiveness (OEE) Through Design of Experiments (DOE)" *Procedia Engineering*, Vol: 38, pp. 2973–2980.

- RON, A. J. and ROODA, J.E. (2005), "Fab Performance", IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol: 18, No: 3, pp. 399-405.
- RON, A. J. and ROODA, J.E. (2005), "Equipment Effectiveness: OEE Revisited", IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol: 18, No: 1, pp. 190-196.
- RON, A. J. and ROODA, J.E. (2006), "OEE and Equipment Effectiveness: an Evaluation" International Journal of Production Research, Vol. 44, No. 23, pp. 4987–5003.
- SCOTT, Douglas and PISA, Robert (1998), "Can Overall Factory Effectiveness Prolong Moore's Law?" Solid State Technology, Vol: 41, No: 3, pp.75-82.
- SCOTT, Douglas (1999), "Overall Factory Effectiveness, The Corollary To Moore's Law", Machine Design, November, Vol: 18, pp: 170
- SEMI Document 5341, Revision to SEMI E79-1106, Specification for Definition and Measurement of Equipment Productivity, (2014), Semiconductor Equipment and Materials International, California/USA.
- SINGH, Ranteshwar, SHAH, Dhaval B., GOHIL, Ashish M., and SHAH, Miles H. (2013), "Overall Equipment Effectiveness (OEE) Calculation - Automation through Hardware and Software Development" Procedia Engineering, Vol: 51, pp.579 – 584.
- WANG, Tai-Yue and PAN, Chun Hsiao (2011), "Improving The OEE And UPH Data Quality by Automated Data Collection for The Semiconductor Assembly Industry", Expert Systems with Applications, Vol: 38(5), pp: 5764–5773.
- WUDHIKARN, R. (2010), "Overall Weighting Equipment Effectiveness", Proceedings of the IEEE IEEM, pp: 23-27.
- YUNIAWAN, Dani, ITO, Teruaki and BIN, Mohamad E. (2013), "Calculation Of Overall Equipment Effectiveness Weight by Taguchi Method With Simulation", Concurrent Engineering: Research and Applications, Vol: 21(4) pp. 296–306.
- ZAMMORI, Francesco, BRAGLIA, Marcello and FROSOLINI, Marco (2011), "Stochastic Overall Equipment Effectiveness", International Journal of Production Research, Vol. 49, No. 21, pp. 6469–6490.
- <http://www.semi.org/node/50191,2015>.
- <http://www.semi.org>