

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR İŞLETMEDE MAKİNA ETKİNLİĞİNİN VZA(VERİ ZARFLAMA
ANALİZİ) İLE ÖLÇÜMÜ VE TOPLAM ÜRETKEN BAKIM
YÖNETİMİNDE KULLANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Serkan PEHLEVAN**

Anabilim Dalı : İşletme Mühendisliği

Programı : İşletme Mühendisliği

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. H. Bersam BOLAT

EYLÜL 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR İŞLETMEDE MAKİNA ETKİNLİĞİNİN VZA (VERİ ZARFLAMA
ANALİZİ) İLE ÖLÇÜMÜ VE TOPLAM ÜRETKEN BAKIM
YÖNETİMİNDE KULLANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Serkan PEHLEVAN
(507051030)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 Eylül 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Eylül 2010

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. H. Bersam BOLAT (İTÜ)
Eş Danışman :
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Demet BAYRAKTAR (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Murat BASKAK (İTÜ)**

EYLÜL 2010

Aileme,

ÖNSÖZ

Sanayileşme ve buna bağlı olarak sürekli gelişen teknoloji operatörler ve makineleri arasındaki açığı daha da arttırmıştır. Makinesini tanımayan ve dokunmaya korkan operatör tüm sorumluluğu kendinden daha uzman kişilere bırakmıştır.

Bakım ve iyileştirme faaliyeti üzerine yıkılan bu “uzman” kişiler ise bu durumu başta çok sevmiştir. Çünkü hattı durduran ve üretim performansını etkileyen tüm bu olumsuzluklar uzman kişileri vazgeçilmez kılmış ve bağımlılığı arttırmıştır. Ancak bu durum öyle bir hal almıştır ki bu insanlar başlarını makinelerden çıkaramayacak hale gelmiş ve yakınmaya başlamışlardır.

TPM’in (Toplam Üretken Bakım) doğuşuyla beraber bu durumda sona ermiştir. Doğru yaklaşımlar ve eğitimle birleşen bir TPM uygulaması tüm saha çalışanlarını zorunlu becerilere donatır.

Tez çalışmam sırasında bana yardımlarını eksik etmeyen sayın hocam İTÜ İşletme Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Yrd.Doç.Dr.H.Bersam BOLAT olmak üzere, desteklerinden dolayı aileme teşekkür etmek istiyorum.Ayrıca uygulama yaptığım İzocam firmasında bana desteklerinden dolayı merhum Ahmet UÇAR’a Allah’tan rahmet diliyorum.

Eylül 2010

Serkan PEHLEVAN

Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1.GİRİŞ	1
2.TOPLAM ÜRETKEN BAKIM (TPM)	2
2.1 TPM'in Tanımı Ve Özellikleri.....	6
2.1.1 TPM' in Hedefleri.....	8
2.1.2 TPM Gelişiminin 5 Prensibi.....	9
2.1.3. TPM Yapı Taşları (Pillarlar).....	10
2.2 Kaizen (Sürekli İyileştirme).....	12
2.2.1 Önce-Sonra Kaizenleri.....	15
2.2.2 Kaizen Örnekleri.....	15
2.2.3. TPM' de Her Prensibin Rolü.....	15
2.3 Toplam Ekipman Etkinliği.....	17
2.4.Kayıp Sebepleri Yapısı.....	19
2.4.1 Altı Büyük Kayıp.....	20
2.4.2 Arıza Kayıpları (Breakdown Losses).....	21
2.4.3 Ölçü Değişimi Ve Ayar Kayıpları (Set-up and adjustment down time)	24
2.4.4 Aylak Zaman Ve Küçük Duruşlar (Idling and minor stoppages).....	27
2.4.5 Düşük Hız (Reduced speed).....	28
2.4.6 Üretim Hataları (Process defects).....	31
2.4.7 Devreye Alma Ve Rejime Ulaşma Kayıpları (Reduced yield).....	32
2.4.8 Bireysel İyileştirmelerin 7 Adımı.....	33
2.5 TPM Uygulamasında Önemli Adımlar.....	37
2.6 Özerk (Otonom) Bakım.....	40
2.6.1 Operatörlerde Aranılan Özellikler.....	40
2.6.2 Özerk Bakımın Adımları.....	41
2.6.3 Özerk Bakımda Başarılı Olmanın 14 Anahtarı.....	45
2.7 Ofis Tpm.....	46
2.7.1 Organizasyon (Seiri).....	46
2.7.2 Düzen (Seition).....	47
2.7.3 Seiso (Temizlik).....	47
2.7.4 Seiketsu (Standartlaştırma).....	48
2.7.5 Shitsuke (Disiplin).....	48
2.8 Toplam Ekipman Etkinliği (OEE) Hesabı.....	49
2.8.1 Kullanılabilirlik Oranı.....	49
2.8.2 Performans Oranı.....	51
2.8.3 Kalite Oranı.....	53

2.8.4 OEE İdeal Değerleri	55
3. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ (VZA).....	57
3.1 VZA Modelinin Güçlü Yönleri	58
3.2 VZA Modelinin Zayıf Yönleri	59
3.3 VZA Süreci.....	60
3.4 Karar Birimlerinin Seçimi	61
3.5 Veri Zarflama Analizinin Matematiksel Modelleri.....	61
3.5.1 CCR Modeli.....	62
3.5.2 Girdiye Yönelik VZA Modelleri	62
3.5.3 Çıktıya Yönelik VZA Modelleri.....	71
3.6 İmalat Sektöründe VZA Uygulamaları.....	80
4. ÖRNEK UYGULAMA.....	83
4.2 Sonuçlar	89
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	91
KAYNAKLAR.....	93
EKLER	99

KISALTMALAR

BCC	: Banker Charnes Cooper Modeli
CCR	: Charnes Cooper Rhades Modeli
CE	: Conformance European
DEA	: Data Envelopment Analysis
EPS	: Ekspandè Polistiren
ISO	: International Organization for Standardization
LCC	: Üretim Sisteminin Ömür Döngüsü
MTBF	: Mean Time Between Failure
OEE	: Toplam Ekipman Etkinliği
OHSAS	: Occupational Health and Safety Advisory Services
PQCDSM	: Üretim,Kalite,Maliyet,Teslimat,İş Güvenliği,Çevresel Şartlar
RK	: Referans Kümesi
TPM	: Toplam Üretken Bakım
TÜB	: Toplam Üretken Bakım
VZA	: Veri Zarflama Analizi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Kayıp Sebepleri Yapısı	21
Çizelge 2.2 Gizli Arızaların Sınıflandırılması.....	222
Çizelge 2.3 Sıfır Arızaya Ulaşma Aşamaları	233
Çizelge 2.4 Kurma ve ayar faaliyetlerinin bileşenlerinin ağırlıkları	255
Çizelge 2.5 Standart Hıza Erişme Çalışmasının Aşamaları	30
Çizelge 2.6 Kayıp Türleri ve Hedefler	322
Çizelge 2.7 Bireysel İyileştirmelerin 7 Adımı	344
Çizelge 2.8 Otonom Bakımın Aşamaları	366
Çizelge 2.9 TPM Aşamaları	399
Çizelge 3.1 Literatürdeki Girdi ve Çıktı Değişkenleri	81
Çizelge 3.2 Seçilen Girdi ve Çıktı Değişkenleri	81
Çizelge 4.1 Örnek Alınan Kalıp Makinalarının Sonuçları	866
Çizelge 4.2 Girdi ve Çıktı Değerleri	888
Çizelge 4.3 Etkinlik Sonuçları	888
Çizelge 4.4 Referans Kümeleri	899
Çizelge 4.5 Etkin olmayan kalıp makinalarının olması gereken çıktı değerleri	90

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 TPM Organizasyon Şeması.....	10
Şekil 2.2 TPM Yapısı.....	111
Şekil 2.3 Üretimde girdi ile çıktı arasındaki ilişki	188
Şekil 2.4 Sıfır Arızanın 5 Önemi ve Toplam Üretken Bakımın 5 Sütunu	24
Şekil 2.5 TPM Görev Dağılımı	422

BİR İŞLETMEDE MAKİNA ETKİNLİĞİNİN VZA (VERİ ZARFLAMA ANALİZİ) İLE ÖLÇÜMÜ VE TOPLAM ÜRETKEN BAKIM YÖNETİMİNDE KULLANIMI

ÖZET

Globalleşmenin etkisi ile ürünler, servisler, sermaye, teknoloji ve bireyler dünya çapında daha serbest bir şekilde hareket etmeye başlamıştır. Bunun sonucu olarak da rakiplerine karşı avantaj kazanmak isteyen imalatçı firmalar kendilerini değişen şartlara adapte etmek ve performans kriterlerini sürekli değerlendirmek zorunda kalmaktadırlar. Bu çalışmadaki temel amaç, seçilen imalat birimindeki kalıp makinalarının verimliliğini VZA (Veri Zarflama Analizi) ile hesaplayıp, diğerlerine göre daha az etkin çıkan makinaların Toplam Üretken Bakım Yönetimi (TPM) ile daha etkin nasıl olabileceğini göstermektir.

Analiz için Lindo programı kullanılmıştır. Etkin olan ve olmayan kalıp makinaları belirlenmiştir. Burada kullanılan Veri Zarflama Analizi (VZA), doğrusal programlamanın özel bir uygulama şekli olup, aynı amaç ve hedeflere sahip işletmelerin göreceli olarak verimliliğini ölçmede kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalarda, var olunan sistem içinde yer alan, benzer birimlerle karşılaştırılarak göreceli etkinlikler belirlenebilmektedir.

Yapılan hesap sonucu etkin olmayan kalıp makinaları için referans makinalar belirlenmiş ve diğer kalıp makinalarına göre göreceli olarak daha az etkin çıkan kalıp makinalarının Toplam Üretken Bakım yönetimi ile nasıl etkin hale getirilebileceği, TPM olgusunun nasıl firma bünyesinde uygulanabileceği tüm detaylarının anlatılması ile gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre doğru uygulanacak bir TPM ile imalattaki etkinlik kayıpları minimum seviyeleri getirilebileceği vurgulanmıştır. Toplam Üretken Bakım, şirketlerde üst yönetiminin tam desteğinin olması gereken bir sistemdir. Tüm çalışanların özellikle de operatör seviyesindeki çalışanların katılımı sağlanmalıdır. Oluşturulan iyileştirme gruplarının faaliyetlerinin gerçekleşmesiyle verimlilik artırılarak yönetim sistemi oluşturulur. Toplam Verimli Bakım anlayışında, üretimde aktif olarak çalışan operatörlerin katılımıyla gerçekleşen otonom bakım faaliyetleri sistemin en önemli uygulamasıdır.

MEASUREMENT OF THE MECHANICAL EFFICIENCY OF DEA(DATA ENVELOPMENT ANALYSIS) IN A COMPANY AND USE OF TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE MANAGEMENT

SUMMARY

Impact of globalization with the products, services, capital, technology, and individuals around the world began to move more freely. As a result, manufacturers who want to gain an advantage against their competitors and companies to adapt themselves to changing conditions to evaluate the performance criteria remain constant. The main purpose of this study, the efficiency of the chosen manufacturing unit mold machines DEA (Data Envelopment Analysis) to calculate, the machines less efficient than others Management Total Productive Maintenance (TPM) and may be more effective to show how.

Lindo program was used for analysis. The active and inactive mold machines determined. Data envelopment analysis (DEA) is an application of linear programming that has been used to measure the relative efficiency of operating units with the same goals and objectives. In these applications, the performance of each institution or organization was measured relative to the performance of all operating with in the same system. The account is inactive as a result of the reference machines for molding machines were determined. Molding machines, the less efficient relative to other molding machines with the management of Total Productive Maintenance is shown how to be brought activated. Explaining all the details of how the firm can be applied within the TPM concept are shown with. According to the results of a TPM applied to the minimum levels to be brought losses in manufacturing activity are emphasized.

Total Productive Maintenance, the top management of companies should have the full support of a system. All employees should be provided in particular the participation of the operator-level employees. The realization of the activities of groups created to improve productivity by increasing the management system is created. Total Productive Maintenance concept, autonomous maintenance activities with the participation of operators who are active in production of the most important application of the system.

1.GİRİŞ

İmalat sanayi; ülkemiz milli geliri içerisinde oldukça önemli bir paya sahiptir. Yine imalat sanayi, ticarete açık sektörler içerisinde görece verimliliği en yüksek olan sektör olma özelliğini taşımaktadır. Bu nedenle ülkemiz ekonomik büyümesinin anahtar sektörlerinden biridir.

İmalat sanayinde etkinlik ve verimlilik göstergeleri pek çok açıdan önem arz etmektedir. Sanayileşmenin göstergelerinden birisinin de imalat sanayinde verimlilik olduğunu söylemek yanlış olmaz. Hangi düzeyde olursa olsun etkinlik ve verimlilik üzerine bir şeyler söyleyebilmek, etkinlik ve verimlilikte iyileşme sağlayabilmek için öncelikle etkinliğin ve verimliliğin ölçülmesi gerekmektedir. Etkinlik ve verimlilikteki artış kaynakların daha etkin biçimde yeniden dağılması, teknolojik gelişme, daha etkin bir yönetim ve bilgi artışları gibi olumlu sonuçlara neden olmaktadır.

Ekonomik anlamda büyümenin gerçekleştirilmesi verimlilik artışı ile mümkün olmaktadır. Verimlilik artışının sağlanmış olması, ülkenin sahip olduğu kaynakları optimum şekilde kullandığını göstermektedir. Kaynakların optimum kullanımı ile üretim artışı sağlanacaktır. Üretimde meydana gelen bu artış, ekonomik anlamda büyümeyi beraberinde getirecektir.

Bu tez çalışmamda ilk kısımda TPM 'in tanımı ve özelliklerini, toplam ekipman verimliliği konusu ve hesaplanmasını inceleneyecektir. Daha sonra uygulamamda ve birçok verimlilik probleminde sık kullanılan Veri Zarflama Analizi'nden bahsedilip, örnek uygulama anlatılacaktır. Burada amaç seçilen kalıp makinalarının verimliliğini VZA (Veri Zarflama Analizi) ile hesaplayıp, diğerlerine göre daha az etkin çıkan makinaların daha etkin nasıl olabileceğini göstermektir.

2.TOPLAM ÜRETKEN BAKIM (TPM)

Kronik arızaların ve diğer hataların birçok nedeni olmakla birlikte bunlardan en önemlisi insan faktörüdür. Arızalar meydana geldiğinde üretim durur, teslimatlar gecikir ve üretim hataları ortaya çıkar. Diğer bir deyişle, tek bir arıza bile bir fabrikanın tamamında aksamalara yol açabilir ve bütün üretim sürecini bozabilir.

Arızalı ekipmanın alışılmamış derecede titreşim veya ses yapması anormal durumun göstergesidir. Eğer elemanlar bu olağandışı durumları önceden tespit edebilirlerse arızadan kaçınılabilmek mümkün olabilecektir. Herhangi bir arızanın nedenlerine yeterince derinden bakıldığında insan faktörü ile ilişkili sebepler bulunabilir. Arızaların oluşmasında insanların da sorumlu olduğu gözönüne alındığında arızaların önlenerek “sıfır arıza” durumuna sahip bir işyerinin meydana getirilmesi mümkün olabilecektir. Arızaları azaltmanın ve hatta tamamıyla ortadan kaldırmanın en önemli yolu TPM yöntemin uygulanmasıdır. TPM tüm çalışanların katılımı ile yapılan bir üretken bakım faaliyetidir. Şirketlerin içinde bulunduğu ekonomik koşullar çok zor hale gelmiştir ve bir şirketin çalışanlarıyla beraber hayatını sürdürebilmesi için kayıpların yok edilmesi zorunludur. Ekipmanlardan kaynaklanan ve büyük yatırımlar gerektiren kayıplar ve hatalar yok edilmelidir.

TPM, üretimdeki yeni yöndür. Günümüzde, robotların robot üretimi ve 24 saat otomatik üretim ne kadar realite ise adamsız fabrika da o kadar gerçekçi bir olasılıktır. Kalite kontrol tartışılırken, insanlar sık sık kalitenin prosese bağlı olduğunu söylerler. Şimdi, robotlaşma ve otomatikleşme arttıkça, kalitenin ekipmana bağlı olduğunu söylemek daha doğru olmaktadır. Üretkenlik, maliyet, envanter, güvenlik ve sağlık ve üretim çıktısı kalite de olduğu gibi ekipmana bağlıdır.

Otomasyonun ve adamsız üretimin artış göstermesi insan emeğine olan ihtiyacı azaltmayacaktır. Sadece operasyonlar otomatikleşecek, bakım hala güçlü bir biçimde

insan girdisine dayanacaktır. Üst yönetimden üretim hattındaki mavi yakalılara kadar herkesi organize eden TPM, tüm şirketi kapsayan ekipman bakım sistemidir.

TPM'in tarihsel gelişime baktığımızda ise karşımıza Japonya çıkmaktadır. Japonya'nın büyük bir endüstri gücü haline geliş sürati, Amerikan yöneticilerinde korku ve Japon imalat başarısının sırrını çözme isteği doğurmuştur. Genel kanının tersine, bu gelişme, robotlar gibi ileri teknolojinin kullanılmasından ileri gelmemektedir. Japonların yaptığı şey, mevcut fabrikaları gerektiği şekilde çalıştırmayı bilmeleridir. Japon işletmelerinde, yönetimler hiçbir zaman temel kurallara önem vermekten vazgeçmemişler, dahası onlar için mamulün tasarımından, dağıtımına kadar imalatın her safhası aynı derecede önem taşımıştır. Teçhizat tasarımı, stok kontrol sistemleri, işçi kabiliyeti gibi kavramları daha ileriye götürebilmek için, her seviyede sürekli çalışma yapılmaktadır. Erişilmek istenen amaç, mükemmel mamul ve hatalardan arındırılmış işletmelerdir.

Japonların uyguladığı yeni keşfedilmiş bir sistem değildir. Onlar, mevcut sistemleri alarak geliştirmiş ve yeni boyut kazandırmışlardır. İkinci Dünya Savaşı sonrasında Japon Endüstrisinde başlayan bu süreç, günümüze değin gelişerek gelmiştir. Bu dönemde, Japonlar Amerika'dan üretim, yönetim, teknik ve becerilerini almışlar sonrasında ise sürekli geliştirmişlerdir.

Toplam üretken bakım konusunda yapılan çalışmalara bakıldığında özellikle son on yılda konu hakkında yapılan çalışma sayısının artmış olduğu görülmektedir. İmalat sektörü başta olmak üzere, farklı alanlarda da değişik ölçekte uygulamaları olan toplam üretken bakım anlayışı ile ilişkili, özellikle uygulamaların firmalara adaptasyonu ve getirileri konusunda çalışmalar mevcuttur.

İmalat sistemlerinin gelişiminde tamamlayıcı uygulamalar olan tam zamanında üretim, toplam kalite kontrol ve toplam üretken bakım anlayışlarını ve ilişkilerini incelemişlerdir. Miyake ve Enkawa (1999) yaptıkları çalışmada, toplam kalite kontrol ve toplam verimli bakım anlayışları arasındaki tamamlayıcı ilişkileri vurgulamışlardır. [1] Bu anlayışların uygulandığı işletmelerde incelemeler yaparak, imalat stratejileri üzerindeki etkilerinden bahsetmişlerdir. Chand ve Shirvani, otomotiv sanayi tedarikçisi konumundaki hücreli üretim yapan bir firmada toplam

retken bakım çalışmalarının etkilerini incelemişlerdir. Genel ekipman verimliliğini ve altı büyük kayıptan kaynaklanan zararları tespit etmişlerdir. [1]

Tsang ve Chan (2000) yüksek hassasiyete sahip makinelerin üretildiği in'deki bir fabrikada üç fazlı olarak gerçekleştirilen toplam verimli üretken uygulamalarını incelemişlerdir. [2] Cua vd. (2001), toplam kalite yönetimi, toplam üretken bakım ve tam zamanında üretim uygulamaları arasındaki ilişkileri ve imalat performansı konusunu incelemişlerdir. Her üç anlayışın uygulanmasındaki araç ve teknikleri karşılaştırmışlar ve bütünleşik bir ara yüz oluşturmuşlardır.

McKone vd.(2001), yaptıkları çalışmada, toplam üretken bakım uygulamalarının imalat performansına etkilerini incelemişlerdir. Toplam retken bakım ve imalat performansı arasında yapısal eşitlik modeli bazlı bir yapı kurarak direkt ve dolaylı ilişkileri tam zamanında üretim kapsamında incelemişlerdir. Park ve Han (2001), toplam üretken bakımın uzun dönemdeki faydalarına ve kazandırdıklarına değinerek, toplam üretken bakımın rekabete etkisi konusunu incelemişler.[1]

Rodrigues ve Hatakeyama (2006), yaptıkları çalışmada öncelikle toplam üretken bakım başarı faktörlerine değinmiş, ardından üst yönetimin konuya sahiplenmemesi gibi durumları eleştirerek sistemin tüm çalışanlar tarafından benimsenmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Giyici (2007), imalat endüstrisindeki işletmelerinde toplam üretken bakım sistemini uygulayarak, maliyette kazanç ve arızalarda azalma olduğunu belirtmiştir. [1]

TPM olgusu, genel olarak bakım konsepti içinde tanımlanır. Bu nedenle TPM'in doğuşunu aşağıdaki tarihsel süreç içinde görmek mümkündür; Koruyucu Bakım kavramı 1950'li yıllarda ortaya çıkmıştır. Yine bu dönemde Verimli Bakım (PM)(1954) olgusundan da söz edilmeye başlanmıştır. Ekipmanda güvenilirlik ve bakımda güvenilirlik kavramının gündeme gelmesi ile, 1960'lı yıllarda Verimli Bakım olgusu gelişme göstermiştir. Bu gelişme beraberinde; nleyici Bakım, Güvenilirlik Mühendisliği, Bakım Mühendisliği, Mühendislik Ekonomisi olgularını da gündeme getirir. Tüm alışanların toplu ve bireysel katkıları ile Verimli Bakım'a bütünleşik bir sistem olarak ulaşma düşüncesi, Toplam retken Bakım (TPM) kavramını doğurmuştur.

TPM' nin iki amacı ve iki aşaması vardır : Amacı; sıfır arızaya ve sıfır duruşa ulaşmaktır. Duruşlar ve arızalar elimine edildiğinde, maliyetler düşer, envanter en küçüklenir ve sonuç olarak insan produktivitesi artar. Aşamaları ise; birinci aşama “Mükemmel Fabrika” aşaması, ikinci aşama ise; müşteri ve çalışanların memnuniyetine yönelik zaman ve maliyet yönetimi, pazarlama, kıyaslama(benchmarking)'dir.

TPM uygulaması ile ödül kazanmış 200 şirketin yer aldığı ve JIPM tarafından yayınlanan sonuçlar şöyledir [3] ;

Üretim verimliliğinde artış1.5 kat
Arızalarda azalma1/100-1/150
Iskartalarda azalma%90
İş kazalarında azalma%100
Bakım maliyetlerinde azalma%30
Şikayetlerde azalma%75-%100
Stok seviyelerinde düşüş%50
Çevre kirliliğinin azaltılması%100
Çalışanların önerilerindeki artış10 Kat

TPM bir yönetim sistemidir. “Toplam” kavramı, toplam ekonomik verimliliği ve karlılığı, toplam planlı bakım ve katılımcılığı içermektedir. Kurumların üst yönetimi tarafından belirlenen hedefler ve öncelikler doğrultusunda ekipman kullanımında en yüksek verimi sağlamayı hedefler. TPM, kuruluş içinde üst yönetimden başlayarak tüm çalışanların desteğini ve katılımcılığını gerektirir, kapsamlı bir bakım sistemi oluşturur,üretimle ilgili değişik departmanların otonom gruplar halinde çalışmasını sağlar.

2.1 TPM'in Tanımı Ve Özellikleri

TPM' yi şu şekilde tanımlamak mümkündür;

TPM; İnsan ile makinanın bir uyum içerisinde çalıştırılıp kaynakların en optimum şekilde kullanılmasını sağlayan bir sistemdir.

TPM; Katılımın “ gerçek saha- gerçek iş” başında sağlanmasını kayıpların azalarak “sıfır hata”, “sıfır kaza”, “sıfır arıza”ya yaklaşmasını imalatın tüm aşamalarında organize eden bir sistemdir.

TPM; Katılımdır, uygulamadır, birim maliyetin düşürülmesidir, firmanın rekabet gücünün artmasıdır.

T. “Total” (Toplam) Genel Müdürdən hat işçisine kadar çalışan herkesin katılımının sağlanmasını, yatay ve dikey grupların oluşturulmasını, gerçek sahada gerçek işlerin yürütülmesini, üretim yapan makinaların operatorle bütünleşmesini simgeler.

P. “Productive” (Üretken) üretime katkıda bulunan tüm ekipmanın “sıfır” hatayı üretecek şekilde “mühendislik bölümü, imalat bölümü ve bakım bölümünün” katılımıyla iyileştirilmesi, tasarlanması, uygulanması ekipmanın maksimum verimde çalıştırılmasını simgeler.

M. “Maintenance” (Bakım) çalışmakta olan bir ekipmanın çalışıyor durumunu muhafaza etmesi, ekipman kötüleşmelerin önlenmesi ve makina operatörlerinin makinanın genel bakımını yapması (özerk bakım) bakım personelinin ise uzmanlık gerektiren konularda eğitilip yüksek bilgi ve beceri kazanması, iyileştirme ekiplerinde çalışması ve yapılacak işlerin iyi bir yönetimle gerçekleştirilmesini simgeler. [4]

Özelliği ;

- Ekonomik etkinlik
- Toplam sistem
- Otonom bakım (Küçük grup aktiviteleri)

TPM’in gereklilikleri ise ;

- Sistematiiklik,
- Sabırlı ve ısrarcı olmak,

- Tüm hareketlerde israf odaklılık,
- Kişisel disiplin,
- Yalınlık (sadelik),
- Sürekli gelişme,
- İşbirlikçilik

TPM, klasik anlamda diktatör tipi yönetim emir ve kontrole dayanmaktadır. Bu tarza göre kısa bir süre için yüksek üretkenlik sağlanabilir. Ancak güvenilirlik azaldığı gibi uzun süreli üretimde üretkenlikte de düşüş olur. Bunu önlemek için tüm çalışanların katıldığı yönetim tarzı benimsenmelidir. Grup kendi kendine karar verip kontrol eden bir yapıda çalışmalıdır. Bu sayede üretkenlikte devamlı artış sağlanır ve güvenilirlik de buna paralel olarak artar.

TPM, insan kaynaklarını ve ekipmanı geliştirerek şirket kültürünü değiştirir. İnsan kaynakları eğitim ve sorumluluklar verilerek geliştirilir. Bunu yapabilmek için çalışanların da bazı yeteneklere sahip olması gereklidir. Operatörler otonom bakım, bakımçılar yüksek kalitede bakım yapabilir olmalı ve mühendislik grubu da bakım gerektirmeyen ekipman planı yapabilmelidir. İnsan kaynakları geliştirilirken ekipman da geliştirilir. Ekipman performansı artırılarak etkinlik artırılır. Yeni ekipman tasarımında LCC (Life Cycle Cost – Üretim Sisteminin Ömür Döngüsü) düşüncesi oluşturulur .

2.1.1 TPM' in Hedefleri

1.Üretim sisteminin maksimum verimliliğini gerçekleştirebilmek için bir birlik kültürünün oluşmasını hedefler.

2.İşletmelerdeki imalat ekipmanlarında;

-Sıfır Hata,

-Sıfır Arıza,

-Sıfır Kaza

Hedeflerine ulaşmak için; değişken kayıplarının önlenmesi ve kontrol altına alınmasına yönelik bir sistem kurar.

3.Üretimin, geliştiriminin, satışın ve yönetimin tüm durumlarına uygulanır.

4.Şirket genelinde tüm çalışanları kapsar.

5.Şirket genelinde küçük grup çalışmaları vasıtasıyla sıfır kayıp seviyesini gerçekleştirir. [5]

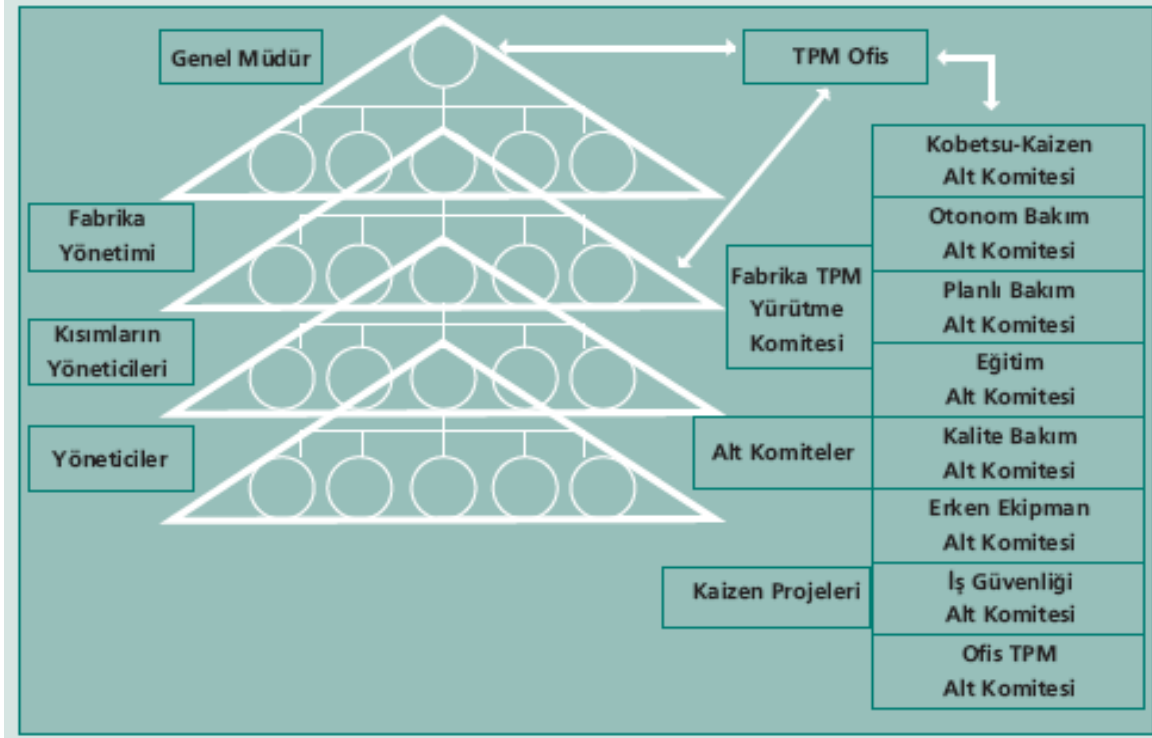
Operatörlerin sorumlulukları şunlardır;

- Günlük kontrol,
- Basit yağlama işleri,
- Küçük bakımları yapmak,
- Önemli arızaların habercisi olan anormal durumları (ses, ısınma, titreşim vb.) anlayıp bakım grubunu zamanında çağırmak.

2.1.2 TPM Gelişiminin 5 Prensibi

1. Etkin üretkenliğin sağlanması için sistem kurulması,
 - a. Kobetsu-Kaizen
 - b. Otonom Bakım
 - c. Planlı Bakım
 - d. Operatör ve Bakımcıların Eğitimi
2. Yeni ürün ve ekipman için akış kontrol sisteminin kurulması,
3. Kalitede bakım sisteminin kurulması,
4. Ofis TPM,
5. Güvenlik, hijyen.

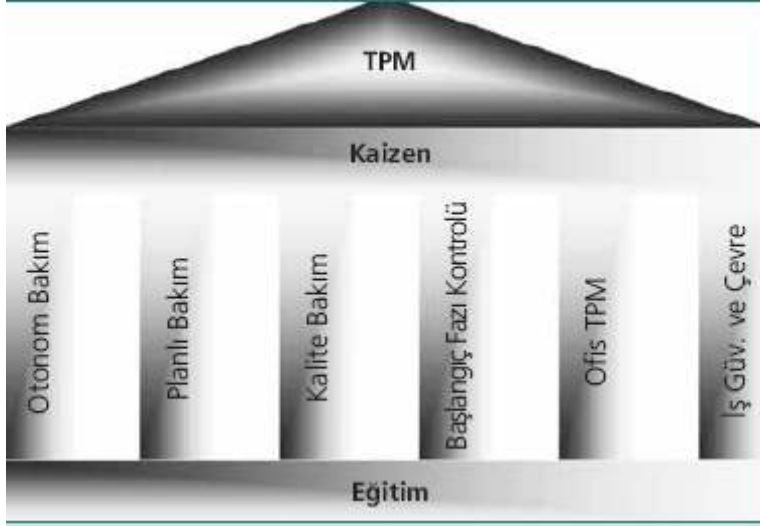
TPM aktiviteleri sadece ekipman ile ilgili kişiler tarafından değil ilişkili tüm departmanlardaki çalışanlar tarafından yapılmalıdır. Yapılacak çalışmalar tüm ekip çalışanları tarafından paylaşılmalıdır.



Şekil 2.1 TPM Organizasyon Şeması [6]

2.1.3. TPM Yapı Taşları (Pillarlar)

TPM uygulama modelinde hazırlık safhasından sonraki adımlarda yer alan konular TPM'in temel yapı taşlarını oluşturmaktadır. Başarılı bir TPM uygulaması tıpkı bir evin inşaatı gibi bu yapı taşlarının doğru bir şekilde ve sağlıklı olarak yanyana getirilmesi ile gerçekleştirilir.



Şekil 2.2 TPM Yapısı [7]

Şekilde görüldüğü gibi eğitim, TPM uygulamalarının temelini oluşturmaktadır. TPM çalışanların her birinin operatörden üst yönetime yetkin ve şirket misyon ve vizyonu doğrultusunda ortak hareket edebilen bireyler olmasını istediğinden sistematik bir eğitime çok önem verilmesini gerekli kılar. Diğer tüm yapı taşlarının amaçları ve içerikleri aşağıdaki bölümlerde anlatılmaktadır. Unutulmamalıdır ki TPM çatısının sağlıklı bir şekilde kurulabilmesi için tüm yapı taşlarına gereken önem verilmelidir. Bir tek yapı taşının diğerlerinden zayıf olması binanın tümünü tehlikeye sokacaktır.

2.2 Kaizen (Sürekli İyileştirme)

Sanayi içinde barındırdığı çeşitli süreçler içeren bir bütündür. Girdiler bir takım süreçlerle ürünlere dönüştürülür. İngilizce baş harfleri M harfi ile başlayan ve 5M kaynakları olarak adlandırılan girdiler; malzeme, insan gücü, makine, yönetim ve finans olarak sıralanabilir. Günümüzde, bu girdilere ek olarak motivasyon da bir kaynak olarak ele alınıp, girdiler bazen 6M girdileri olarak da adlandırılmaktadır.

Günümüz rekabet ortamında, girdilerin ürün haline dönüşürken hangi sürecin ne kadar iyi yürütüldüğü çok önem taşır. Çünkü müşteriler, sanayi ürününü taşıdığı “Kalite, maliyet, teslim süresi” olarak bilinen “değer kriterleri”ni ürünün bedeli ile karşılaştırıp satın alırlar.[8]

Üreticilerin, ürünlerini daha çok satabilmeleri için çıktılardaki değer kriterlerini arttırması gerekir. Bu artış ürün tasarımı, üretim süreçleri (prosesleri) ve 5M faktörleri göz önüne alınarak mümkün olabilir.

Müşteri açısından yaratılan fark rekabeti belirler. Bu sebeple, fark iyileşmede, hızlı iyileşmede ve müşterinin değer kriterlerini daha çok tatmin ederek rekabet gücü elde etmededir. Japonca'da “Kai” ve “Zen” sözcüklerinden oluşan Kaizen “Sürekli İyileştirme” anlamını taşır. Kaizenlerin ana fikri ekip veya bireysel olarak, insanın çevresinde, sorumlu olduğu alanlarda sürekli küçük iyileşmeleri bulması ve uygulamasıdır. Japonlar üretimde uyguladıkları Kaizen (sürekli iyileştirme) anlayışı sayesinde kendilerine önemli bir rekabet gücü kazandırmışlar ve daha rekabetçi ürünler yaparak dünya piyasasında uzun süre endüstriyel hakimiyetlerini sürdürmüşler ve halen de sürdürmektedirler.

Biraz kaynak kısıtı, biraz da kültürel yapıları gereği, Kaizen metodolojileri Japon sanayisinde çok kolay ve yaygın olarak kullanılmıştır. Japonların takım çalışmasına yatkın olmaları, sürekli iyi niyetle Kaizen üretmeleri, Kaizen'i üretimde de, ürünlerde de yapıyor olmaları onlara ayrı bir üstünlük getirmiştir. Japonlar iyileşmeye yönelik bu değişim kültürünü 1950'lerden bu yana sanayiye kazandırdıkları için sürekli gelişerek verimlerini arttırmışlardır.

Sanayide, süreçlerin yanı sıra çıktılar da fark yaratmada önem taşımaktadır. Bunlar, kalite- maliyet- teslim süresi de dikkate alınarak üretilen çıktılardır. Her gün yapılan Kaizen faaliyetleri ile önemli ölçüde endüstri süreçlerini iyileştirmek mümkündür. Dolayısıyla, maliyet düşer, kalite artar ve teslim süresi kısalmır. Bu nedenle Kaizen, süreçlerdeki küçük iyileşmeler ile çıktılardaki değer kriterlerini geliştiren faaliyetlerdir. Japon Human Resources tarafından tanımlanan şekliyle Kaizen, bir amaç doğrultusunda iyileşmeler bütünü veya kullanılan bir metodun değiştirilmesidir. Diğer bir tanım, küçük değişikliklerin birikimiyle yapılan iyileşmelerdir. Dolayısıyla Kaizen herkesin yapabileceği, o gün yapabileceği işi en iyi bilen ve tezgahın başında çalışan kişi tarafından yapılabilecek iyileşmeler ve bunların çok sayıda yapılarak sürekli kılınmasıdır.

Sanayi açısından Kaizen, bir amaç doğrultusunda üretim metodunda süreç ya da süreçlerinde ürün özelliklerinde küçük değişiklikler yapılarak çıktılarda sağlanan iyileşmelerdir.

Örneğin, konfeksiyon sanayiinde çalışan bir operatörün yaptığı bir iyileşme bir zaman tasarrufu sağlayabilir. Operatörün kendi sürecinde, süreçlerinde, yani üretim metodunda yaptığı bu küçük iyileşme bir kaizen'dir. Kaizenler ürün özelliklerinde de yapılabilir. Ağırlıklı olarak, süreçlere yapılan kaizenler daha etkilidir. Süreçler bir üretimde çok tekrarlandığında yüzlerce, binlerce defa tekrar edilen bir işlemde küçük iyileşmelerin toplamı ile yüksek bir iyileşme seviyesi elde edilebilir.

Örneğin bir operatörün yaptığı Kaizen ile kendi sürecinde %7'lik bir iyileştirme yaptığını varsayalım. Bu durumda 1000 adetlik bir üretim partisinde 70 parçalık fazla ürün elde etmek anlamına gelir.

Kaizenlerin mütevazı, mevcut bütçeyle, mevcut personelle, mevcut donanım ve makinelerle yapılabilir. Hiçbir çalışma ortamının, hiçbir fabrika ortamının sonsuz kaynağı olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. İşte kaizenler, bu atmosferde yapılan iyileşmelerdir. Kaizen kavramını daha iyi tarif edebilmek için ne olmadığını da anlatmak yararlıdır. Kaizen, yenilik değildir. Kaizen ve yenilik farklı iki kavramdır.

Yenilik ya da “inovasyon”, kısa vadeli sıçrama şeklinde yapılan ve büyük adımlarla gerçekleşen değişikliklerdir. Yenilik (inovasyon) birçok durumda farklı bilgiler, teknoloji, ciddi bir yatırım ve ön çalışma gerektirir. Halbuki kaizenler; daha mütevazı ve küçüktür. Yapılan değişiklikler küçük adımlarla ve uzun sürede toplanarak önemli bir sonuca varılır. Çalışanlar veya küçük ekipler tarafından küçük yatırımlar ile yapılabilirler. Sonuçta kaizen basit, pratik, çok fazla kaynak ayrılmadan ve genelde eldeki kaynaklarla gerçekleştirilebilen iyileşmelerdir.

Fabrikalarda rekabet gücünün artması için üretim süreçlerinin, üretim araçlarının ve üretilen ürünlerin sürekli iyileşmesi gereklidir. Bu iyileşmelerle kalitede artış, maliyet ve teslim süresinde azalma sağlanarak müşterilere satılan ürüne değer katılmış olur. Ne kadar çok sayıda küçük iyileşmeler yaparsak, toplamda elde edilen iyileşme dolayısı ile müşteriye yansıyan değer artar. Özetle fabrikalarda tüm mühendislik bölümlerini, verim artırmalarını yöneten kişileri, yöneticileri, şefleri, müdürleri, oşs çalışanlarının yanı sıra tüm üretim sahası çalışanları gibi geniş bir çalışan kitlesini bu iyileşmelere katabilsek, o zaman sanayide daha büyük bir verim artışı ve ürünlerde önemli gelişmeler sağlamak mümkün olur. Bu nedenle, sanayide sürekli gelişme açısından, geniş çalışan kitlelerinin yapacağı Kaizenler önem taşır. Kaizen için gereklilik hissetmek, mevcut durumu belirlemek, iyileşmeyi yaratmak, uygulamak ve uygulama sonrası iyileşmiş durumu da belirlemek gerekir. Diğer taraftan kaizenlerin kendi içinde farklı çeşitleri vardır: Birinci çeşit küçük küçük iyileşmeler, 'Önce- Sonra Kaizenleri'dir. Bu tip kaizenler bireysel fikirler ve çalışmalar ile bir üretim metodunu ya da bir ürünün iyileştirilmesini içerir.

İkinci çeşit mühendislik ofislerinin ürün ve süreçte yarattığı inovasyon ile küçük kaizenlerin birleştirilmesi sonucu doğan kombinasyonlardır. '5S Kaizenler' ise, kişi ve / veya grup aktiviteleri ile çalışma ortamının iyileştirilmesi, çalışma ortamında hızlı üretim süreci doğuracak düzenlemelerin yapılması demektir. Kobetsu kaizen ise ekipler tarafından yapılan planlı, ölçülü, süreli kaizenlerdir.

2.2.1 Önce-Sonra Kaizenleri

En basit kaizenler 'Önce-Sonra Kaizenleri'dir. Bir durumu, bu durumdaki olumsuzlukları görüp, kaydettikten sonra yapılan kaizen ile doğan yeni iyi durumun kaydedilmesi ve karşılaştırılması ile yapılır.

2.2.2 Kaizen Örnekleri

Kaizen birçok alanda yapılabilir. Çevremize baktığımızda evlerde, ofislerde, işyerlerinde, fabrika süreçlerinde, araçlarda ve ürünlerde birçok yapılmış Kaizen uygulaması görebiliriz, Kaizen fırsatı yakalayabiliriz, Kaizen yapabiliriz.

Çevremizde Kaizen: Kapıların kolay kullanılabilir hale dönüştürülmesi, bir Kaizen sonucunun uygulaması ile hayata geçirilebilir.

Üründe Kaizen: Üretilen ürünler hergün fabrikaların, atölyelerin süreçleri içinde oluşmakta, yüzlerce, binlerce, on binlerce yapılmaktadır. Fabrika çalışanları, her an değişik bir üretim aşamasında olan ürünü görüyorlar. Bu ürünlere müşterinin değer kriterleri (kalite, maliyet, teslim süresi) açısından bakılırsa bu kriterlerde birçok çalışan birçok iyileşme yaparsa; toplamda kaliteyi önemli ölçüde artırmak, fonksiyonları zenginleştirmek, maliyeti ve teslim süresini düşürmek mümkündür.

2.2.3. TPM' de Her Prensibin Rolü

TPM aktiviteleri, ekipman planlama ve bakım elemanlarını kapsayan ilişkili departmanlardan insanların katıldığı küçük gruplar tarafından uygulanmalıdır. Ayrıca, şirketler ilişkide bulunduğu şirketleri üretim etkinliğini artırma amacıyla TPM aktivitelerine katmalıdır.

Görevler ekipmanla ilişkili olan tüm üretim departmanları arasında paylaşılmalıdır. İlk olarak Kaizen aktivitelerini yerine getirmede yöneticiler veya yönetici yardımcıları aktivitelere liderlik etmelidirler. Bu aktivite "Kobetsu-Kaizen" veya "Hinshitsu-Hozen" olarak adlandırılır.

Bakım departmanı planlı bakımın gerçekleştirilmesi için bir sistem kurmalıdır. Böylece üretim ekipman arızaları ile engellenmeyecektir. Bu “Planlı Bakım” olarak adlandırılır. Periyodik denetlemelerle bakım için zamanlama önceden belirtilir.

Buna ek olarak, planlama departmanları, üretim mühendisliği gibi, “Bakım Önleme Sistemi” ni tanıtmak için çalışmalıdırlar. Ekipmanın kurulmasından sonra erken safhalarda sağlam üretim operasyonunu gerçekleştirmesini sağlamalı, bakım gerektirmeyecek ekipmanı tasarlamak kadar iyi çalışmalarda bulunmalıdırlar.

Operatörler otonom bakımın yerine getirilmesinden sorumludurlar. Operatörler, ekipmanın fiziksel kontrolünü gerçekleştirmeli, günlük kontrollerini yapmalı, ilgili bölümlere destek sağlamalıdır.

Şirket kültürünü yeniden yapılandırmayı hedefleyen TPM’ nin amacı, ekipman operasyonları ile meşgul olan insanların TPM’ nin 5 prensibini tanıtmada görevlerini yerine getirmelerini ve operatörlerin becerilerini artırarak kendi görevlerini yerine getirmelerini sağlamaktır.

2.3 Toplam Ekipman Etkinliği

Üretim gerçekleştirilmenin asıl amacı; girdileri minimize, çıktıları ise maksimize ederek verimliliği arttırmaktır. Burada çıktı olarak kastedilen, ürün miktarlarının yanı sıra kalitenin artırılması, maliyetlerin düşürülmesi ve teslim tarihinin gerçekleştirilmesi gibi kavramlardır. Tüm bunlar çalışma ortamında sağlıklı ve sürekli koşullar içinde çalışanların artan moralleriyle gerçekleştirilmelidir.

Üretimde girdi ve çıktı arasındaki ilişki, bir matris düzeninde şekil 2.3.deki gibi gösterilebilir. İşgücü, makine ve malzeme girdiyi teşkil etmektedir. Çıktının teşekkül ettiği birimler ise; PQCDSM-üretim (P), kalite (Q), maliyet (C), teslimat (D), iş güvenliği(S), hijyen ve çevresel şartlar (M)'dir. Sağ kolondaki birimler, çıktı faktörünü düzenleyici metodları içermektedir. Girdi faktörleri ise, işgücünün uygun kullanımı, fabrika mühendislik ve bakım, envanter kontrolleri ile tespit edilirler.[9]

Girdi / Çıktı	Parasal			Teknik
	İşgücü	Makina	Malzeme	
Üretim	→	→	→	Üretim Kontrolü
Kalite	→	→	→	Kalite Kontrolü
Maliyet	→	→	→	Maliyet Kontrolü
Sevkiyat	→	→	→	Sevkiyat Kontrolü
İş Güvenliği	→	→	→	İş Güvenliği ve Çevre Koruma
Moral	→	→	→	İnsan İlişkileri
Çıktı / Metod	İşgücünün Yönetimi	Üretim Mühendisliği ve Bakım	Malzeme Stok Kontrolü	$\frac{\text{Çıktı}}{\text{Girdi}} = \text{Verim}$ Fabrika çalışmalarında en üst hedef

Şekil 2.3 Üretimde girdi ile çıktı arasındaki ilişki [10]

Şekil 2.3.de görülen bu matris, işletmelerdeki mühendislik ve bakımın tüm çıktı faktörleri (PQCDSM) ile direkt ilişkilerini açıkça ortaya koymaktadır. Artan otomasyon ve robotlaşma, üretim prosesinin yükünü işçilerden makinalara doğru kaydırmakta ve dolayısıyla da çıktıların kontrolleri üzerinde ekipmanın oynadığı rol artmaktadır.

TPM, bir ekipmanın/prosesin genel çalışma koşullarını en iyi düzeye getirebilmek için süreç öncesinde, sırasında ve sonrasında oluşabilecek kayıpları sıfır düzeyine getirmeye çalışır. Üretim sürecinde oluşan on altı büyük kayıp; iş gücü kayıplarını, enerji ve malzeme kayıplarını da içermektedir.

TPM'in hedefi; ekipman verimliliği ve maksimum ekipman çıktıları (PQCDSM) sağlamaktır. TPM, optimal ekipman şartlarına ulaşılmasını ve bu ulaşılan noktanın da ömür boyu sürdürülmesini amaçlamaktadır (PQCDSM). Bunu gerçekleştirirken

de beklenmeyen arızalar, hız kayıpları ve prosesteki kalite hataları gibi etmenlerin yok edilmesine çalışılır.

Toplam etkinlik, ekonomik verimliliği de kapsamaktadır. Ekonomik verimliliğe, ekipmanın ömrü boyunca optimal şartlarını sürdürebilmek için, neden olduğu maliyetlerin minimize edilmesi ile ulaşılır. Diğer bir ifadeyle ise ömür boyu maliyetin (Life Cycle Cost) minimize edilmesidir. Ömür boyu maliyetin (ömür çevrim maliyeti) optimum seviyede sınırlanabilmesi için, ekipman bakıma girmelidir. [4]

Ekipman etkinliğini arttırmanın temel prensipleri;

Bunun için;

- 1)Detaylı ve doğru ölçümlerin yapılması,
- 2)Kesin önceliklerin belirlenmesi,
- 3)Açık hedeflerin tayini gereklidir.

2.4.Kayıp Sebepleri Yapısı

Kayıp sebepleri temel olarak iki kategoriye ayrılmaktadır:

- Aniden ortaya çıkan kayıplar,
- Kronik tip kayıplar

Tesadüfi kayıplar (Sporadic Losses), ani, dramatik veya beklenmeyen ekipman hatalarıdır; genellikle açık ve düzeltilmesi kolaydır.

Sıklıkla gerçekleşen veya kronik küçük arızalar (Chronic Breakdowns) ise; düzeltmek için yapılan birkaç başarısız denemeden sonra genellikle göz ardı edilirler. Bunun sebebi ise; tesadüfi kayıpların, toplam kayıpların büyük bir yüzdesini oluşturması ve fabrika personelinin bunlardan kaçınma yollarını araştırmak için, uzun zaman ve efor sarfetmesidir. Nitekim, bu tür kayıpları yok etmek oldukça zordur. Genellikle; bakım, ekipman güvenilirliğini arttırıcı çalışmalara dayandırılmalı ve problem oluştuğunda, bunları düzeltmek için gerekli olan zamanı minimize eden yolları bulmalıdır.

Aniden ortaya çıkan kayıp tek bir sebebe dayanabilir. Kronik kayıp ise birden fazla sebepten kaynaklandığı gibi bileşik sebeplerden de ortaya çıkabilir. Kronik kayıplar; sebepleri direkt analiz etmek yerine bütün faktörler incelenerek ve bütün kötü sebeplerin ölçümü yapılarak incelenerek ortadan kaldırılmalıdır. Çizelge 2.1.de kayıp sebeplerinin yapısı şematik olarak açıklanmıştır.

2.4.1 Altı Büyük Kayıp

Altı büyük kayıp şu şekilde sıralanabilir:

Zaman kayıpları:

1-Ekipman hatası (arızalar)

2-Set-up(kurma) ve ayar (çap değişimi vs.)

Hız kayıpları:

3-Aylak zamanlar ve küçük duruşlar (sensörlerin anormal çalışması, konveyörlerde malzeme yığılması vs.)

4-Hız düşürme (ekipmanın tasarlanan ve gerçekleşen hızı arasındaki farklılık)

Hatalar:

5-Proses hataları (onarılabilir kalite hataları nedeniyle)

6-Üretim düşüşleri (üretimdeki değişimleri azaltmak için makine ayarları) [11]

Çizelge 2.1 Kayıp Sebepleri Yapısı

Tek Sebep:	Tek bir sebep ve sonuçtan sorumlu
Birden Fazla Sebep:	Bir tane sonuç var ama her seferinde değişen birden fazla sebep var.
Bileşik Sebep:	Tek başına bir sebep sonucu doğurmuyor. Farklı sebeplerin bir araya gelmesi sorunu doğuruyor. Sebep kombinasyonları her seferinde değişir.
*Kronik kayıplar, sebepleri direkt analiz etmek yerine bütün faktörler incelenerek ve bütün kötü sebeplerin ölçümü yapılarak ortadan kaldırılmalıdır.	

2.4.2 Arıza Kayıpları (Breakdown Losses)

Arıza kayıpları, iki tip kayıp şeklinde ortaya çıkar:

- 1-Zaman kayıpları: Üretkenlik azaldığında,
- 2-Kalite kayıpları: Kusurlu ürünlerde meydana gelir.

Ekipman arızaları ekipmanın tamamen duruşuna yol açan arızalar olduğu gibi, hız kaybı, ayar zorlukları, sık küçük duruşlar gibi durumlara yol açan arızalarda olabilir. Ekipman arızalarının önlenmesinde çok kesin ekipman hatalarının giderilmesi kadar, önemsiz gibi görünen, gözden kaçan, gizli kalabilen hataların da giderilmesi gerekir.

Ekipman hatalarının gizli kalabilmesinin sebepleri şunlardır :

- Fiziki sebepler : Yetersiz kontrol; kötü ekipman yerleşimi veya montajı, tozlanma ve kirlenme,
- Psikolojik sebepler; görünen hatalara bilinçli olarak önem vermemek; problemi olduğundan küçük tahmin etmek; semptomları ortada olmasına rağmen problemi görmemek.

Her türlü hatanın ortaya çıkartılıp, giderilmesinde aşağıdaki beş önlem esas kabul edilebilir;

- 1-Tasarım zayıflıklarının düzeltilmesi,
- 2-Doğru işletme prosedürlerine uyulması
- 3-Standart fonksiyonlardan sapmaların giderilmesi
- 4-İyi tanımlanmış bazı temel şartların (temizleme, yağlama, sıkılama gibi) sürdürülmesi,

5-Operatör ve bakım becerilerinin geliştirilmesi

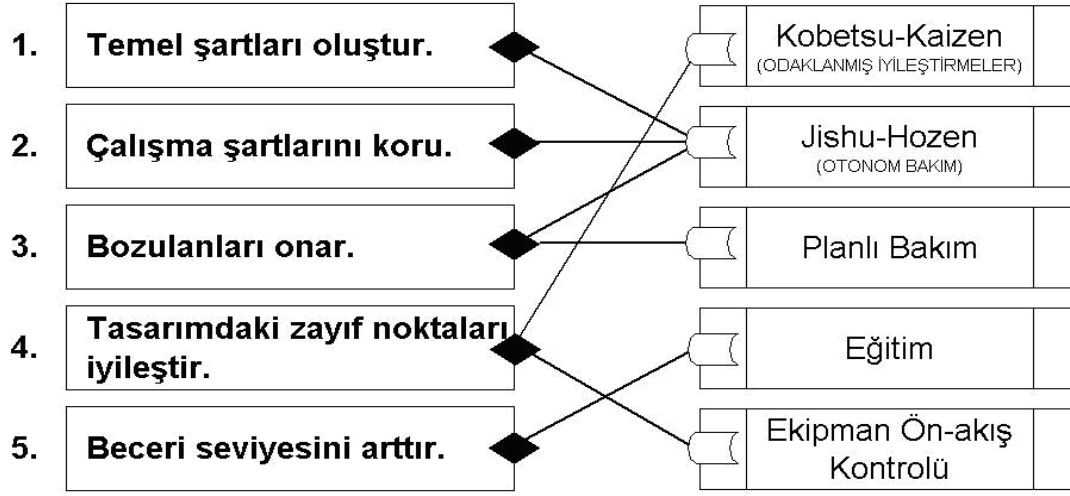
Ekipman verimliliğini maksimize etmek için; arıza kayıplarının sıfıra indirilmesi gereklidir. Bu ise, eğer arızaların kaçınılmaz olduğu yolundaki genel kanı değişirse; fazla bir efor harcamadan veya yatırım yapmadan sağlanabilir. Fakat bazen başlangıçta bir miktar yatırım gerekli olabilir.

Çizelge 2.2 Gizli Arızaların Sınıflandırılması

Fiziksel Gizli Arızalar	Fiziksel olarak çıplak gözle görülemedikleri için gizli kalmış arızalar. (1) Ekipman sökülmediği sürece gözle görülemeyen bozukluklar (2) Ekipman montaj pozisyonu nedeniyle gözle fark edilemeyen bozukluklar (3) Ağır şekilde toz toprak kaplı oldukları için ihmal edilen bozukluklar
Psikolojik Gizli Arızalar	Operatör veya bakımcıların eğitimsizlik ve bilgisizlik nedeniyle fark edemediği arızalar (1) Operatör veya bakımcının umursamazlığı (2) Operatör veya bakımcının bozukluk tiplerini tanımaması (3) Operatör veya bakımcının kendi kararları ile sorunu ihmal etmeleri

Çizelge 2.3 Sıfır Arızaya Ulaşma Aşamaları

Sıfır Arızaya Ulaşmak İçin Dört Aşama				
Aşama	1. Aşama	2. Aşama	3. Aşama	4. Aşama
Konu	Arıza dağılım frekansının düzensizliğini azaltma	Parça ömrünü uzatma	Bozulan kısımları onararak orijinal hale getirmek	Parça ömrünü kestirmek
Temel Faaliyetler	<p>*Uzun zamandır müdahale edilmeyen kötüleşmenin onarılarak orijinal hale getirilmesi.</p> <p>-Gizli bozuklukların ele alınması.</p> <p>*Cebri kötüleşmenin önlenmesi.</p> <p>-Temel şartları belirle.</p> <p>-Üretim şartlarına uyum ve takip.</p>	<p>*Tasarımdaki zayıf noktaların iyileştirilmesi.</p> <p>-Mukavemet ve hassasiyet iyileştirme,</p> <p>-Şartlara uyan parçaları belirleme,</p> <p>-Aşırı yüklemeye zayıflığını iyileştirmek.</p> <p>*Rasgele arızaları önlemek.</p> <p>-Üretim ve bakım becerilerini geliştirmek,</p> <p>Üretim hatalarına karşı önlem almak.</p> <p>*Harici kötüleşmenin restorasyonu.</p>	<p>*Kötüleşmenin zamanbazlı bakımının yapılması.</p> <p>-Parça ömrünü belirle.</p> <p>-Zamanbazlı gözlem ve test standartları,</p> <p>-Zaman bazlı değişim kriteri,</p> <p>-Bakım yapılabiliğinin geliştirilmesi.</p> <p>*Ekipman içindeki anormalliğin belirtilerini duygularla algılama.</p> <p>-Belirti veren ve verme yeni ekipmanlar,</p> <p>-Anormallik olmadan görülebilecek işaretler,</p> <p>-Belirtileri nasıl anlayabiliriz.</p>	<p>*Teşhis teknikleriyle parça ömrünü belirleme.</p> <p>*Arıza analiz teknikleri.</p> <p>-Çatlak düzlem analizi,</p> <p>-Malzeme yorulması analizi,</p> <p>-Dişli yüzey analizi,</p> <p>-Daha uzun servis süresi önlemleri,</p> <p>-Servis süresi belirlemekten kötüleşmenin zamanbazlı restorasyonuna geçiş.</p>



Şekil 2.4 Sıfır Arızanın 5 Önemi ve Toplam Üretken Bakımın 5 Sütunu [12]

2.4.3 Ölçü Değişimi Ve Ayar Kayıpları (Set-up and adjustment down time)

Bir ekipman üzerinde bir ürünün üretiminin tamamlandığı andan, diğer bir ürünün standart kalitede üretiminin başladığı ana kadar geçen zaman o ekipmanın "kurma ve ayar" zamanı olarak görülebilir (Örnek : Sürekli dökümler kalıp ebat değişimi, Haddehaneler A,B,C programları vb.) .

Set-up (kurulum) ve ayar kayıpları iki şekilde ortaya çıkmaktadır:

1-Duruş zamanlarından,

2-Bir mamulün üretiminin bitişi ile diğer bir mamulün üretimine başlanması için ekipmanın ayarlanması esnasında oluşan hatalı ürünlerden meydana gelir.

Birçok işletme, set-up zamanlarını 10 dakikanın altına düşürmeye çalışmaktadır. Set-up zamanı; Makinanın çalıştığı zamanki faaliyetler (internal set-up time) ile makinanın durduğu zamanki faaliyetlerin (external set-up time) kesin çizgilerle birbirinden ayrılması, Set-up zamanının minimize edilmesiyle, fark edilir bir miktarda azalır.Kurma ve ayar faaliyetlerinin bileşenlerinin ağırlıkları örnek olarak Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4.Kurma ve ayar faaliyetlerinin bileşenlerinin ağırlıkları

FAALİYET	%
Kalıpların ve aparatların sökülmesi	%15
Temizlik	%5
Kalıpların ve aparatların hazırlanıp, yerleştirilmesi	%20
Merkezleme, ölçme	%10
Deneme üretimi ve ayarlar	%50

Kurma ve ayar zamanlarını olumlu yönde etkileyebilmek ve bu kayıpları azaltabilmek için sistematik bir araştırma yapmak ve çalışmalarını standartlaştırmak gerekir. Bunun için aşağıda sıralanan değişkenleri iyi anlamak, aralarındaki ilişkileri iyi tespit etmek ve incelemek şarttır. Bunlar;

- İş Metodları (Yöntemler, operatörün fiziki imkanları ve becerileri),
- Kalıplar ve Aparatlar (Fiziki şekiller, mekanizmaları, doğruluk düzeyleri),
- Doğruluk (Gereken doğruluk düzeyi, doğruluk ve ayar ilişkisi),
- Teknik Problemler (Gerekli teknik iyileştirmeler),
- Yönetim ve Denetim (değerlendirme gereksinimleri).

Metodlarda, yöntemlerde, kullanılan aparatlarda, yapılan ayarlarda bir rast gelelik varsa veya operatöre göre değişiyorsa, kurma ve ayarları kontrol etmek, azaltmak zorlaşacaktır ve hatta bu durum zaman içinde üretim problemlerine yol açacaktır.

Kurma (setup) zamanının azaltılmasında ilk adım, ekipman çalışırken yapılabilecek, harici kurma olarak adlandırılan faaliyetlerin icrası için ekipmanın durmasını gerektiren ve dahili kurma olarak tanımlanan faaliyetlerden ayrılmasıdır.

Harici Kurma : Kalıpların ve aparatların önceden hazırlanması, çalışma alanının ve stok yerlerinin hazırlanması, kısmi setup ve ön ısıtmadır. Bu çalışmalar planlanarak önceden yapılmalıdır.

Dahili Kurma : Aparat değiştirme, kalıp değiştirme, merkezleme, ince ayarlar gibi faaliyetlerdir. Yedek parça, malzeme, alet-edevat vb. malzemelerin önceden hazır

olması ve düzenli bir iş akışı planı bulunması çok büyük zaman tasarrufları sağlayacaktır. Bazen, harici kurma olarak nitelenebilecek faaliyetler dahili kurma faaliyetleri arasına gizlenir. Bunları tespit için aşağıdaki 5 soruya yanıt verilmelidir:

1. Önceden yapılabilecek hazırlıklar nelerdir?
2. Hangi gereçler hazır tutulmalıdır?
3. Lazım olan gereçler ve aparatlar, kalıplar iyi durumda mıdır?
4. Sökülen kalıplar ve aparatlar nereye konacaktır, nasıl taşınacaktır?
5. Gerekli olan parçalar ve/veya yedekler var mıdır kaç adet gereklidir?

Ekipmanın duruş süresini en aza indirmeye yönelik olarak dahili kurmanın üç temel kuralı vardır :

- i) Parça ve gereç aranmaması
- ii) Gereksiz hareket edilmemesi
- iii) Yanlış parça veya gereç kullanılmaması

“Öte yandan, dahili kurma içerisindeki bazı faaliyetlerin modifiye edilerek kısmen veya tamamen harici kurma içine alınmaları mümkündür.” Bunun için kullanılabilir yöntemler şunlardır :

1. Ön Montaj;
2. Çok amaçlı aparatların geliştirilmesi;
3. Dahili kurma içerisindeki ayarların mümkün olduğunca önlenmesi

Dahili kurma içerisindeki faaliyetlerin hızlandırılması için :

1. Tespit mekanizmalarının basitleştirilmesi; hidrolik kenetleme mekanizmalarının adaptasyonu
2. Kolay monte edilen aparat ve kalıpların tasarımı, geliştirilmesi;
3. Birden fazla operatör kullanımı gerektiğinde, işlerin paralel yapılması, iş bölümünün bilinçli olması.

Ayar faaliyetleri temelde malzemelerin, parçaların, kalıpların doğru yerleştirilmesine, merkezlemeye ve ölçmeye yöneliktir. Zaman kayıplarının en aza indirilebilmesi için ayarların amaçlarının, metodlarının, sebeplerinin ve alternatiflerinin incelenmesi gerekir.

2.4.4 Aylak Zaman Ve Küçük Duruşlar (Idling and minor stoppages)

Küçük duruşlar, üretimin geçici olarak kesilmesi ve bir makinenin ürünler arasında boş kalmasıyla oluşur. Bu tür kesikli duruşlar, ekipman arızalarından açıkça ayrılır. Normal üretim akışı, basit olarak ekipman ayarlanması, sorunlu parçaların değiştirilmesiyle sağlanabilir.

Bunun gibi küçük problemlerin; robotlar, otomatik besleyiciler ve konveyörler gibi ekipmanlar dahil olduğunda, ekipman verimliliği üzerinde olumsuz bir etkisi vardır. Küçük duruşlar ve aylak zamana kolayca çare bulunabilirken, bunlar, saptanması güç olduğundan kolayca göz ardı edilirler. Bunun yanında, en çok dikkat çeken duruşlar da dahil olmak üzere, tüm küçük duruşların ölçülmesi çok zordur. Böylece; küçük duruşların ekipman verimliliğinde sebep olduğu kayıplar, belirsizliğini korur.

Boş kalma ve küçük duruşların önlenmesi için öncelikle bunların iyi tanımlanması, özelliklerinin ve sebeplerinin bilinmesi gerekir. Küçük duruşların en çok rastlanan sebebi ekipmanın (veya transfer hattının) aşırı yüklenmesi ile malzeme veya işlenen parçada kalite, şekil anormallikleridir. Boş kalmanın en sık rastlanan sebebi ise malzeme akışının durmasıdır. Burada transfer hattındaki gizli hatalar ve aksaklıklar ile duruşu hemen fark edecek sensörler önemlidir (otomasyon).

Boş kalma ve küçük duruşların sistematik bir şekilde üzerine gidilmeyip, süregelmelerinde aşağıdaki özellikler önemlidir:

- Fark edildiklerinde kolay giderilmeleri dolayısı ile operatörler ve bakım elemanları tarafından problem olarak görülmemeleri, hoş görülmesi;
- Oluşum zamanlarının ve sıklığının çok değişir olması;
- Oluşum yerlerinin çok değişir olması;
- Sebep oldukları kayıpların fark edilmemesi veya ölçülmemesi.

Boş kalma ve küçük duruşların önlenmesine yönelik olarak takip edilecek temel stratejiler şunlardır:

- Parça ve aparatlardaki küçük hataların giderilmesi,
- İyi tanımlanmış temel ekipman şartlarının sürdürülmesi,
- Doğru işletme prosedürlerinin gözden geçirilmesi,

- Optimal şartların tanımlanması,
- Tasarım zayıflıklarının düzeltilmesi.

“Sıfır küçük duruş” otomatik üretim için gerekli en önemli şarttır. Küçük duruşları azaltmak için, çalışma şartları sürekli gözden geçirilmeli ve bütün küçük duruşlar elemine edilmelidir.

2.4.5 Düşük Hız (Reduced speed)

Düşük hız kayıpları, ekipmanın dizayn hızı ile gerçek çalışma hızı arasındaki farkı ifade eder. Hız kayıpları, ekipman verimliliğini etkileyen en büyük etken olmasına ve dikkatle üzerinde durulması gerekmesine rağmen, genellikle ekipman işlemlerinde göz ardı edilirler.

Doğal olarak bu gibi kayıpları önlemenin yolu ekipmanı tasarım hızında çalıştırmaktır. Öte yandan, tasarım aşamasında belirlenen hızlara erişmekte pratik problemler bulunabilir; tasarım zayıflıkları, üretim hattındaki değişiklikler, ürün şekillerindeki değişiklikler (product mix) tasarım hızına erişmeyi fiilen imkansız kılabilir. Dolayısı ile, her ekipman ve her ürün tipi için bir “standard” hız belirlenmesi ve hız kaybı ölçümlerinde baz olarak, tasarım hızı yerine bu standard hızın kullanılması daha yaygın ve doğru bir uygulamadır. Ekipman hızının standart hıza arttırmada en sık karşılaşılan problemler şunlardır :

•*Muğlak Ekipman Özellikleri* : Tasarım aşamasında hedeflenen tasarım hızının açıkça belirtilmesi atlanmış olabilir. Bu durum ekipmanın doğal hızının ötesinde çalıştırılarak hızlı yıpranmasına, arızalara veya gereksiz yere çok yavaş çalıştırılarak hız kayıplarına yol açabilir. Bu durum eski veya kuruluş içi tasarlanmış ekipmanlarda daha sık görülür.

•*Geçmişte Yaşanan Kalite veya Mekanik Problemleri* : Geçmişte ortaya çıkmış ve çözülmemiş olan bazı kalite veya mekanik problemleri yüzünden ekipmanı standart hızında çalıştırmaktan kaçınma olabilir. Bu çözülmemiş problemler zaman içinde “çözümü imkansız” olarak kabul edilir ve gerçek sebeplerinin araştırılmasına çaba

gösterilmeyerek, düşük hız ile kifayet edilir. Ancak çoğu kez bu gibi problemler küçük hatalardan ortaya çıkmaktadır veya gelişen teknolojik imkanlar ve kontrol mekanizmaları ile rahatlıkla çözülebilecek konumdadır.

•*Hız artışının ortaya çıkardığı problemlerin yetersiz incelenmesi* : Bazen hız artışları ekipmanda mevcut bulunan ancak düşük hızlarda fark edilmeyen gizli hataları ortaya çıkarırlar. Bu gibi durumlarda, hız artışı gizli hataları ortaya çıkaran basit ve etkin bir yöntem olarak görülmelidir. Ancak, birçok kuruluş bu şekilde ortaya çıkan problemlerin sebeplerini araştırmak yerine, sadece artan hatalı üretim, arızalar ve ayar sıklıkları gibi, semptomlarını gidermeye çalışırlar. Bu yaklaşımın sonucu olarak da fiili hız standard hızın altında kalır. standart hıza erişmek için yapılacak sistematik bir inceleme aşağıda tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 2.5 Standart Hıza Erişme Çalışmasının Aşamaları

1) Mevcut Düzeylerin Tespiti	<ul style="list-style-type: none">- Hız- Darboğaz İşlemler- Duruş Sıklığı- Hatalı Üretim Oranı
2) Spesifikasyonlarla mevcut durumun karşılaştırılması	<ul style="list-style-type: none">- Spesifikasyonlar nelerdir?- Standard hız ile fiili hızın farkı- Değişik ürünlerin hızlarının farkları
3) Geçmiş Problemlerin İncelenmesi	<ul style="list-style-type: none">- Hız artışı denenmiş mi?- Çıkan problemler ve alınan önlemler- Hatalı ürün oranlarındaki eğilimler- Benzer ekipmanlarda görülen farklar
4) Ekipmanın çalışma prensiplerinin ve teorisinin incelenmesi	<ul style="list-style-type: none">- Teori ve prensiplerle ilgili problemler- İşlem çevre şartları- Teorik değerler
5) Fiili Mekanizmaların İncelenmesi	<ul style="list-style-type: none">- Girdi/Çıktı oranları- Stress araştırılması- Dönen parçaların incelenmesi- Parça spesifikasyonların incelenmesi
6) Mevcut Durumun İncelenmesi	<ul style="list-style-type: none">- Birim işlem zamanı- Boş (rölanti) zaman- Parçaların doğruluk düzeyleri- Göz, kulak ve dokunma ile kontrol
7) Problemlerin Listelenmesi	<ul style="list-style-type: none">- Optimal şartlarda karşılaştırma- Mekanik problemler- Doğruluk problemleri- Teori ve prensiplerden kaynaklanan problemler
8) Problemleri Çözmeye Yönelik Önlemler Alınması	<ul style="list-style-type: none">- Öncelik sırasına göre önlemler
9) Deneme Çalıştırmaları	

2.4.6 Üretim Hataları (Process defects)

Prosesteki hatalar, üretim ekipmanından kaynaklanan kalite hatalarıdır. Genellikle tesadüfi hatalar, ekipman şartlarını normale dönüştürerek kolayca düzeltilebilir. Öte yandan, kronik hataların sebeplerini belirlemek oldukça zordur. Örnek olarak, yanlış ekipman ayarlarından doğan hatalar kronik hata sayılabilir.

Kalite hataları kayıpları bir ekipmanın ürettiği tamamen veya kısmen hatalı ürünlerin yol açtığı kayıplardır. Düzeltilemeyecek düzeyde hatalı ürünlerin sebep olacağı kayıplar açıktır. Ancak, bazı hatalı ürünler tamir edilecek veya düzeltilecek durumda olsalar bile ilgili işçilik ve ekipman zamanı bir kalite hatası kaybı olarak nitelendirilmelidir.

Kalite hataları kayıplarının önlenmesinde önemli olan faktörler şunlardır :

- Ekipman çalışma prensipleri,
- Ekipman fiziki mekanizması,
- Doğru ayarlar ve işletme,
- Aparatların ve kalıpların doğruluk düzeyi,
- Çalışma metodları

Kalite hatalarının kaynaklarının belirlenmesinde en sık kullanılan yöntem normal (hatasız) ürünlerin ve şartların, anormal (hatalı) ürün ve şartlarla karşılaştırılarak, belirgin farkların (yer, biçim, düzey ve sebepleri olarak) tespitidir. Bu çerçevede öncelikle hatalı ve hatasız ürünler karşılaştırılır, şartlar bazında takip edilir. Daha sonra, hatalı ürünleri üreten ekipman, proses, aparat ve kalıplar, hatasız ürünleri üretenlerle şekil, boyut, yüzey vb. farklarını belirlemek için karşılaştırılır. Bundan sonra da hatalı ve hatasız ürünleri üreten ekipmanların aparat ve kalıpları değiştirilerek üretim ve karşılaştırma yapılır.

2.4.7 Devreye Alma Ve Rejime Ulaşma Kayıpları (Reduced yield)

Devreye alma ve rejime ulaşma kayıpları, üretimin ilk safhalarında; başlangıcından sistemin dengeye ulaşmasına kadar geçen sürede meydana gelen miktarsal kayıplardır.

Bir ürünün üretiminin başlaması sırasında, kararlı hız (Stabil Hız) ve kalitede üretime erişene kadar geçen sürede, üretim sürecinden, aparatlarından, kalıplarından, ayarlardan, operatör becerisinden kaynaklanan verim düşüklükleri devreye alma kayıpları olarak adlandırılır. Ekipman başına üretilen ürün çeşidi çok olan kuruluşlarda bu kayıplar önemli düzeylere varabilir. Yukarıda sayılan her bir madde iyileştirme alanı olarak kabul edilir ve başlangıç kayıplarının azaltılması çareleri aranır.

Rejime ulaşma kayıpları, operatörlerin teknik becerileri, ekipmanın bakım seviyesi ve üretim şartlarının dengelenebilirliği ile değişir. Pratikte bu miktar, şaşırtıcı bir şekilde yüksektir.

Çizelge 2.6 Kayıp Türleri ve Hedefler [11]

KAYIP TÜRLERİ	AMAÇ	AÇIKLAMA
Ekipman arızaları	0	Tüm ekipman için sıfıra indirmek.
Ölçü değişimi ve ayar kayıpları	Minimize Etmek	Set-up zamanlarını 10 dakikanın altına indirmek.
Hız kayıpları	0	Mevcut operasyon hızını dizayn hızına çıkarmak ve devamlılığını sağlamak.
Boş geçen zaman ve küçük kayıplar	0	Tüm ekipman için sıfıra indirmek.
Kalite hataları ve yeniden işlem kayıpları	0	Çok küçük geçiş zamanları kabul edilebilir.
Rejime ulaşma	Minimize Etmek	

2.4.8 Bireysel İyileştirmelerin 7 Adımı

Kayıpların azaltılması ve verimliliğin artırılması önceki bölümlerde detaylı olarak açıklanmaya çalışılmıştır. Ancak her süreçte olduğu gibi bu iyileştirmeleri yapacak olanlarda çalışanlar ve işgücüdür.

Ulaşılabacak sonuç; bireysel iyileştirme çabaları ile iyileştirme ekiplerinin oluşturulması ve toplam verimliliğin artırılmasıdır.

Buna göre; çalışmalar 1) Hazırlık ve 2) Uygulama olmak iki aşamadan oluşmaktadır.

Hazırlık aşamasında yer alan adımlar :

- 1.Hedef üretim hatları ve ekipmanların seçimi
- 2.Proje ekiplerinin oluşturulması
- 3.Mevcut kayıpların ölçülmesi,

Uygulama aşamasında yer alan adımlar ise :

- 1.İyileştirme konusu ve hedef belirleme
- 2.İyileştirme planının hazırlanması
- 3.Analiz yöntemleri ve karşı önlemlerin planlanması ve değerlendirilmesi
- 4.İyileştirmelerin uygulanması
- 5.Etkilerin doğrulanması
- 6.Problemin tekrar oluşmasını önlemek için tedbir alınması,
- 7.Yaygınlaştırma 'dır.

Çizelgede de açıklandığı gibi Toplam Üretken Bakımın nihai amacı otonom bakımın gerçekleştirilmesidir. Bu program “başlangıç temizliği” ile başlamakta ve “tam otonom yönetim” ile devam etmektedir. 7 basamaktan oluşan programın detayları aşağıda verilmiştir. Burada önemli olan konu programın adımlarının uygulanmasında aceleci davranmamak, bu kültürün gelişmesinin ve yerleşiminin sindirilerek yapılmasıdır. Tesislerin (fabrikaların) büyüklüğüne, küçüklüğüne bağlı olarak programın orta vadede şirket hayatına adapte edilmesidir.

Çizelge 2.7 Bireysel İyileştirmelerin 7 Adımı

Adım		Faaliyet
Hazırlık Aşaması	1.Adım Hedef üretim hatlarıveekipmanların seçimi	* İyileştirme planlarında yer alan ve birçok kayba yol açan hat,proses ve ekipmanlar *Yaygınlaştırma olasılığı yüksek. *Otonom bakım uygulanan ekipmanı, proses ve ekipmanlarla senkronize et ve 1-3 adımlar süresince devam et.
	2.Adım Proje ekiplerinin oluşturulması	* Departman yöneticisi ekip lideridir. * Mühendislik, üretim mühendisliği, tasarım ve üretimden insanlar biraraya getirilir ve her kayıp için sorumluluk verilir. * Proje ekipleri TÜB ofisine kayıtlıdır ve resmi görevler verilir.
	3.Adım Mevcut kayıpların ölçülmesi	*Kayıpları belirle ve açıkça tanımla. *Mevcut kayıp verileri yeterli mi? Değilse veri topla.
Uygulama Aşaması	1.Adım İyileştirme konusu ve hedef belirleme	* Mevcut durum analizi sonuçlarına göre iyileştirme konularının belirlenmesi. *"Sıfır kayıp" kavramına göre zorlayıcı hedef değerler vesüre verilmesi. * Her kayıp tipi için eleman atanması.
	2.Adım İyileştirme planını hazırla	* Analiz sürecini ve karşı önlemleri planla, iyileştirmeleri gerçekleştirmek için prosedürleri hazırla ve zaman planını yap. * Üst düzey yöneticiler tarafından audit (denetleme) yapılması.
	3.Adım Analiz yöntemleri ve karşı önlemlerin planlanması ve değerlendirilmesi	* Tüm teknikleri ve iyileştirmeler için analiz, araştırma ve deney yöntemlerini kullanarak iyileştirme planlarını hazırla ve yapılan planları değerlendir. *Hedeflere ulaşıncaya kadar devam et.. *Üst yönetim denetlemeleri ile iyileştirmelerin desteklenmesi.
	4.Adım İyileştirmelerin uygulanması	*Gerekli bütçenin ayrılması ve iyileştirmelerin uygulanması.
	5.Adım Etkilerindoğrulanması	* İyileştirme uygulandıktan sonra her bir kayıp için etkilerin doğrulanması.

Çizelge 2.7 (devam) Bireysel İyileştirmelerin 7 Adımı

	6.Adım Problemin tekrar oluşmasını önlemek için tedbir alınması	*Problemlerin tekrarlanmasını önlemek için operasyon standartları ve bakım prosedürleri hazırlamak gibi önlemler almak ve standartları geliştirmek. *Yaygınlaştırma için el kitabı hazırlanması. *Üst yönetim tarafından denetleme yapılması.
	7.Adım Yaygınlaştırma	*Aynı tipteki diğer ekipman, proses ve hatlara yaygınlaştırma *Diğer faaliyetlerin başlatılması (kick-off)
Not : Proje ekip üyeleri doğrudan sorumlu olmadıkları diğer kayıp türleri ile ilgili de liderlik yapmalıdır. Teknik analiz, destek, iyileştirmenin yaygınlaştırılması gibi.		

Çizelge 2.8 Otonom Bakımın Aşamaları [13]

Aşama	Adı	Aktivitelerin İçeriği
1	Başlangıç temizliği (Temizlik ve Gözlem)	Tozun ve kirin temizlenmesi, yağlama ve ayar işlerinin ekipmanla yapılmasına odaklanma, ekipmanlardaki kayıpların ortaya çıkarılması ve tamiri
2	Zorlanmış kötüleşmeye karşı önlem, ulaşılması zor nokta iyileştirme	Toz ve kir kaynaklarının yok edilmesi, yağlanması ve temizliği zor yerlerin iyileştirilmesi, temizleme ve yağlama sürelerinin azaltılması
3	"Jishu-Hozen" Standartlarını hazırlama	Makinaların sürekli ve kısa sürede temizlenmesi, yağlamak ve ayarlamak için gerekli standartların oluşturulması.(Periyodik zaman çizelgesinin hazırlanması)
4	Genel Kontrol	Bakım katalogları ile eğiterek gözlem becerilerinin iyileştirilmesi, genel kontrolle küçük arızaların bulunması ve onarılması
5	Otonom Gözlemler	Otonom bakım kontrol listelerinin tasarlanması ve uygulanması
6	Standartlar	Çeşitli saha yönetim maddelerinin standardize edilmesi *İşletmenin lojistik standartları *Veri kayıtlarının standardizasyonu *Kalıp ve bağlama aparatlarının yönetim standartları * Üretim kalite güvence standartları
7	Tam Otonom Yönetim	Şirket politika ve amaçlarının geliştirilmesi, rutin Kaizen aktiviteleri yapılması, MTBF kayıtlarını sürekli tutup bunların analiz edilmesi ve ekipman Kaizen'i yapılması

2.5 TPM Uygulamasında Önemli Adımlar

“Toplam Üretken Bakım” ‘ın temel hedefi çalışanların ve ekipmanların verimliliğini arttırarak kuruluştta köklü gelişmeler sağlamak, klasik çalışma kültürünü olumlu yönde değişime uğratmaktır. Bu bakımdan TPM Sistemine geçiş başlangıcından itibaren 3-4 sene alan uzun nefes gerektiren bir maratondur. Süreyi kısaltma çabaları gerçekçi değildir. Şirketin verimli bakım konusunda bir alt yapısı ve çalışmaları var ise TPM’e geçiş daha kolay olmaktadır.

Başarılı bir uygulamaya geçişin temel gereksinimleri beş maddede özetlenebilir:

- Ekipman etkinliğini arttırmak için altı kaybın sıfırlanması veya en aza indirilmesi,
- Operatörlere yönelik (otonom bakım) bir özgün bakım programı geliştirilmesi,
- Bakım birimleri için çizelgeli bakım programı geliştirilmesi,
- Operatörlerin ve bakım personelinin becerilerinin arttırılması,
- Yeni ekipman yönetim programı geliştirilmesi.

TPM uygulamasına geçiş üç aşamada, 12 temel adımda açıklanabilir [8]:

1.Aşama Hazırlık Aşaması

1. Üst Yönetimin TVB Sistemine karar verildiğini duyurması : TPM ile ilgili şirket içi konferansta üst yönetimin açıklaması. Dergi vb. gibi araçlarla çalışanlara duyurum.
2. TPM’i tanıtmak için eğitim ve kampanya başlatılması : Yöneticilere düzeye göre seminer, slide gösterileri, uygulamayı yapan firmalardan konferanslar.
3. TPM’i yaymak ve oturtmak için organizasyonların kurulması : Her düzeyde özel TVB komiteleri kurulması; bir merkez belirlenip, sekreteryası kurulması.
4. TPM’in Temel Hedef ve Politikalarının belirlenmesi : Mevcut durumun değerlendirilmesi; Buna göre hedefler konulması; Sonuçların tahmin edilmesi.
5. TPM geliştirme için bir master plan hazırlanması : Beş temel faaliyet için detaylı uygulama planlarının hazırlanması.

2.Aşama Ön Uygulama Aşaması

6. TPM'e başlamanın kutlanması : Müşterileri, yan sanayi kuruluşlarını, tedarikçilerin davet edilmesi, TPM Uygulama Aşaması
7. Her ekipmanın etkinliğinin arttırılması : Pilot ekipmanların seçimi, proje ekiplerinin kurulması.
8. Operatörlere Yönelik bir bakım programı geliştirilmesi : Yedi adımın başlatılması; çalışanlarda teşhis yeteneğinin geliştirilmesi; çalışan sertifikasyon prosedürlerinin tanımı.
9. Bakım birimi için planlı bakım programı geliştirilmesi : Dönemsel ve kestirimci bakımları içermesi; yedek parça, ekipman, çizelge yönetimi içermesi.
10. Operasyon ve bakım becerilerini geliştirme için egzersiz yapılması : Grup liderlerinin birlikte eğitimi; liderlerin kendi gruplarına egzersiz yaptırması ve bilgi yayması.
11. Yeni ekipman yönetim programı geliştirilmesi : Bakım azaltıcı tasarım; Yaşam Boyu toplam maliyeti analizleri

3.Aşama Stabilizasyon

12. TÜB (Toplam Üretken Bakım) Uygulamasını İyileştirme ve TÜB düzeylerini yükseltme : TÜB ödülleri için hazırlık; daha yüksek hedefler belirlenmesi.

Çizelge 2.9 TPM Aşamaları [8]

AŞAMALAR	ADIMLAR	DETAYLAR
HAZIRLIK	<i>1.Üst Yönetim Tarafından İşletmede TVB Uygulanacağı İlanı</i>	İşletme yöneticileri öncü olarak, konuyu ve önemini duyururlar. Çalışanlar genel olarak bilgilendirilir ve uygulamanın faydası açıklanır.
	<i>2.TVB Konusunda Tanıtım ve Eğitim Faaliyetlerinin Başlatılması</i>	TVB'ın içeriği ve uygulanabilirliği konusunda seviyesine göre çalışanlara eğitimler verilir. Çalışanlar motive edilmeye çalışılır.
	<i>3.Organizasyonel Yapının Oluşturulması</i>	TVB uygulamalarının sürekliliğini sağlamak için bir organizasyon kurulması, çalışma kurallarını belirleyerek, işlerlik kazandırılması safhasıdır.
	<i>4. TVB Konusunda Temel Politika ve Hedeflerin Belirlenmesi</i>	Var olan koşulların analiz edilmesi, temel politika ve hedeflerin belirlenmesi adımdır.
	<i>5. TVB için Ana Planın Hazırlanması</i>	Detaylı uygulama planı hazırlanır.
UYGULAMA	<i>6.TVB Başlama Vuruşu Yapılması</i>	Planın hazırlanmasından sonra tüm çalışanların katılacağı bir organizasyonla uygulamalar başlatılır. Bu aşamadan sonra, her çalışan kritik önemdedir.
	<i>7. Ekipman Yönetim Sisteminin Kurulması</i>	Sürekli iyileştirme takımlarının çalışmaları ile kayıpları önleyecek faaliyetlere odaklanılır.
	<i>8. Otonom Bakım Sistemi Kurulması</i>	Arızalar için önlem alınması, üretim araçlarının periyodik bakımının bir bölümünün makine başında çalışan operatörler tarafından yapılmasıdır.
	<i>9.Planlı Bakımın Geliştirilmesi</i>	Üretim araçlarının gruplandırılması, üretim araçlarına ait dosyaların oluşturulması, alt grupların ayrılması, eylemlerin tanımlanması, uygulamanın takibi ve kontrolünü içerir.
	<i>10. Önleyici Mühendislik Faaliyetlerinin Yerine Getirilmesi</i>	Elde edilen sonuçların yeni ekipmanlara aktarılması ve ömür çevrim maliyeti analizi yapılmasıdır.
	<i>11. Operasyon ve Bakım Yetenekleri Geliştirilmesi için Eğitim</i>	Tüm düzeylerdeki çalışanların eğitimlerinin süreklilik kazanmasıdır.
SÜREKLİLİK	<i>12. TVB Sisteminin Korunması ve Yeni Hedeflerin Belirlenmesi</i>	Değerlendirme yapılması, hedeflerin güncellenmesi, PM ödülüne başvuru gibi aşamaları içerir.

2.6 Özerk (Otonom) Bakım

Özerk bakım; operatörün çalıştığı kendi makinasının bakım işlerini kendisinin yapmasıdır.

Özerk bakım, her işçi çalıştığı makinanın günlük kontrollerini, yağlamasını, parça değiştirmesini, küçük tamirini, sorun giderilmesini, hassasiyet kontrollerini yaparak kendi ekipmanının iyi şartlarda çalışmasını sağlar.

Operatörler gerekli eğitim ve öğretimi aldıktan sonra kendi ekipmanlarının operasyon ve bakım işlerinde profesyonel olurlar.

Operatörler kendi çalıştığı ekipmanda meydana çıkacak anormal durumları 5 duyu organı yardımı ile önceden hissedecek bilgi ve beceri düzeyine ulaşırlar ve tedbir alırlar veya alınmasını sağlarlar.

2.6.1 Operatörlerde Aranılan Özellikler

Her operatör aşağıdakileri yapacak ustalıkta ve yeterlilikte olmalıdır.

1. Ekipman hatalarını bulabilecek ve gerekli tedbiri alabilecek bilgide,
2. Ekipman mekanizma ve fonksiyon çalışma şeklini anlayacak ve problem olduğunda sebebini çıkarabilecek yeterlilikte,
3. Kalite ve anormal şartlar arasında ilişki kurabilecek durumda,
4. Tamir edecek bilgi ve beceride,
5. İyileştirme çalışmalarına katkıda bulunabilecek diğer bölümlerle ortak çalışabilecek bilgi beceri ve yeteneğe sahip olmalıdır.

Normal çalışma şartlarında operatör makina başında çalışır, arıza olduğu zaman bakımcı çağrılıp arızanın en kısa sürede giderilmesi istenir. Operatör makinayı çalıştırmakla yükümlü olduğunu bakımcı ise operatörün çıkardığı arızaları gidermekle yükümlü olduğunu düşünerek ikiside birbirlerini düşman gibi görürler. Halbuki özerk bakımda, operatör makinanın çeşitli bakımlarını bakım personelinin

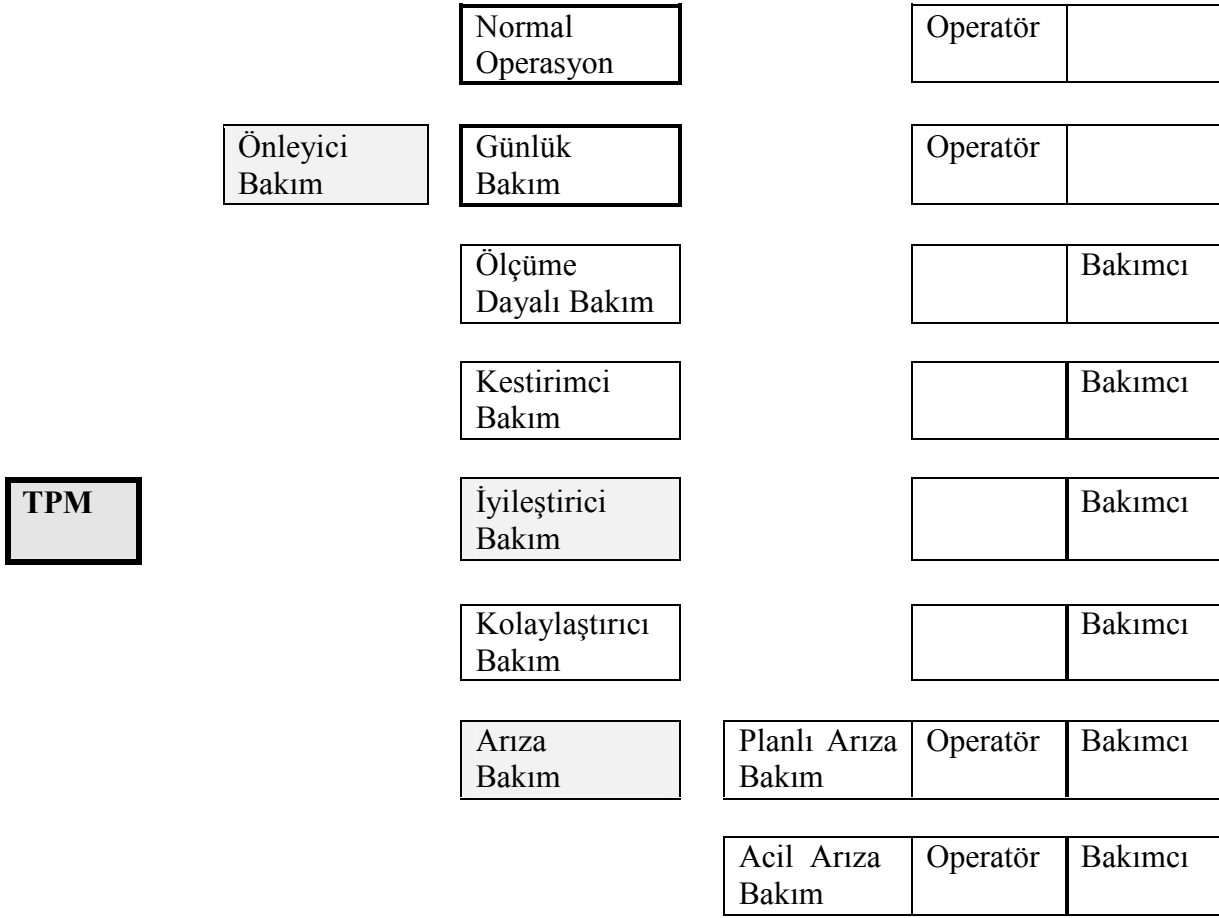
öğrenerek kendi makinasının küçük bakım işlerini kendileri yapacaktır. Makinanın arıza yapmaması için elinden gelen gayreti gösterecektir. Bakımcı ve Operatörün amacı makinanın arıza yapmasını önlemek olacağı için aralarında çok iyi yardımlaşma ve dayanışma ortaya çıkartır.

İşlemelerdeki bölümler arasında genellikle ‘‘Ben imalat yaparım, sen tamir edersin’’ görüşü yaygın olup ekipman üvey evlat gibi gözükür. Arıza yapması durumunda ekipman veya ürün ortada kalır. Bulaşıcı hasta gibi kimse yanına yaklaşmaz. Fakat özerk bakımda operatör makinasına sahiplenip kötüleşmeler için önlem alır, arızaların en kısa sürede giderilmesi için bakımcı ile birlikte elele çalışır.

2.6.2 Özerk Bakımın Adımları

Özerk bakım uygulamasına adım adım geçilir. Bu aşamalar şöyle sıralanabilir.

- | | |
|---------------------------------|-----------|
| 1. Ön hazırlık | (0. Adım) |
| 2. İlk Temizlik | (1. Adım) |
| 3. Demontaj - Montaj | (2. Adım) |
| 4. Yağlama | (3. Adım) |
| 5. Genel Bilgilenme | (4. Adım) |
| 6. Özerk Kontrol | (5. Adım) |
| 7. Standartizasyon | (6. Adım) |
| 8. Tamamen özerk bakım yönetimi | (7. Adım) |



Şekil 2.5 TPM Görev Dağılımı [14]

Özerk bakımın adımları;

1. Ön hazırlık 0. Adım

TPM'nin gerekliliği anlatılır, zamanla ekipmanların verimlerinin düştüğü bunu önlemenin yolunun ise operatörlerin makinalarını temiz korumaları ve sevmeleri gerekliliği anlatılır.

Özerk bakımda Operatörler için ön koşul verilen eğitimi alacak yeterlilikte ve kapasitede olmaları gerekmektedir.

Öncelikle iş emniyeti ile ilgili bilgileri anlatılır, kazalara yol açmamak için alınacak tedbirler ve operatörler tarafından bilinmesi gerekli önlemler kavratılır.

2. İlk Temizlik 1. Adım

Temizlik demek, makina (her yerindeki) üzerinde biriken tozların, yağların, kirlerin ve pisliklerin alınması ve makinaya dokunma ve hissetme aşamasıdır. Makinanın görünüşü tanımlanır. Makinanın fonksiyonel olarak çalışması incelenir, üretim ile çalışan mekanizmalar arasındaki bağıntılar öğrenilir. Makina parçaları öğrenilir.

İlk temizlemede üzeri örtülmüş hataların meydana çıkması muhtemeldir. Bulunan hata kaynaklarına hata kartları asılır.

3. Demontaj - Montaj (Önlem Alma) 2. Adım

Makina üzerindeki toz, kir ve yağ kaynakları araştırılır daha kısa sürede temizlik yapmak için gerekenler düşünülür. Böylece makina civataları, bağlantı yerleri gözden geçirilip gevşeyen civatalar sıkılır. Ekipmanın parça ve mekanizma resimleri çizilir. Ekipman üzerinde ulaşılması mümkün olmayan yerler var ise bu ulaşılması zor olan yerlerde rahat ve kolay ulaşmak için düzenlemeler yapılır. Örneğin V kayışlarının bulunduğu kasnak muhafazası üzerinde kayış durumlarını görmek için gözetleme yerleri açılır. Yağ tanklarına yağ seviyesi gözetleme camı takılır. Eğer makina yağlama noktaları ulaşılması zor bir noktada ise rahat yağlama yapılacak bir yere taşınır.

4. Yağlama (Geçici Çözüm) 3. Adım

Ekipmanın sürekli temiz kalması için temizleme süresi ve yağlama süresi standardı (geçici olarak) oluşturulur. Ekipman katalog bakım dökümanları ideal şartlara göre hazırlanmıştır. Ekipmanın yağlama şartları ekipmanın bulunduğu iklim, deniz seviyesi ile bulunduğu yer arasındaki fark, çalışma şartları sıcaklık, nem, tozlu ortam v.b durumlara bağlıdır. Belirtilen şartlar göz önünde bulundurularak ekipmanın yağlama şartları belirlenir. Geçici form ve talimatlar oluşturulur.

5. Genel Bilgilenme (Bilgi Edinme) 4. Adım

Ekipman hakkında yazılmış kataloglar, kitaplar, broşürler incelenir. Ekipman her yönü ile tanınır. Gerekir ise ekipman tanıtımını yapmak için dışarıdan ekipmanı iyi bilen uzman çağırılıp eğitim alınır. Bunun yanında makina elemanları ve küçük sistemler hakkında eğitimler alınır. Pnömatik devre elemanları, hidrolik devre

elemanları, aktarma organları v.b. tek nokta eğitimleri ile operatörün bilgi dağarcığı genişletilir.

6. Özerk Kontrol (Kalıcı Çözüm) 5. Adım

5. adıma gelindiğinde operatörün kafasında makinaya ait bilgiler oluşmuş operatör makinayı tanımıştır. Operatör hata ve arıza kaynağı hakkında bilgi sahibi olmuş ve ekipman kötüleştirmelerini önleyecek bilgilere ulaşmıştır. Bu adımda öğrendiklerini pratiğe dökerek tecrübe kazanır, tekrar kontrol eder. Örneğin civata ne kadar sıkılmalı, hangi noktalar ne sıklıkta kontrol edilmeli, kontrol noktaları iyice belirlenir. Bunlar yapılırken 5S standardına (tertup, düzen, temizlik, disiplin ve organizasyon) uyulur. Temizlik ve kontrol formarı etkin bir şekilde uygulanır.

7. Standardizasyon 6. Adım

- Operatör çok amaçlı yetiştirilir. Operatör değişse bile kalite değişmemeli. Her alanda standart uygulamaya geçilir.
- Destek standardı (yedek parça veya sarf malzemesi)
- Bilgi toplama standardı (kontrol noktaları)
- Takım edavat standardı
- Proses ve bakım standardı oluşturulur.

8. Tamamen özerk bakım yönetimi 7. Adım

- Sıfır hataya ulaşmak için çalışmalar yapılır.
- Kalite seviyesi yükseltilir.
- Ekipman maksimum şartlarda çalıştırılır.
- İyileştirme çalışmaları yapılır.
- Ekipman ömürleri tayin edilir.
- İnsan makina ve mekan değişse bile sistem kendi iç enerjisiyle sürekliliğini devam ettirmelidir. Yeni hedefler belirlenir.
- Hiç bir zaman çökmeyecek yönetim sistemi oluşturulur.

2.6.3 Özerk Bakımda Başarılı Olmanın 14 Anahtarı

1. Tanıtım eğitimi ve değişik bölümler arası iş birliği yapılmalı.
2. Küçük guruplar oluşturulup, gurup liderlerinin bir üst gruba katılması sağlanmalı.
3. Pratiğe yönelik çalışmalar yapılmalı.
4. Pilot model seçilmeli (gerçek saha gerçek iş başında)
5. Adım adım yapılmalı
6. Tetkiler yapılmalı
7. Eğitimler tranfer edilmeli (Tek Nokta Eğitimleri)
8. Başarı için tecrübe kazanılmalı
9. İyileştirme gurupları doğru seçilmeli, ilgi alanına göre iyileştirme gurubu oluşturulmalı
10. İncelenecek konuların kararı, inceleyecek kişi tarafından verilmeli
11. Hata ve arızalar bakım gurubunun yardımı ile operatöründe katılımıyla kısa sürede giderilmeli
12. İşlem sıra ve basamaklarını göz önünde bulunduran aktivitelerin yapıldığı şartlar hazırlanmalı
13. Her üyenin fikrini söylediği toplantılar yapılmalı
14. Faaliyetler tam ve eksiksiz yapılmalı. Formalite için yapılmamalı.

2.7 Ofis TPM

Üretimi destekleyecek, büroların etkinliğini arttıracak bir sistem idari departmanlarda kurulmalıdır. İdari departmanlarda çalışanlar üretim etkinliğini arttırmak amacıyla bazı çalışmalar yapmalıdırlar. Bu tür çalışmalara dolapların düzeni, dosyalama sisteminin kurulması, etiketlemenin yetreli yapılması, dolap raflarının ayakta dururken dahi kolayca görülüp ulaşımının sağlanması örnek gösterilebilir. Gerçek hayatta uygulanan prosedürlerin azaltılması, kararların hızla alınmasının sağlanması da diğer çarpıcı örneklerdir. Ofis TPM çalışmaları yürütülürken 5S metodolojisinin izlendiği Kaizenler uygulanır.

Organizasyonlarda kalite ortamını yaratmak ve sürekliliğini sağlamak için kullanılan bir tekniktir. 5S' in açılımı aşağıdaki gibi tanımlanabilir [4]:

- *Seiri* – Organizasyon
- *Seiton* – Düzen
- *Seiso* – Temizlik
- *Seiketsu* – Standartlaştırma
- *Shitsuke* - Disiplin

5S aktivitesinin uygulanmasıyla çalışma ortamında iş güvenliği, yüksek verimlilik, proses ve ürünlerde kalitenin artması ve çalışanda moral sağlanabileceği gibi makine performansının da yükseltilebileceği açıktır.

2.7.1 Organizasyon (Seiri)

Üretim, depo ve ofis alanlarında anlık ihtiyacı duyulmayan malzeme, ekipman ve aletlerin ihtiyaca göre sınıflandırılarak ilgili bölgeden uzaklaştırılmasıdır. Organizasyon yoksa çalışma ortamı hızla kalabalıklaşır, düzensizlik çalışanların iletişimini olumsuz etkiler, aletlere ulaşmada zaman kaybına, iş güvenliğinin tehlikeye girmesine, yüksek bakım maliyetlerine ve çalışanın moral yönünden olumsuz etkilenmesine sebep olur.

5S faaliyetlerinde ilk aşama olan organizasyonun doğru yapılmasının diğer aşamaların etkili biçimde yürütülmesinde oldukça büyük önemi vardır. Organizasyon

sayesinde çalışanların şikayetleri hızla azalacak, ürün kalitesi yükselecek ve verimlilik artacaktır.

2.7.2 Düzen (Seition)

Sürekli ihtiyaç duyulan ekipman, demirbaş vb. malzemenin kullanımını ve bulunmasını kolaylaştırmak amacıyla yapılan düzenleme ve tertip işidir. Her türlü alet, aparat ve makine iyileştirme projelerini kapsar. Ancak organizasyon gerçekleştirilmeden yapılan düzen verimsiz olacaktır. Düzen olmadığı süreçte hareket/iş kaybı, arama kaybı, insan enerjisi kaybı, aşırı stok, hatalı ürün ve güvensiz iş koşullarının ortaya çıkması kaçınılmazdır.

2.7.3 Seiso (Temizlik)

Çalışma alanlarında ve makinelerde oluşan çevre, üretim ve/veya makine kaynaklı her türlü kirliliğin yok edilmesi ve korunmasıdır. Temizlik aynı zamanda bir göz kontrolüdür. Olabilecek arızaları haber verir. Temizlik olmadığı süreçte iş ortamının ve makinelerin verimliliği azalır, bakım maliyeti artar, ürün kalitesi artar ve kirlilik kaynağını bulmak gittikçe zorlaşır. Temizlik yapılırken de verim alınması için belirli bir disiplin içerisinde çalışmak gerekmektedir:

- Temizlenecek alanlar belirlenir,
- Temizliği yapacak çalışanlar belirlenir ve bu kişilere sorumluluk verilir,
- 5S temizlik haritası oluşturulur,
- Günlük olarak 5S temizlik programı oluşturulur,
- Temizleme metotları belirlenir,
- Temizlik alet ve kimyasalları belirlenir,
- Temizlik standartları oluşturulur,
- Kontroller uygulanır.

2.7.4 Seiketsu (Standartlaştırma)

Organizasyon, düzen ve temizliğin korunması ve sürekliliğinin sağlanması için oluşturulması gerekli standartlar, kontroller ve iyileştirmelerdir. Standartlaştırma faaliyetine geçilmeden önce önceki üç aşamanın kesinlikle yerine getirildiğinden emin olunmalıdır. Standartlaştırma ile önceki adımların kontrolü sağlanarak bu adımlardaki hataların tespit edilmesi ve düzeltilmesi kolaylaştırılır. Sürekli gözlem ve ölçüm yapılmış olur. Standartlaştırma, iyileştirme projelerini yaygınlaştırarak her türlü maliyeti önler ve verimliliği korur.

2.7.5 Shitsuke (Disiplin)

Mevcut adımların uygulanmasının sürekliliğini sağlamak, çalışanları eğitmek, iyileştirmeleri duyurmak, sloganlar bulmak, kampanyalar yapmak, takımları ödüllendirmektir. Başka bir deyişle önceki 4 adımı birbirine sıkıca bağlayan çalışmadır. Disiplin, çalışanların motivasyonlarını arttırmak, sorumluluk bilinçlerini geliştirmek, öz güvenlerini arttırmak, rollerini belirlemek ve çalışanlara varlığını hissettirmek gibi amaçlar için uygulanır.

5S metodolojisi üretim sahası, atelyeler, depo alanları ve ofisler olmak üzere bir çok uygulama alanına sahiptir.

2.8 Toplam Ekipman Etkinliği (OEE) Hesabı

Herhangi bir tesiste, ekipman etkinliğinin yüksek olduğu söylenirse, mantıksal olarak ekipmanın verimli ve etkin olarak çalıştığı düşünülebilir. Fakat önemli olan ekipman etkinliğinin oranını tespit etmek için kullanılan hesap metodu ve hesapların dayandığı verilerdir.

Birçok şirket, “ekipman etkinliği oranı” ifadesini kullanmaktadır. Ancak kullandıkları hesap metodları birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Ekipman etkinliği oranından, çok sık olarak çalışabilirlik veya çalışma oranı kastedilmektedir.

Ekipman etkinliği, ekipmandan kaynaklanan üretime katma değerinin bir ölçümüdür (Basit bir ifade ile, katma değer; bir ürünü üretmek için kullanılan malzeme, işçilik vb. kaynakların maliyeti ile satış gelirleri arasındaki farktır. Ekipman tarafından bir ürüne katma değer ise; azaltılmış üretim artıkları ve altı büyük kayıp ile ifade edilmektedir. Bu değer, çalışabilirlik ve üretkenliğin yükseltilmesi yanı sıra proses hatalarının düşürülmesiyle de arttırılır).

Ekipman etkinliği, aşığıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır [15]:

$$OEE = \text{Kullanılabilirlik Oranı} * \text{Performans Oranı} * \text{Kalite Ürün Oranı} \quad (2.1)$$

2.8.1 Kullanılabilirlik Oranı

Kullanılabilirlik oranı veya diğer bir ifadeyle kullanılabilirlik, gerçek çalışma zamanının, (yük zamanından arıza ve ölçü değişimlerinin çıkarılmasıyla elde edilen zaman) yük zamanına oranıdır.

Bunu matematiksel formülle yazarsak;

$$\text{Kullanılabilirlik} = (\text{Çalışma Zamanı} / \text{Yük Zamanı}) * 100 \quad (2.2)$$

veya ;

$$\text{Kullanılabilirlik} = (\text{Yük zamanı} - (\text{Arıza} + \text{Ölçü değişimi}) * 100) / \text{Yük zamanı} \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilir.

Yük Zamanı : Belirli bir periyot; bir gün veya bir ay içinde, ekipmanın net çalışabileceği zamanı ifade eder. Diğer bir ifadeyle toplam mevcut zamandan, işletme tarafından planlanmış duruşların çıkartılmasıyla elde edilen zamandır. Planlanmış duruşlardan kasıt; imalat programında öngörülen resmi zamanlardır. Bunlar, koruyucu ve düzeltici bakımları, varsa çay duruşlarını ve planlı idari faaliyetleri (günlük işletme toplantıları vs.) kapsar.

Örneğin; Her gün tam programlanmış bir üretim makinesinde; bir vardiya 480 dakikadır. Bu süre 30 dakika yemek ve 10'ar dakika yemekten önce ve yemekten sonra olmak üzere 2 defa çay molalarını düşersek; yük zamanı, bir vardiya için 430 dakika olarak ortaya çıkar.

Çalışma Zamanı : Yük zamanından, makinenin çalışmadığı duruş zamanının çıkarılmasıyla elde edilir. Çalışma zamanı, diğer bir ifade ile; ekipmanın gerçekte faal olduğu zamanı belirtir. Duruş kayıpları ise, makine arızasından ve ölçü değişimlerinden dolayı kaybedilen süreleri kapsar.

Önceki örneğimize dönersek; bir üretim makinesinde, 20 dakikalık arıza ve 30 dakikalık bir ölçü değişiminin vardiya içinde gerçekleştiğini farz edelim. Bu durumda, kullanılabilirlik şöyle hesaplanır:

$$\text{Çalışma Zamanı} = 430 - 50 = 380 \text{ dakika}$$

$$\text{Kayıplar} = 20 + 30 = 50 \text{ dakika}$$

$$\text{Kullanılabilirlik} = [430 - (20 + 30) * 100] / 430 = \% 88 \text{ (hassas veri esastır)}$$

Eğer çalışma alanından toplanan ham veriler, hassas ve doğru ise, %88'lik kullanılabilirlik değeri, güvenilir bir rakam olacaktır. Bununla beraber, ekipmanın gerçek çalışması ile ilgili kayıtların hassasiyeti şirketlere bağlı olarak değişmektedir. Genelde bu rakamlar kayıt edilmemektedir. Bazı idareciler, işçinin kayıt için harcayacağı zamanı kayıp olarak görmekte ve bunun çalışma için kullanılması gerektiğine inanmamaktadır. Bu nedenle kayıt yöntemleri basit ve amaca uygun olmalıdır.

En uygun ekipman etkinliği izlenmek isteniyorsa, aşağıdaki iki faktör hayati önem arz eder:

1-Ekipmanın alışma kayıtlarını hassas olarak tutarak, uygun bir yönetim ve kontrol sağlamak.

2-Ekipman alışma şartlarının ölçümü için hassas bir ölçek tasarlamak şarttır.

Faktörler geniş kapsamda düşünölmek zorundadır. Ekipmanın alışma koşulları, yalnızca çalışabilirliğe dayandırıldığı zaman hassas olarak yansıtılamaz. alışabilirlik hesabı yapmak için altı büyük kayıptan yalnızca duruş zamanı (Arıza + ölçü değişimi) hesap edildi. Hız kayıpları, hatalı malzeme kayıpları gibi diğer kayıplar hesaba katılmamıştır.

Ekipmanın gerçek çalışma şartlarını tam ve hassas olarak belirtebilmek için altı büyük ekipman kaybının tümünü hesaba dahil etmek şarttır.

“TPM” Toplam Ekipman Etkinliği ölçümünü; Kullanılabilirlik, Performans oranı, Kalite oranı değerlerinin birbirleriyle (matematiksel olarak) arpılması yoluyla gerçekleştirir. Toplam ekipman etkinliğinin bu ölçümü, ekipman çalışmasının zaman, hız ve kalite faktörlerini birleştirir ve bu faktörlerin, katma değerini nasıl arttırdığını gösterir.

2.8.2 Performans Oranı

Verilen süre üzerinden, verilen hızın korunmasını ölçer. Bununla beraber bu değer bize, mevcut hızın dizayndaki standart hızdan daha mı hızlı yoksa daha mı yavaş olduğunu söylemeyebilir. Bu, ekipmanın düşük hızda çalıştığı sürelerle rağmen çalışmasının dengeli olup olmadığını söyler.

Performans oranı, kaydedilmiş küçük duruşların yanında günlük işlemler sırasında oluşan küçük problemler, ayar kayıpları gibi kaydı tutulmayan kayıpları da hesaplar.

$$\text{Net alışma Oranı} = \text{Mevcut İşlem Zamanı} / \text{alışma Zamanı} \quad (2.4)$$

$$\text{Net alışma Oranı} = \text{Üretilen Miktar} * \text{Mevcut evrim Zamanı} / \text{alışma Zamanı} \quad (2.5)$$

Çalışma hızı oranı ve net çalışma oranını açıkladıktan sonra şimdi performans oranını açıklayabiliriz.

$$\text{Performans Oranı} = \text{Net Çalışma Oranı} * \text{Çalışma Hızı Oranı} \quad (2.6)$$

$$\text{Performans oranı} = \frac{\text{Üretilen Miktar} * \text{Mevcut Çevrim Zamanı}}{\text{Çalışma Zamanı}} * \frac{\text{İdeal Çevrim Zamanı}}{\text{Mevcut Çevrim Zamanı}} \quad (2.7)$$

$$\text{Performans Oranı} = \frac{\text{Üretilen Miktar} * \text{İdeal Çevrim Zamanı}}{\text{Çalışma Zamanı}} \quad (2.8)$$

Özetlersek;

$$\text{Performans Oranı} = \frac{\text{Üretim Zamanı}}{\text{Çalışma Zamanı}} \quad (2.9)$$

Performans oranı, çalışma hızı oranı ve net çalışma oranının bir ürünüdür. Ekipmanın çalışma hızı oranından kasıt *ideal hız* (dizayndaki ekipman kapasitesine dayalı olan hız) ile onun mevcut çalışma hızı arasındaki farkı gösterir.

$$\text{Çalışma Hızı Oranı} = \frac{\text{Teorik (Standart) Çevrim Zamanı}}{\text{Mevcut Çevrim Zamanı}} \quad (2.10)$$

Burada standart çevrim zamanı ve mevcut çevrim zamanı ile neyin kastedildiğini açıklamak gerekir.

İlk olarak *standart çevrim zamanını* ele alalım. Herhangi bir makinede, fabrikanın yetkili zaman metod elemanları tarafından tespit edilmiş olan, işçi ihtiyaçları için verilmiş belirli yüzdedeki artıştan önceki değerdir.

Örnek verirsek;

Bir üretim makinesinde, herhangi bir ölçünün çevrim zamanı 5 dakika olsun. Burada standart zaman belirli yüzdede (örnek olarak %6) arttırma yapılmadan önceki değer yani 4.7 dakika şeklinde hesaplanmıştır.

Standart çevrim zamanı ise; o makinede, mevcut üretim periyodu esnasında ortaya çıkan değerdir. Yani, hız kayıplarından veya diğer duruşlardan dolayı değer artabilir.

Aynı örnek içerisinde performans oranını hesaplayalım. Üretim makinemizde ideal çevrim zamanı 4.7 dakika olsun. Vardiya içerisinde üretilen miktar ise 60 adet olsun. Çalışma zamanı da 380 dakika olarak hesaplanmıştır. O halde bu üretim makinasında;

$$\text{Performans Oranı} = \frac{60 * 4.7 * 100}{380}$$

Performans Oranı = %74 olarak hesaplanır.

2.8.3 Kalite Oranı

Makinada üretim sırasında çıkan ıskarta ve hatalı mallar da o makinanın verimliliğini etkileyen kayıplardır.

Ayrıca, makinanın başlangıçtan rejime oturuncaya kadar geçen süre içinde ürettiği ve yeniden işlenmek zorunda olan mallar var ise bunlar da göz önüne alınmalıdır.

Örneğin bir makinada vardiya içerisinde üretilen miktarın 60 parça olduğu ancak bunlardan 2 adet ıskarta, 1 adet hatalı ve tamir edilmek zorunda olan toplam 3 adet parça olsun. Bu durumda;

$$\text{Kalite Oranı} = \frac{60-3 * 100}{60} = \% 95 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Kısacası;

$$\text{Kalite Oranı} = \frac{\text{İyi Ürün Adedi}}{\text{Girdi}} * 100 \quad (2.11)$$

İyi Ürün Adedi = Girdi – (rejime ulaşma kusurları + proses kusurları + yeniden işlem)

Şu ana kadar verdiğimiz örneği göz önüne alırsak, Toplam Ekipman Etkinliği;

$$\text{OEE} = 0.88 * 0.74 * 0.95 = \% 62 \text{ olarak bulunur.}$$

Bütün bu çalışmalardan anlaşılacağı gibi çalışabilirlik, %88 olmasına rağmen toplam ekipman etkinliğinin gerçek hesaplanmasında aslında tam etkinlikle kullanılmadığı, hatta %50'yi biraz geçmiş olduğu gözükür. Vasat bir şirkette kullanılan ekipmanların ancak kendi verimliliklerinin yarısı veya daha altında çalıştığı bir gerçektir.

Bir makinada Toplam Ekipman Etkinliği hesabına başlamadan önce, o makinada çıkacak gerçek değer (hesapların sağlıklı olması koşuluyla) beklenen değer altında çıkabileceğine hazır olmak gerekir. Mevcut ekipman verimimiz düşük olmasına rağmen; makinada iyileştirmeye yönelik faaliyetlerle verimlilik artırılabilir.

Örnek olarak mevcut ekipman verimimiz %50 olsun. Bu değeri %85'e ulaştırmak için TPM çalışmaları yapılmaya başlansın. Aradaki fark %35'lik bir artıştır. %35 iyileştirmenin %50'lik değere oranı ise toplam ekipman etkinliği içinde %70 artışı (iyileştirmeyi) gösterir.

Toplam ekipman etkinliğindeki artış, üretkenlikte de artış sağlar.

2.8.4 OEE İdeal Değerleri

TPM ödülü almış firmalarda OEE'nin %85 üzerine çıkarılmasıyla elde edilen üretkenlik artışları %50 civarındadır. Hatta %70'e de ulaşılmıştır.

Bu açıklamalardan da anlaşılacağı üzere OEE'de alt sınır %85 olarak öngörülmektedir. Bu değer elde edilmesi için, tecrübelerle dayanılarak elde edilen ideal şartlar en az aşağıdaki gibi olmalıdır [15]:

Kullanılabilirlik %90'dan büyük
Performans Oranı %95'den büyük
Kalite Oranı %99'dan büyük olması gerekir.

Bu takdirde;

$$OEE = 0.90 * 0.95 * 0.99 = \% 85$$

Bu rakamlar basit bir hedef değildir. TPM bu değerlere ulaşmada hedefler belirlemiştir.

3.VERİ ZARFLAMA ANALİZİ (VZA)

Sürekli değişim gösteren rekabet koşullarına ayak uydurabilmek ve daha uzun süre yasayabilmek amacıyla günümüz işletmeleri ellerinde bulundurdukları kaynakları en etkin bir şekilde kullanmak zorundadırlar. Hangi sektörde olursa olsun karlılık esas alındığından etkili etmenleri girdi bazında azaltma çıktı bazında ise artırma yolu verimlilik analizinin esasıdır.[17, 18]

VZA, çok sayıdaki girdi ve çıktı ölçütlerinin nesnel biçimde verimlilik indeksi içinde birleştirilemediği durumlarda göreceli verimlilik ile tek ve ayrıntılı üretkenlik etkinliği ölçümüne çeviren doğrusal programlama tabanlı bir tekniktir [18, 19]. Ağırlıklı olarak 2 farklı durumda bu modele başvurulur: homojen firma ya da departmanlarla (farklı bir firmanın ilgili departmanı-aynı sektörde benzer stratejik hedefler altında) etkinlik performansı kıyaslaması ile uzun bir periyot için bir departman/firmanın etkinlik skorlarını karşılaştırmadır.[20, 21]

VZA, homojen üretim birimlerini kendi aralarında kıyaslamakta; en iyi gözlemi etkinlik sınırı olarak kabul ettikten sonra diğer gözlemler bu en etkin gözleme göre değerlendirilmektedir. Kıyaslama avantajının yanı sıra tek bir zamanda ölçülen, etkinliğe ilişkin bir anlayış geliştirmeyen tekniklere göre üstünlük sunmaktadır.

Görelî etkinliklerin ölçümünde VZA kabaca toplam ağırlıklandırılmış çıktılardan toplam ağırlıklandırılmış girdilere oranı şeklinde ifade edilir. Sanal Çıktı/Sanal Girdi'den oluşan etkinliği doğru kurgulamak kritik bir aşamadır. Her organizasyon farklı ağırlık setlerinden yararlanabilir. Ağırlıklar, her fonksiyonel birim için kendi önem derecelerine göre birleşik etkinlik skorunu maksimize edecek şekilde seçilmektedir. Böylelikle VZA, her performans ölçütünün sahip olabileceği sosyal ve ekonomik değerleri göz ardı etmeksizin teknik etkinliği sağlamaktadır.[18,21]

Değişken ağırlıklandırma hedefler, sorumluluklar ve tedarik türündeki farklılıkları dikkate alarak performans değerlendirmeyi sağlar. Olası ağırlıkların aralığı tümünün pozitif olması, aynı ağırlığı kullanan diğer birimlerle birlikte toplam etkinliğin 1'i aşmaması ile kontrol edilir. Böylelikle tüm firmalar görece etkinlik temelinde değerlendirilir. Yanı sıra, teknik toplam etkinlikte her biri girdi ve çıktının etkisi üzerine bilgi sağlamaktadır.[18]

VZA ilk olarak kar amacı gütmeyen kuruluşlar için geliştirilmiştir. Hastane etkinsizliklerinin teşhisi ve ölçülmesinde, park etkinliklerinin değerlendirilmesinde, bu tür kurumların muhasebe yaklaşımlarıyla karşılaştırılmasında yararlanıldıktan sonra [22]; özel sektörde de kullanılmaya başlanmıştır. Başta tedarik zinciri yönetiminde olmak üzere üniversite departmanları arasında, fast food restoranlar, postanelerde, mahkemelerde, taşımacılıkta, polis karakollarında, farmakolojik firmalar, bankacılık sektörü, kriminolojik vakalar vb. üzerine yapılmış pek çok VZA araştırması literatürde yer almaktadır. VZA modelinin uzun bir periyot gerektiren çalışmalar ile bir birim ya da departmanın gelişmesinde nasıl kullanılacağına ilişkin iki çalışma şu şekildedir: Weber ve Desai (1996) görece tedarikçi performans indeksini oluşturduken [23,24] Clarke ve Gourdin (1991) lojistik sektöründe 17 farklı bakım tesisinde araç bakım faaliyetlerini düzenlerken VZA'dan yararlanmışlardır. [25]

3.1 VZA Modelinin Güçlü Yönleri

VZA, bütünleşik ya da karşılaştırmalı performans kriterlerini dikkate almak, etkin olmayan tesislerdeki açıkları teşhis ederek yeni imalat stratejileri önermek ve iyileştirme ihtiyacını sayısallaştırmak amacıyla kullanılır.[26] İmalat yöneticileri daha çok alternatifleri değerlendirmekle birlikte potansiyel değişikliklerin etkilerinin anında görebileceklerdir. VZA'nın ağırlıklandırmadaki esnek yapısı sektör grubundaki tüm firmalarda değerlendirme ölçütlerinin adilane uygulanmasını ve kriterlerin önem derecelerinin değişebilmesini sağlamaktadır. Modelin başlıca 2 avantajının bu hususlar oluşturmaktadır.

VZA, ağırlık değerlerini etkileyen firmaların farklı karakteristik özelliklerini hesaba katabilecek esneklikte toplam imalat performans indeksini sağlar. Öte yandan, etkin (1.0 skoruna sahip) olarak adlandırılan firmalar arasında herhangi bir ayır edici unsur barındırmasa da etkinsizlikleri tespit etmede etkin bir yöntem olduğu söylenebilir.

VZA; kullanışlı bir denetim tekniği, oran analizi gibi geleneksel karlılık değerlendirme ölçümleri ile sağlanamayan yeni bir bilimsel anlayış sunma, karar birimlerini motive etme avantajlarına rağmen etkinsizlikler için tüm neden ve düzeltmelerin tek başına tespit edemez.

Yıllık genel toplantılar, paydaşlar, departman yöneticileri vb.nin de görüşleri alınmalı , yanlış algılamalara yol açan çevresel faktörler de analiz edilmelidir.[27]

Modelin sunduğu diğer avantajlar:

- Gereksinim duyulan veriler ile analiz sonuçlarının veri tabanı oluşturması,
- Doğrusal form dışında girdi ve çıktıları ilişkilendiren bir fonksiyonel forma ihtiyaç duymama,
- İstatistiksel sınır tahminlerinin ortaya çıkardığı ortalama fonksiyonlar yerine en iyi performans göstermiş birimleri kullanarak modeli anlamlı ve geçerli kılmak.[17]

3.2 VZA Modelinin Zayıf Yönleri

Aşağıdaki özellikleri ile VZA modeli dikkatli analiz edilmeli ve iyileştirilmelidir:

- Önemli bir girdi ya da çıktı göz ardı edilirse sonuçlar yanıltıcı ve yanlış olabilir,
- VZA ile saptanan ağırlıkların yorumlanması dikkatli yapılmalıdır. Yönetim, girdi/çıktıların bireysel performans/önem ölçümlerini, değerlerini belirtmek üzere ağırlıkları yorumlamamalıdır. VZA modeli matematiksel formda ağırlıkları kurgulamaktadır. Fakat ağırlıkların esnekliği ve model tarafından belirlenmesi bazen gerçekçi olmayan etkinlik tahminlerine yol açabilmektedir. Önemli girdi ve çıktı ağırlıklarının düşük, çok önemli olmayan girdi ve çıktı ağırlıklarının ise üstün çıkması nedeniyle bazı karar

birimleri daha etkin olarak görünebilmektedirler. Bu sorunun çözümü için ağırlıkların kısıtlanması gerekmektedir. İmalattaki VZA araştırmaları ileride her ölçüt için olası ağırlıklar aralığını oluşturmaya eğilebilir ve değer sınırları içerisinde teknik ağırlıkların oluşması sağlanabilir.

- VZA, ölçüm sayısının çokluğu faaliyetlerin doğru sunumunu sağladığından geçerliliği yüksek olan göstergeleri sağlar. Fakat, VZA'nın çeviklik kazanması ihtiyacı geçerlilik durumu ile tezat oluşturmaktadır. VZA, efektifliği değil etkinliği ölçmektedir. Bu nedenle, firmanın hedeflerini başarabilmesi için efektif davranışını sağlamak üzere modelde ek bir değerlendirme sistemine ihtiyaç vardır. Bununla birlikte VZA tam etkinliğin değil göreceli etkinliğin ölçüm sistemidir. Dolayısıyla model mutlak etkinliğe ilişkin bilgi vermemektedir.
- Yönetim, VZA sonuçlarını değerlendirirken bu modelin sadece bir araç olduğunu, firmanın iş çevresine ilişkin herhangi bir bilgiyi barındırmadığını unutmamalıdır. VZA sonuçlarından türetilen değerlerin gerçek uygulamada başarılamama ya da istenmemesi olasılığı bulunmaktadır.
- VZA sonuçları ile yönetimin strateji gereği alacağı kararlar birbiri ile çelişebilir. Örneğin, kalite iyileştirme programı kapsamında firma satın alma uzmanlarının sayısını artırabilir. Yönetimin bilinçli bir tercihi olan bu karar VZA sonuçlarında etkisizliğe yol açmaktadır. Bu nedenle, VZA karar verme birimine yardımcı olmaktan başka herhangi bir birimin yerine ikame edilecek bir yönetim tekniği değildir.
- VZA, ekstrem nokta tekniği olarak değerlendirildiği için ölçüm hatasına karşı çok duyarlıdır.
- Parametrik olmayışı istatistiksel hipotez testlerini uygulamayı zorlaştırmaktadır.
- Büyük boyutlu problemlerde VZA modelinin kurulması ve çözümü zaman alıcı olabilir.[19, 23, 17]

3.3 VZA Süreci

VZA modeli için gerekli adımlar,

- Karar verme birimlerinin seçilmesi,

- Girdi ve çıktı kümelerinin seçilmesi,
- VZA ile verilerin güvenilirliği sağlanarak görelî etkinlik ölçümü,
- Etkinlik değerlerinin bulunması
- Etkin olmayan karar birimleri için potansiyel iyileştirme değerlerinin bulunması,

Modelden elde edilen veriler ise şu şekildedir:

- Etkin karar birimleri
- Etkin olmayan birimleri
- Etkin olmayan birimleri tarafından kullanılan fazla kaynak miktarı
- Etkin olmayan birimlerin şu anki girdi miktarları ve üretmeleri gereken çıktı miktarları
- Etkin olmayan birimlerin etkin referans setleri.[18, 24]

3.4 Karar Birimlerinin Seçimi

Seçim iki prensibi dayandırılarak yapılmaktadır:

- Her bir karar birimi ürettiği çıktı ve kullandığı girdilerden sorumlu olmalıdır,
- Etkinlik sınır tahminin anlamlı çıkabilmesi için örnekleme yer alan karar birimi sayısı yeterince büyük olmalıdır .[17]

3.5 Veri Zarflama Analizinin Matematiksel Modelleri

Etkinlik ölçümü yapılmasında değerlendirilecek girdi ve çıktı sayısının artması etkinlik ölçümünün grafiksel olarak çözümlenmesini zorlaştırmaktadır. Çoklu girdi ve çoklu çıktı üreten karar verme birimlerinin etkinliğini ölçmek, hesaplamaları kolaylaştırmak için Charnes, Cooper ve Rhodes' un geliştirmiş olduğu ve çözümlenelerde doğrusal programlamanın kullanıldığı matematiksel modeller kullanılmaktadır. [29]

Charnes, Cooper ve Rhodes'un geliştirdiği CCR modeli ve Banker, Charnes ve Cooper'ın geliştirdiği BCC modeli basitlikleri nedeniyle en çok kullanılan VZA modelleridir. [30]

3.5.1 CCR Modeli

1978 yılında önerilen bu model girdiye yönelik ve çıktıya yönelik olmak üzere iki yönlü olarak kullanılabilir. Charnes, Cooper ve Rhodes Farrell'in etkinlik tanımından faydalanılarak VZA modelinin ilk şeklini oluşturmuştur. Bu modele bu kişilere hitaben CCR modeli yada amaç çarpan değerlerini bulmak olduğundan çarpan modeli de denmektedir.

VZA'de en genel anlamda işletmelerin etkinliği tüm karar verici diğer işletmelere yada firmalara göre ölçülür. Tüm karar verici üniteler ise etkin sınırdaki veya sınırın altında yer alırlar. [31] Sınırın altında yer alan yani etkin olmayan firmaların etkinlik sınırına uzaklığı belirlenir ve performans iyileştirme seçenekleri sunulur bu sayede etkin olmayan firmaların da etkinlik sınırına ulaştırılmaları amaçlanır. [32]

3.5.2 Girdiye Yönelik VZA Modelleri

Belirli bir çıktı bileşimini en etkin bir şekilde üretebilmek amacıyla kullanılacak en uygun girdi bileşiminin nasıl olması gerektiğini araştırır.

Minimum girdi düzeyi ile maksimum çıktı elde edilmesi istenen girdi yönelimli bu modelde temel amaç, x,y düzleminde girdileri minimize etmek olduğundan hem dikey hem de yatay ekseninde mümkün olduğunca orijine yani 0 noktasına yaklaşmaktır. [33] Girdiye yönelik VZA modelleri aşağıda incelenecektir.

3.5.2.1 Oransal VZA Modeli

Oransal model VZA'nın temelini oluşturan modeldir. Ağırlıklı ve zarflama VZA modelleri bu temel modelin eksik yönlerini gidermek için bu modeli esas alarak geliştirilmiştir.

Bu temel modelin açıklanması diğer modellerin de daha iyi anlaşılabilmesine esas teşkil edecektir.. Bu modele göre gözlem kümesindeki her bir karar alma birimi, diğer gözlemlerle karşılaştırılır ve etkinlik düzeyleri belirlenir. Göreli etkinlik ölçütü

(E_k) , k karar birimi için ağırlıklı girdilerin ağırlıklı çıktılara oranı şeklinde ifade edilir.

Etkinliğin temel formülü çıktı / girdi dir. Bu formülü çok girdili ve çok çıktılı duruma uyarlamaya çalışalım. n adet karar biriminin (örneğin etkinlikleri bulunacak n tane okul), m tane girdiyi (örneğin ders saati, öğretmen sayısı, eğitim alan öğrenci sayısı...vb.) kullanarak p tane çıktı (örneğin mezun öğrenci sayısı, mezuniyet ortalaması gibi) elde ettiğini varsayalım ve etkinliğini ölçtüğümüz karar birimine k diyelim. Çok girdili ve çok çıktılı durumda etkinlik formülü şu şekilde ifade edilir.

$$\frac{\text{Çıktı}}{\text{Girdi}} = \frac{u_1 Y_{1k} + u_2 Y_{2k} + \dots + u_p Y_{pk}}{v_1 X_{1k} + v_2 X_{2k} + \dots + v_m X_{mk}} \quad (3.1)$$

Bu oranın hesaplanmasında her zaman tüm u ve v ağırlıklarınının önceden belirlenmesi mümkün olmamaktadır. VZA, veri setini kullanarak doğrusal programlama tekniği ile her bir karar birimi için farklı bir ağırlıklar setinin belirlenmesine imkan verir. Her bir karar birimi, etkinliğini diğer karar birimleri karşısında maksimize edecek bir ağırlıklar seti ile değerlendirilir. [34]

Yukarıda belirtilen oransal modelde VZA ile her bir karar birimi için 0 ile 1 arasında değişen bir etkinlik skoru oluşturulmaktadır. Ayrıca her modelin duali çözümlendiğinde etkin olmayan karar birimlerine hangi etkin birimlerin referans gösterildiği ve etkin duruma gelmeleri için girdi ve çıktı seviyelerinde nasıl düzeltme yapmaları gerektiği ortaya konmaktadır. [35] Etkinlik değerinin VZA' nın koşulu olarak 0 ile 1 arasında olması gerektiğinden şu kısıtın konulması gerekir.

$$\frac{u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j} + \dots + u_p Y_{pj}}{v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j} + \dots + v_m X_{mj}} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (3.2)$$

Ayrıca ağırlıkların pozitif olması gerektiğinden şu kısıtlarda eklenmelidir.

$$v_i > 0 \quad i = 1, \dots, m$$

$$u_r > 0 \quad r = 1, \dots, p \quad (3.3)$$

Tüm amaç ve kısıt fonksiyonlarını birleştirdiğimizde şu oransal modele ulaşırız:

$$(E_k)_{\max} = \frac{u_1 Y_{1k} + u_2 Y_{2k} + \dots + u_p Y_{pk}}{v_1 X_{1k} + v_2 X_{2k} + \dots + v_m X_{mk}} \quad (3.4)$$

Şu kısıtlar altında

$$\frac{u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j} + \dots + u_p Y_{pj}}{v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j} + \dots + v_m X_{mj}} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (3.5)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \quad (3.6)$$

$$u_1, u_2, \dots, u_p \geq 0 \quad (3.7)$$

Bunu daha genel şekilde yazarsak aşağıdaki genel formu elde ederiz bu model VZA'nın temelini oluşturan modeldir.

$$E_k = \text{Max} \left(\sum_{r=1}^p u_r Y_{rk} \right) / \left(\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} \right) \quad (3.8)$$

Karar birimi (k) ağırlıkların., diğer karar birimleri de bu seçilen ağırlığı kullandığında etkinlik skorlar. (1)' den büyük olmayacak şekilde seçmek zorundadırlar. Aksi halde karar birimi (k) etkinlik değeri olarak (1)'i yakalarken, diğer. karar birimleri (1)'in üzerinde etkinlik skorlar. yakalayabilirler. Bu nedenle karar birimlerinin alacağı ağırlıklara kısıt koymak gerekmektedir. Bu kısıt aşağıda belirtildiği şekilde ifade edilebilir. [36]

$$\left(\sum_{r=1}^p u_r Y_{rj} \right) / \left(\sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \right) \leq 1, j = 1, \dots, n \quad (3.9)$$

$$u_r \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, p; \quad v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.10)$$

Burada:

u_r : k karar birimi tarafından r'inci çıktıya verilen ağırlık,

v_i : k karar birimi tarafından i'inci girdiye verilen ağırlık,

Y_{rk} : k karar birimi tarafından üretilen r'inci çıktı,

X_{ik} : k karar birimi tarafından kullanılan i'inci girdi,

Y_{rj} : j'inci karar birimi tarafından üretilen r'inci çıktı,

X_{ij} : j'inci karar birimi tarafından üretilen i'inci girdi,

ε : Yeterince küçük pozitif bir sayı (örneğin 0,00001), ("ε", non-Archimedean sabiti olarak bilinen ve 10^{-6} civarında, ihmal edilebilir bir değerdir.) [37]

Bu modeli matrissel olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$E_k = \text{Max } (u^t Y^k) / v^t X^k \quad (3.11)$$

Aşağıdaki kısıtlar altında:

$$(u^t Y) / v^t X \leq 1, \quad (3.12)$$

$$u \geq \varepsilon, \quad v \geq \varepsilon, \quad (3.13)$$

Burada:

u^t : k karar birimi açısından çıktıya ait ağırlık vektörünün transpozesi,

v^t : k karar birimi açısından girdiye ait ağırlık vektörünün transpozesi,

Y^k : k karar birimine ait çıktı vektörü,

X^k : k karar birimine ait girdi vektörü,

Y : Ölçümü yapılan gözlem kümesine ait karar birimlerinin çıktılarını belirleyen matris,

X : Ölçümü yapılan gözlem kümesine ait karar birimlerinin girdilerini belirleyen matris,

ε : Yeterince küçük pozitif bir sayı (örneğin 0,00001),

Yukarıdaki oransal programın amaç fonksiyonundan da anlaşılacağı üzere, gözlem kümesindeki her bir karar birimi göz önüne alınarak diğer gözlemlerle karşılaştırılmalı olarak etkinlik düzeyi ölçülmektedir. Göreli etkinlik ölçütü (E_k), “k” karar birimi için ağırlıklı çıktıların ağırlıklı girdilere oranı şeklinde ifade edilmektedir.. Bu karar birimi için etkinlik ölçütü en çoklanmaya çalışılırken (3.5) aynı ölçütün (oranın) diğer karar birimleri açısından da 1’den küçük ya da 1’e eşit olması koşulu (3.6) göz önünde bulundurulmaktadır. Amaç fonksiyonunda en çoklanması istenen oran aynı zamanda (3.6) numaralı koşullarda da mevcuttur. Bu koşul nedeniyle amaç fonksiyonunun alabileceği en yüksek değer “1”dir. Bu değer normalizasyon amacıyla “1” seçilmiştir. Yukarıdaki program aracılığıyla göreli etkinliği ölçülen “k” karar birimi için girdi-çıktı ağırlık vektörlerinin (u,v) değerleri hesaplanır. Ayrıca bu değerlerin yeterince küçük pozitif bir sayı olan ε ’dan büyük ya da ε ’a eşit olması şartı vardır. (3.10) Bu koşul aracılığıyla, etkinlik ölçümünü gerçekleştiren analist tarafından göz önüne alınan herhangi bir girdi ya da çıktı bileşeninin ağırlıklarını belirleyen u_r ve v_i değerlerinin 0’a eşitlenmesi engellenmeye çalışılmaktadır.

Her ne kadar bu programın amaç fonksiyonundaki oran, ağırlıklandırılmış çıktının ağırlıklandırılmış girdiye oranını ya da verimlilik kavramını yansıtmaktaysa da, bu programın doğrusal bir program olmaması nedeniyle çözüm tekniği açısından bazı sorunlar çıkmaktadır. Charnes ve Cooper (1962)’ın önerdiği değişken dönüşümü yardımıyla yukarıdaki oransal programdan aşağıdaki doğrusal program elde edilebilir. (Değişken dönüşümü sonrasında (u,v) vektörü (μ, ν) vektörü şeklinde ifade edilmektedir.)

3.5.2.2 Ağırlıklı VZA Modeli

Ağırlıklı VZA modeli oransal VZA modelinin doğrusal programa dönüştürülmüş şeklidir. Yukarıda bahsedilen oransal eşitsizlikler setini doğrusal programlama formuna çevirip uygulamalarla çözüme ulaşmak için maksimizasyon formundaki amaç fonksiyonunun (3.4) paydası 1’e eşitlenir (normalizasyon) ve bu eşitlik kısıt olarak yazılır. [38]

Zira doğrusal programlamanın amaç fonksiyonunun paydalı şekilde olması mümkün değildir. u ve v ağırlık değişkenleri de μ ve ν olarak yazıldıktan sonra aşağıdaki model oluşur.

$$(E_k)_{\max} = \mu_1 Y_{1k} + \mu_2 Y_{2k} + \dots + \mu_p Y_{pk} \quad (3.14)$$

Şu kısıtlar altında

$$v_1 X_{1k} + v_2 X_{2k} + \dots + v_m X_{mk} = 1 \quad (3.15)$$

$$\mu_1 Y_{1j} + \mu_2 Y_{2j} + \dots + \mu_p Y_{pj} \leq v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j} + \dots + v_m X_{mj} \quad j = 1, \dots, n \quad (3.16)$$

$$v_i > 0 \quad i = 1, \dots, m \quad (3.17)$$

$$\mu_r > 0 \quad r = 1, \dots, p \quad (3.18)$$

Bu modeli de genel olarak aşağıdaki şekilde yazmak mümkündür.

$$E_k = \text{Max} \left(\sum_{r=1}^p u_r Y_{rk} \right) \quad (3.19)$$

Aşağıdaki kısıtlar altında:

$$\sum_{i=1}^m v_{ik} = 1, \quad (3.20)$$

$$\sum_{r=1}^p \mu_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (3.21)$$

$$\mu_r \geq \epsilon, \quad r = 1, \dots, p; \quad v_i \geq \epsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.22)$$

VZA' nın ağırlıklı modeline göre etkinlik ölçümünde kullanılacak genel form yukarıdaki gibi olmaktadır. Bu model matrisel olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$E_k = \text{Max} \mu^t Y^k \quad (3.23)$$

Aşağıdaki kısıtlar altında:

$$v^t X^k = 1, \quad (3.24)$$

$$\mu^t Y - v^t X \leq 0, \quad (3.25)$$

$$\mu \geq \varepsilon, \quad v \geq \varepsilon, \quad (3.26)$$

Bu modele göre, amaç fonksiyonunda k karar birimi için ağırlıklandırılmış çıktı en çoklanmaya çalışılırken (3.19) ağırlıklandırılmış girdi normalize edilmiştir (3.20). Eğer “k” karar birimi etkin ise amaç fonksiyonunun değeri “1” e eşit olur ve bu karar birimiyle ilgili kısıt “0” a eşitlenir. Eğer etkinliği ölçülen karar birimi etkin değilse, bu durumda amaç fonksiyonunun değeri 1’den küçük olacaktır. Bu karar birimlerinin etkin hale getirilebilmesi için, hangi referans kümelerinin kullanılacağı tespit edilir. Bunun için de etkin olmayan karar biriminin çözümünde ortaya çıkan çıktıya ve girdiye verilen ağırlık değerleri (μ_r ve v_i) tüm kısıtlarda yerine konarak sıfıra eşitlenen kısıt karar birimi, kendi referans kümesine girer. Etkin olmayan karar birimi, kendi referans kümelerini oluşturan karar birimlerinin değerleriyle oluşturulan kuramsal birime benzetilmek suretiyle etkin hale getirilir. Bu modelde referans kümelerini oluşturmak zaman almaktadır. Zarflama modelinde ise bu işlem çok daha kolay yapılabilmektedir.

Bu modelde VZA karar birimlerinin görelî etkinliklerini ölçer ancak kesin etkinlik değerlerini vermez. Diğer bir şekilde veri zarflama analizi etkin birimlerin etkinsiz birimlere göre ne kadar etkin olduklarını ortaya koyar, ancak maksimuma göre nerede olduklarını söyleyemez. [39]

3.5.2.3 VZA’nın Zarflama Modeli

Zarflama modeli ağırlıklı modelin duali alınarak elde edilmiş modeldir. Ağırlıklı modelle, zarflama modellerinden elde edilecek sonuçlar aynıdır. Ancak zarflama modelinde radyal olarak ölçülmeyen fakat azaltılması veya arttırılması mümkün olan atıl girdi ve çıktı vektörünün hesaplanması mümkündür. Böylece incelenen karar birimlerinin hangi girdi ve/veya çıktısının ne oranda kullanılmadığını yani atıl bırakıldığını görebiliriz.

Ayrıca bu yöntemde ağırlıklı yöntemle göre referans kümesinin bulunması daha kolaydır ve daha kısa sürmektedir. Etkinliği ölçülen karar biriminin modeli çözümlendiğinde çıkan sonuçlarda diğer karar birimlerine ait yoğunluk değerleri 1 ile 0 arasında olanlar incelenen karar biriminin (etkin olmayan) referans kümesini oluşturur. Ayrıca VZA'nın yapısı gereği karar birimi sayısı (n), girdi ve çıktı sayılarından (m+p) daha fazladır. Bu nedenle ağırlıklı modeli çözmek daha fazla zaman almaktadır. Ağırlıklı modelde (n) adet kısıtlayıcı denklem varken, Zarflamalı VZA modelinde (m+p) tane kısıtlayıcı denklem vardır. Zarflamalı VZA modelinin bu avantajlarından dolayı kullanıma daha uygundur.

Ağırlıklı doğrusal programlama modelinin duali alındığında zarflama modeli oluşur.

Bu model şu şekildedir:

$$E_k = \text{Min } \alpha - \varepsilon \cdot \sum_{i=1}^m s_i^- - \varepsilon \cdot \sum_{r=1}^p s_r^+ \quad (3.27)$$

Aşağıdaki kısıtlar altında:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + s_i^- - \alpha \cdot X_{ik} = 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.28)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j + s_r^+ = Y_{rk}, \quad r = 1, \dots, p \quad (3.29)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n; \quad (3.30)$$

$$s_i^- \geq 0, \quad i = 1, \dots, m; \quad (3.31)$$

$$s_r^+ \geq 0, \quad r = 1, \dots, p \quad (3.32)$$

Burada:

α : Görelî etkinliği ölçülen k karar biriminin girdilerinin ne kadar azaltılabileceğini belirleyen büzölme katsayısı,

Y_{rk} : k karar birimi tarafından üretilen r'inci çıktı,

X_{ik} : k karar birimi tarafından kullanılan i'inci girdi,

Y_{rj} : J'inci karar birimi tarafından üretilen r'inci çıktı,

- X_{ij} : J'inci karar birimi tarafından kullanılan i'inci girdi,
 λ_j : J'inci karar biriminin aldığı yoğunluk değeri,
 s_i^- : k karar biriminin i'inci girdisine ait atıl değer,
 s_r^+ : k karar biriminin r'inci çıktısına ait atıl değer,
 ε : Yeterince küçük pozitif bir sayı.

Bu modelin matrisel olarak gösterimi de şu şekilde olmaktadır.

$$E_k = \text{Min } \alpha - \varepsilon s^- - \varepsilon s^+ \quad (3.33)$$

Aşağıdaki kısıtlar altında:

$$X\lambda + s^- - \alpha x^k = 0, \quad (3.34)$$

$$Y\lambda - s^+ = Y^k, \quad (3.35)$$

$$\lambda, s^-, s^+ \geq 0, \quad (3.36)$$

Burada:

α : Görelî etkinliği ölçülen k karar biriminin girdilerinin radyal olarak ne kadar azaltılabileceğini belirleyen büzülme katsayısı,

Y^k : k karar birimine ait çıktı vektörü,

X^k : k karar birimine ait girdi vektörü,

Y : Ölçümü yapılan gözlem kümesindeki karar birimlerine ait çıktı matrisi,

X : Ölçümü yapılan gözlem kümesindeki karar birimlerine ait girdi matrisi,

λ : Gözlem kümesindeki karar birimlerine ait yoğunluk vektörü,

s^- : k karar birimine ait atıl girdi vektörü,

s^+ : k karar birimine ait atıl çıktı vektörü.

Bu programın amaç fonksiyonunda, belirli bir çıktı düzeyi için etkinliği ölçülen k karar birimine ait girdilerin “radyal” olarak ne kadar azaltılabileceği araştırılmaktadır.

Eğer söz konusu karar birimi etkin ise girdi vektöründe herhangi bir azalma yapılamaz. Bu durumda görelî etkinlik ölçütü $E_k = 1$ 'e eşit olur ($\alpha = 1$, $s^- = 0$, $s^+ = 0$). Ayrıca, kendi referans kümesindeki (RK) yine kendisi bulunur ve $\lambda_k = 1$ 'e eşit olur.

Eğer ölçülen karar birimi etkin değilse etkinlik ölçütünün belirleyen α büzülme katsayısı 1'den küçük olacaktır. Bu durum, girdi vektöründe radyal olarak azaltma yapılabileceği anlamına gelmektedir. [40]

Diğer taraftan, bu karar biriminin görelî etkinliğinin ölçülmesine yarayacak olan ve etkinlik sınırı (zarfı) üzerinde yer alan kuramsal karar birimini oluşturan referans birimlerin λ 'ları 0'dan büyük olur. Söz konusu kuramsal birim, gözlem kümesi içinde ölçümü yapılan k karar biriminin teknolojik yapısına en çok benzeyen en iyi gözlemlerin doğrusal bileşimi şeklinde oluşturulur.

Bu karar birimi gerçek bir gözlem olmamasına karşın VZA'nin bir varsayımı olarak etkinlik ölçümünü gerçekleştirebilmek amacıyla etkin bir gözlemlenmiş gibi kabul edilmektedir. Kuramsal birimin girdi ve çıktı vektörleri ise şu şekilde hesaplanabilir:

$$X^{Kk} = X \cdot \lambda \quad (3.37)$$

$$Y^{Kk} = Y \cdot \lambda \quad (3.38)$$

Kuramsal birim "Zarflama" modelinin çözüm kümesindeki diğer değişkenlerden yararlanılarak daha başka şekilde de hesaplanabilir:

$$X^{Kk} = \alpha X^K - s^- \quad (3.39)$$

$$Y^{Kk} = Y^k + s^+ \quad (3.40)$$

Etkin olmayan bir karar birimi, girdi vektörünü ($[1-\alpha] \cdot X^k + s^-$) kadar azaltmak ve çıktı vektörünü de s^+ kadar artırmak şartı ile etkin hale dönüşebilir.

3.5.3 Çıktıya Yönelik VZA Modelleri

Girdiye yönelik VZA modellerine benzer şekilde çıktıya yönelik VZA modellerini de tanımlamak mümkündür. Bu tip modellerin girdiye yönelik olanlardan farkı,

ağırlıklandırılmış girdinin ağırlıklandırılmış çıktıya oranının enazlanması şeklinde özetlenebilir.

Diğer bir deyişle, Belirli bir girdi bileşeni kullanarak en fazla ne kadar çıktı bileşeni elde edilebileceğini araştıran modellerdir. [41]

Girdiye yönelik VZA modellerinde olduğu gibi çıktıya yönelik modeller de üç grup altında toplanabilirler.

3.5.3.1 Oransal VZA Modeli

Çıktıya yönelik oransal modelin oluşumu girdiye yönelik oransal modelin tersi şeklinde olmaktadır. Girdiye yönelik modellerde çıktı/girdi (ağırlıklandırılmış) oranının maksimum olması istenirken (3.4) çıktıya yönelik modellerde tersi olarak girdi/çıkıtı oranının minimizasyonu esas alınır.

Girdiye yönelik oransal modelin amaç fonksiyonunun (3.8) tersi düşünüldüğünde aşağıdaki amaç fonksiyonu elde edilir (3.41). Kısıtlar için ise girdiye yönelik modelde, ağırlıklı çıktıların ağırlıklı girdilere oranının 1' den küçük yada eşit olma koşulu vardı. (3.9) Bu da etkinlik değerlerinin 1' den küçük olmasını sağlıyordu ve en etkin birimin etkinlik değeri 1' e eşit oluyordu. Çıktıya yönelik modelde ise ağırlıklı girdilerin ağırlıklı çıktılara oranının en azlanması söz konusu olduğundan kısıt olarak bu oranın 1' den küçük ve 1' e eşit olması koşulu vardır (3.42). Böylece etkinliği ölçülen karar birimlerinden etkinliği maksimum olanlar 1' e eşit olacak etkinliği düşük olan birimlerin etkinlik değerleri de 1' den büyük olacak.

Bu doğrultuda çıktıya yönelik oransal VZA modelinin şu şekilde göstermek mümkündür :

$$E_k = \left(\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} \right) / \left(\sum_{r=1}^p u_r Y_{rk} \right) \quad (3.41)$$

Aşağıdaki kısıtlar altında :

$$\left(\sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \right) / \left(\sum_{r=1}^p u_r Y_{rj} \right) \geq 1, \quad j = 1, \dots, n \quad (3.42)$$

$$u_r \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, p; \quad v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.43)$$

Burada :

v_i : k karar birimi tarafından i' inci girdiye verilen ağırlık,

u_r : k karar birimi tarafından r' inci çıktıya verilen ağırlık,

X_{ik} : Göreli etkinliği ölçülen k karar birimi tarafından kullanılan i' inci girdi,

Y_{rk} : Göreli etkinliği ölçülen k karar birimi tarafından üretilen r' inci çıktı,

X_{ij} : j' inci karar birimi tarafından kullanılan i' inci girdi,

Y_{rj} : j' inci karar birimi tarafından üretilen r' inci çıktı,

ε : Yeterince küçük pozitif bir sayı,

Bu model matrissel olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir :

$$E_k = \text{Min} (v^t X^k) / u^t Y^k \quad (3.44)$$

$$(v^t X) / u^t Y \geq 1 \quad (3.45)$$

$$u \geq \varepsilon, \quad v \geq \varepsilon, \quad (3.46)$$

Burada :

v^t : k karar birimi açısından girdiye ait ağırlık vektörünün transpozesi,

u^t : k karar birimi açısından çıktıya ait ağırlık vektörünün transpozesi,

X^k : k karar birimine ait girdi vektörü,

Y^k : k karar birimine ait çıktı vektörü,

X : Ölçümü yapılan gözlem kümesine ait karar birimlerinin girdilerini belirleyen matris,

Y : Ölçümü yapılan gözlem kümesine ait karar birimlerinin çıktılarını belirleyen matris,

ε : Yeterince küçük pozitif bir sayı,

Bu programın amaç fonksiyonunda (3.41), E_k ' nin alacağı en küçük değer 1' dir. Çünkü aynı oran (3.42) kısıtlarında da mevcuttur. E_k ' nin 1' e eşit olması, k karar biriminin etkin olduğu anlamına gelirken 1' den büyük olması da etkin olmadığını göstermektedir. Bu modelde de , girdiye yönelik oransal model de olduğu gibi (v,u) ağırlık vektörlerinin değerleri araştırılmaktadır.

Bu oransal programın doğrusal bir program haline dönüştürülmesi ile çıktıya yönelik ağırlıklı VZA modeli aşağıdaki açıklanmaktadır.

3.5.3.2 Ağırlıklı VZA Modeli

Çıktıya yönelik ağırlıklı VZA modeli, çıktıya yönelik oransal modelin doğrusal programlamaya dönüştürülmüş şeklidir. Bu model girdiye yönelik ağırlıklı VZA'nın tersi şeklindedir. Amaç belli bir çıktıyı daha az girdi kullanarak elde etmek olduğundan bu modelde ağırlıklı çıktılar minimize edilmeye çalışılıyor (3.47). Çıktılar ise normalizasyon kısıtı olarak yazılıyor (3.48).

Burada da oransal modelde kullanılan ağırlık değişkenleri u ve v , μ ve ν olarak değiştirilir. Bu model aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$E_k = \text{Min} \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} \quad (3.47)$$

Aşağıdaki kısıtlar altında:

$$\sum_{r=1}^p \eta_r Y_{rk} = 1, \quad (3.48)$$

$$\sum_{r=1}^p \eta_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (3.49)$$

$$\eta_r \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, p; \quad v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.50)$$

Bu modelin matrissel gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$E_k = \text{Min} \quad v^t X^k \quad (3.51)$$

Aşağıdaki kısıtlar altında:

$$\eta^t Y^k = 1, \quad (3.52)$$

$$\eta^t Y - v^t X \leq 0, \quad (3.53)$$

$$\eta \geq \varepsilon, \quad v \geq \varepsilon, \quad (3.54)$$

Bu modele göre eğer görelî etkinliği ölçülen k karar birimi etkin ise amaç fonksiyonunun değeri $E_k = 1$ olur ve bu karar birimiyle ilgili (3.52) kısıtı $\eta^t Y - \nu^t X = 0$ şekline dönüşür. Eğer görelî etkinliği ölçülen k karar birimi etkin değilse, bu durumda amaç fonksiyonunun değeri 1' den büyük olacak ve bu birimin referans kümesini (RK) oluşturan karar birimleri için $\eta^t Y - \nu^t X = 0$ kısıtları eşitlik haline dönüşecektir.

3.5.3.3 Zarflama VZA Modeli

Bu model de çıktıya yönelik ağırlıklı VZA modelinin duali alınarak elde edilir. Etkin olan karar birimlerin etkinlik değerleri (E_k) 1' e eşit olacaktır, etkin olmayan karar birimlerinin etkinlik değerleri ise 1'den büyük olacaktır. Girdiye yönelik zarflama VZA modeli ile mantık olarak aynıdır. Ancak bu modelde etkin olmayan karar birimlerinin etkin hale getirmek için aynı girdi miktarları kullanılarak çıktı miktarlarının ne kadar arttırılması gerektiği elde edilir. Çıktıya ait genişleme katsayısı (β) değeri bize çıktı miktarlarının (girdiler sabit kalmak koşulu ile) ne oranda arttırılabileceğini verir.

Çıktıya yönelik ağırlıklı doğrusal programlama modelinin (3.46)-(3.49) duali alındığında çıktıya yönelik zarflama modeli oluşur. Bu model şu şekildedir [16]:

$$E_k = \text{Max } \beta + \varepsilon \cdot \sum_{i=1}^m \sigma_i^- + \varepsilon \cdot \sum_{r=1}^p \sigma_r^+ \quad (3.55)$$

Aşağıdaki kısıtlar altında:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \theta_j + \sigma_i^- - X_{ik} = 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.56)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{rj} \theta_j - \sigma_r^+ - \beta \cdot Y_{rk} = 0, \quad r = 1, \dots, p \quad (3.57)$$

$$\theta_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (3.58)$$

$$\sigma_i^- \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.59)$$

$$\sigma_r^+ \geq 0, \quad r = 1, \dots, p \quad (3.60)$$

Burada:

- β : Çıktıya ait genişleme katsayısı,
 X_{ik} : k karar birimi tarafından kullanılan i'inci girdi,
 Y_{rk} : k karar birimi tarafından üretilen r'inci çıktı,
 X_{ij} : j'inci karar birimi tarafından kullanılan i'inci girdi,
 Y_{rj} : j'inci karar birimi tarafından üretilen r'inci çıktı,
 θ_j : j'inci karar biriminin aldığı yoğunluk değeri,
 σ_i^- : k karar biriminin i'inci girdisine ait atıl değer,
 σ_r^+ : k karar biriminin r'inci çıktısına ait atıl değer,
 ε : Yeterince küçük pozitif bir sayı.

Bu model matrissel olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$E_k = \text{Max } \beta + \varepsilon\sigma^- + \varepsilon\sigma^+ \quad (3.61)$$

Aşağıdaki kısıtlar altında:

$$X\theta + \sigma^- - X^k = 0, \quad (3.62)$$

$$Y\theta - \sigma^+ - \beta Y^k = 0, \quad (3.63)$$

$$\theta, \sigma^-, \sigma^+ \geq 0. \quad (3.64)$$

Burada:

- β : k karar biriminin çıktılarının radyal olarak ne kadar artırılabilirliğini belirleyen genişleme katsayısı,
 X^k : k karar birimine ait girdi vektörü,
 Y^k : k karar birimine ait çıktı vektörü,
 X : Ölçümü yapılan gözlem kümesindeki karar birimlerine ait girdi matrisi,
 Y : Ölçümü yapılan gözlem kümesindeki karar birimlerine ait çıktı matrisi,
 θ : Gözlem kümesindeki karar birimlerine ait yoğunluk vektörü,
 σ^- : k karar birimine ait atıl girdi vektörü,
 σ^+ : k karar birimine ait atıl çıktı vektörü,
 ε : Yeterince küçük pozitif bir sayı.

$\theta, \sigma^-, \sigma^+$ 'nın dual değişkenler olduğu açıktır. β ise radyal çıktı genişlemesini belirleyen katsayıdır. β 'nin alacağı sayısal değerler 1'e eşit ya da daha büyük olabilir.

Bu programın amaç fonksiyonunda, kullanılan belirli bir girdi kümesi için etkinliği ölçülen k karar birimine ait çıktıların “radyal” olarak ne kadar azaltılabileceği araştırılmaktadır. Eğer söz konusu karar birimi etkin ise çıktı vektöründe herhangi bir arttırma yapılamaz. Bu durumda görelî etkinlik ölçütü $E_k=1$ 'e eşit olur ($\alpha = 1$, $s^- = 0$, $s^+ = 0$). Ayrıca, kendi referans kümesindeki (RK) yine kendisi bulunur ve $\lambda_k=1$ 'e eşit olur. Eğer ölçülen karar birimi etkin değilse etkinlik ölçütünün belirleyen β genişleme katsayısı 1'den büyük olur. Bu durum, çıktı vektöründe radyal olarak arttırma yapılabileceği anlamına gelmektedir.

Diğer taraftan, bu karar biriminin görelî etkinliğinin ölçülmesine yarayacak olan ve etkinlik sınırı (zarfı) üzerinde yer alan kuramsal karar birimini oluşturan referans birimlerin θ 'ları 0'dan büyük olur. Söz konusu kuramsal birim, gözlem kümesi içinde ölçümü yapılan k karar biriminin teknolojik yapısına en çok benzeyen en iyi gözlemlerin doğrusal bileşimi şeklinde oluşturulur.

Kuramsal birimin girdi ve çıktı vektörleri de girdiye yönelik VZA modeline benzer olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$X^{Kk} = X^K - \sigma^- \quad (3.65)$$

$$Y^{Kk} = \beta \cdot Y^K + \sigma^+ \quad (3.66)$$

Etkin olmayan bir karar birimi, çıktı vektörünü ($[\beta-1] \cdot Y^k + s^+$) kadar arttırmak ve girdi vektörünü de s^- kadar azaltmak şartı ile etkin hale dönüşebilir. Etkin olmayan bir karar biriminin nasıl etkin duruma dönüşebileceğine değin bilgileri türeterek yöneticilere yol gösterme özelliği nedeniyle VZA yaklaşımı uygulamada oldukça geniş bir kullanım alanı bulmuştur.

3.5.3.4 BCC Girdi Yönlü Dual Modeli

$$E_k = \text{Min } \alpha - \varepsilon \cdot \sum_{i=1}^m s_i^- - \varepsilon \cdot \sum_{r=1}^p s_r^+ \quad (3.67)$$

Aşağıdaki kısıtlar altında:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j + s_i^- - \alpha X_{ik} = 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.68)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j + s_r^+ = Y_{rk}, \quad r = 1, \dots, p \quad (3.69)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n; \quad (3.70)$$

$$s_i^- \geq 0, \quad i = 1, \dots, m; \quad (3.71)$$

$$s_r^+ \geq 0, \quad r = 1, \dots, p \quad (3.72)$$

Burada:

α : Görelî etkinliği ölçülen k karar biriminin girdilerinin ne kadar azaltılabileceğini belirleyen büzölme katsayısı,

Y_{rk} : k karar birimi tarafından üretilen r'inci çıktı,

X_{ik} : k karar birimi tarafından kullanılan i'inci girdi,

Y_{rj} : J'inci karar birimi tarafından üretilen r'inci çıktı,

X_{ij} : J'inci karar birimi tarafından kullanılan i'inci girdi,

λ_j : J'inci karar biriminin aldığı yoğunluk değeri,

s_i^- : k karar biriminin i'inci girdisine ait atıl değeri,

s_r^+ : k karar biriminin r'inci çıktısına ait atıl değeri,

ε : Yeterince küçük pozitif bir sayı.

3.5.3.5 BCC Çıktı Yönlü Dual Modeli

$$E_k = \text{Max } \beta + \varepsilon \cdot \sum_{i=1}^m \sigma_i^- + \varepsilon \cdot \sum_{r=1}^p \sigma_r^+ \quad (3.73)$$

Aşağıdaki kısıtlar altında:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \theta_j + \sigma_i^- - X_{ik} = 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.74)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{rj} \theta_j - \sigma_r^+ - \beta \cdot Y_{rk} = 0, \quad r = 1, \dots, p \quad (3.75)$$

$$\theta_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (3.76)$$

$$\sigma_i^- \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.77)$$

$$\sigma_r^+ \geq 0, \quad r = 1, \dots, p \quad (3.78)$$

Burada:

β : Çıktıya ait genişleme katsayısı,

X_{ik} : k karar birimi tarafından kullanılan i'inci girdi,

Y_{rk} : k karar birimi tarafından üretilen r'inci çıktı,

X_{ij} : j'inci karar birimi tarafından kullanılan i'inci girdi,

Y_{rj} : j'inci karar birimi tarafından üretilen r'inci çıktı,

θ_j : j'inci karar biriminin aldığı yoğunluk değeri,

σ_i^- : k karar biriminin i'inci girdisine ait atıl değer,

σ_r^+ : k karar biriminin r'inci çıktısına ait atıl değer,

ε : Yeterince küçük pozitif bir sayı.

Dikkat edilirse modeller girdi yönlü CCR modellerine oldukça benzemektedirler. CCR modelinden farkı λ 'ların toplamının 1'e eşit olmasıdır. CCR modelinde orijinden geçen etkinlik doğrusu BCC modelinde orijinden geçmek zorunda değildir. Bu yapıyla BCC modeli CCR modelinden ayrılmaktadır. Modellerin diğer değişkenler açısından yorumunda bir farklılık yoktur.

3.6 İmalat Sektöründe VZA Uygulamaları

Hizmet sektöründe finans, eğitim, sağlık vb. alanlarında kullanılan VZA imalat sektöründe de çeşitli çalışmalara konu olmuştur:

Talluri (1997) hücre performansını ölçüme ve iyileştirmeye yönelik 3 aşamalı bir metodoloji geliştirmiştir. Arcelus ve Arozena (1999), OECD'nin uluslar arası sektörel veri tabanından 2 sektördeki (imalat ve hizmet) 14 ülkenin birbiri ile ve zamana göre verimlilik değişimlerini değerlendirmişlerdir.

Norveç ve Amerika, 1970-90, 1970-80 ve 1980-90 periyotlarında her ülkenin varyasyon katsayılarının uygunluğu ve sektörel etkinlik skorlarının geometrik ortalamalarına göre en iyi verileri ve uygulamaları sağlamaktadır. Hizmet sektöründe *uçuculuk* – somut veri noksanlığı- yüksek olduğundan imalat sektörüne göre daha çok sınırı bulunmaktadır.

Yan ve arkadaşları (2002) karar birimlerinin bazı girdi/çıktı mevcudiyetleri değiştirildiğinde girdi/çıktı seviyelerini tahmin etmek üzere ters bir VZA modeli önermişlerdir. Kaynakların yeniden tahsis edilmesinde kullanışlı bir yöntemdir.

Bir başka çalışmada Korhonen ve Luptacik (2004) VZA'yı 24 enerji tesisinde *eko-etkinliğin* tahmininde kullanmışlardır. Ortaya çıkan iki yaklaşım:

- 1- Teknik etkinlik (girdiye göre arzulanan çıktıyı belirlemek için) ile ekolojik etkinliği (istenmeyen çıktılara göre arzulana çıktıyı belirlemek için) kombine etmek,
- 2- Kirletici maddeleri girdi olarak almaktır.

Her iki yaklaşım da benzer sonuçları verse de ikincisinin *eko-etkinliğe* ilişkin daha derin bir kavrayış yarattığı belirtilmiştir.

Sezen ve Doğan (2005) ise gemi inşası ve bakımının etkinliğini ölçmek üzere VZA'dan yararlanmışlardır. Guen (2006) de teknolojik inovasyon yeteneği ile

girişimcilik ile sağlanan rekabet gücü arasındaki ilişkiyi araştırmak üzere sistematik, nicel bir metodoloji geliştirmiştir. Çin’de yenilikçi 182 firmada yapılan VZA uygulaması sadece 16%’sının en iyi pratik düzeyinde çalıştığını ve inovasyon ile rekabetçilik arasında bazı tutarsızlıkların olduğunu göstermiştir [39].

Çizelge 3.1 Literatürdeki Girdi ve Çıktı Değişkenleri [43] [45]

Makale	Girdi	Çıktı
Jian Liu and De-jie YU "Evaluation of Plant Maintenance Based on Data Envelopment Analysis"	Sermaye	Ekipman kaza kaybı
	Teçhizat, Malzeme, Aksam	Dengeli operasyon zamanı
	Çalışanlar	
Fu-Kwan Wang "Evaluating the Efficiency of Implementing Total Productive Maintenance"	TPM'e geçilene kadar geçen süre	Finansal Sonuçlar
	Çalışan Sayısı	Kullanılabilirlik (Availability)
	TPM Bütçesi	Performans Etkinliği
		Kalite Oranı

Yapılan literatür araştırması sonucunda çoğunlukla yukarıdaki tabloda da görüldüğü şekilde girdi ve çıktı değişkenlerinin kullanıldığı görülmüştür. Ve yapılan değerlendirme sonucunda girdi ve çıktı değişkenleri şu şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 3.2 Seçilen Girdi ve Çıktı Değişkenleri

Girdi	Çıktı
Sermaye / Yatırım Maliyeti X1	Kullanılabilirlik Oranı(Availability) Y1
Çalışan Sayısı (Makinadan sorumlu) X2	Performans Oranı Y2
	Kalite Oranı Y3

Kullanılan çözüm yönteminde Lindo programından yararlanılmıştır. Lindo ile çözdüğümüzde karşımıza çıkan tabloda yer alan terimlerin anlamları ise şöyledir;

Value; Asıl modeldeki değişkenler,

Slack or Surplus; Asıl modelin kısıtlarına eklenen aylak/artık değişkenler,

Dual Prices; İkil(dual) modeldeki ikil değişkenler,

Reduced Cost; İkil modelin kısıtlarına eklenen aylak/artık değişkenler.[46]

Bu değerler içinde "Dual Prices" terimini incelediğimizde bu terimin dual değişkenlerin en iyi çözümde aldıkları değerleri gösterdiğini görürüz. Modelin sağ taraf sabitlerinde 1 birimlik artış veya azalış yapılırsa amaç fonksiyonu değerinin bu değişiklikten nasıl etkileneceğini gösterir.

4. ÖRNEK UYGULAMA

Toplam ekipman etkinliği (OEE) hesabı ve makine etkinliklerinin VZA ile ölçümü için örnek uygulama yapabilmek adına yalıtım sektöründe faaliyet gösteren İzocam Tic.ve San.A.Ş. firması seçilmiştir.

4.1 Firma Tanıtımı

Türkiye yalıtım sektörü'nün öncüsü İzocam A.Ş.'nin Gebze'de kurulan ilk fabrikası 1967 yılında camyünü üretimine başlayarak faaliyete geçmiştir. 1986 yılında Tarsus'ta ikinci bir camyünü fabrikası 10 bin ton/yıl kapasiteyle kurulmuş, 1992 yılında bu kapasite iki katına çıkartılarak 20 bin ton/yıl'a ulaşılmıştır. Tarsus'taki fabrikanın camyünü kapasite tevsi nedeniyle Gebze tesislerindeki camyünü üretimi 1993 yılında taşıyününe çevrilmiştir. 10 bin ton/yıl taşıyünü kapasitesi, 1997 yılında 15 bin ton/yıl kapasiteye çıkarılmıştır.

2002 yılında tamamlanan modernizasyon çalışmaları çerçevesinde; camyünü tesislerinde 30 bin ton/yıl, taşıyünü tesislerinde ise 25 bin ton/yıl kapasiteye ulaşılmıştır. 2007 yılı itibari ile, camyünü tesislerinde 55 bin ton/yıl, taşıyünü tesislerinde ise 50 bin ton/yıl kapasiteye ulaşılmıştır. İzocam camyünü ürünleri, Saint-Gobain Isover Fransa lisansı Tel prosesi ile, taşıyünü ürünleri ise Saint-Gobain Isover G+H AG Almanya lisansı Sillan prosesi ile üretilmektedir.

İzocam, soğuk ortam yalıtımı için, 1982 yılında Gebze'de kurulan tesis ile genişletilmiş (ekspande) polistiren (EPS) üretimine başlamıştır. Toplam kapasite 2 bin ton/yıl'dır.

Haddelenmiş (ekstrüde) polistiren (XPS) üretimine ise; 1995 yılında Gebze'deki yeni tesislerinde Foamboard markasıyla yılda 90.000 m³ kapasite ile başlayan İzocam,

Owens Corning USA lisansı Hydrovac prosesi ile üretim yapmaktadır. Bugün kurulu kapasitesi 350.000 m³/yıl'dır.

2000 yılının Nisan ayında 500 ton/yıl kapasiteli Eskişehir İzocam Tesisi'nde üretime başlayan İzocam Armaflex markalı Elastomerik Kauçuk Köpük ürünler ise, Armacell GmbH lisansı ile üretilmektedir. Tesisin şu andaki kapasitesi 1.900 ton/yıl'dır. Eskişehir İzocam Tesisi'nde 2006 yılı başından itibaren İzocam PEflex markasıyla üretimine başlanan polietilen köpüğün yıllık kapasitesi ise 700 ton/yıl'dır.

Su yalıtım pazarında da faaliyet gösteren İzocam, İzosu markalı polimerik bitümlü su yalıtım örtülerini piyasaya sunmaktadır.

1966 yılında Koç Topluluğu bünyesinde kurulan ve 2005 yılında İzocam'ın bünyesine dahil olan Tekiz Tesisleri'nde ise, İzocam Tekiz markası altında Taşyünü Panel, Trapez ve Poliüretan Panel Çatı-Cephe kaplamaları ile Soğuk Depo Paneli ürünleri istenilen miktarda, istenilen renk ve boya tipinde üretilmektedir.

Tekiz tesisi yıllık 2.000.000 m² panel ve 3.000.0000 m² sac işleme kapasitesine sahiptir.

Yüksek teknolojisiyle imal ettiği uluslararası standartlardaki tüm ürünlerini ihraç eden ve ülkemize önemli döviz girdisi sağlayan İzocam'ın ihracat yaptığı ülkeler arasında İsrail, Mısır, İran, Suriye, Ürdün, Lübnan, Irak, Yunanistan, Bulgaristan, Romanya, Makedonya, Rusya, Türkmenistan, Kazakistan, Ukrayna, Gürcistan, Kırgızistan, Tacikistan, Özbekistan, Azerbaycan, Sudan, Fildişi, Kamerun, Gana, Gine, Etiyopya, Libya, Pakistan, Afganistan, Kıbrıs, İzlanda ve Malta bulunmaktadır.

İzocam bugün, ülkemizde sıcağa, soğuğa, sese, yangına ve suya karşı koruma sağlayan geniş ürün yelpazesi ve teknik danışmanlık hizmetleriyle yalıtım sektöründe lider konumdadır. Müşterilerinin talep ve beklentilerini tam, zamanında ve küreselleşen dünya standartlarına uygun olarak, çevreci bir yaklaşımla karşılayan İzocam, bu amaçla ISO 9001 Kalite Güvence Sistemi, ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi ve OHSAS 18001 İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sistemi'ni tesislerinde uygulamaktadır. Avrupa Birliği yetkili kuruluşlarının özel laboratuvarlarında teknik değerleri test edilen İzocam Camyünü ve Taşyünü ürünleri 11 Nisan 2003 tarihinde,

İzocam Ekspande Polistren ürünleri de 26 Haziran 2007 tarihinde, İzocam Ekstrüde Polistiren ürünleri de 30 Mart 2009 tarihinde "CE" uygunluk belgesine sahip olmuştur.İzocam'ın ürünleri ayrıca Türk Standartları Enstitüsü (TSE) kriterlerine de uygun üretilmektedir.

OEE ve VZA hesabını yapmak için ise Gebze'de üretilen genleştirilmiş (ekspande) polistiren (EPS) kalıp makinaları seçilmiştir.5 kalıp makinasının sonuçları irdelenerek,aralarındaki oluşan farkın nedenleri araştırılıp TPM ile bunların nasıl artıya, daha iyiye çevirilebileceği araştırılacaktır. 5 kalıp makinasının elde edilen değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.1 Örnek Alınan Kalıp Makinalarının Sonuçları

		1. KALIP MAKİNASI	2. KALIP MAKİNASI	3. KALIP MAKİNASI	4. KALIP MAKİNASI	5. KALIP MAKİNASI
TEORİK ÇALIŞMA SÜRESİ (saat)	1	744,0	744,0	744,0	744,0	744,0
PLANLI DURUŞ (saat)	2	310,0	285,0	300,0	280,0	280,0
KAPASİTE AYAR KAYBI (saat)	2a	52,0	48,0	34,0	50,0	62,0
TOPLAM PLANLI DURUŞLAR(2+2a)	3	362,0	333,0	334,0	330,0	342,0
YÜKLEME ZAMANI(1-3)		382,0	411,0	410,0	414,0	402,0
ARIZA DURUŞU (saat)	4	4,0	12,0	24,0	2,0	28,0
KALIP DEĞİŞTİRME VE AYAR DURUŞU (saat)	5	9,0	7,5	9,5	8,5	12,5
ELEKTRİK/HAVA/BUHAR/SU KESİLMELERİ (saat)	6	2,0	2,0	2,0	2,0	2,8
TOPLAM DURUŞ (saat) (4+5+6)	7	15,0	21,5	35,5	12,5	43,3
NET ÇALIŞMA SÜRESİ (saat) (1-3-7)	8	367,0	389,5	374,5	401,5	358,7
KULLANILABİLİRLİK ORANI % (8/(1-3))	9	96,1	94,8	91,3	97,0	89,2
STANDART ÇEVİRİM (sn)	10	80	80	80	80	90
ASIL ÇEVİRİM (sn)	11	64,17660039	78,11713689	76,31588553	79,11594294	96,56178925
ÇEVİRİM ORANI (10/11)	12	1,246560265	1,024103074	1,048274543	1,011174196	0,932045695
TOPLAM BASKI (adet)	13	20531	17904	17619	18224	13321
ÜRETİLEN MİKTAR (Ad)	14	20586,94278	17949,96662	17666,04673	18269,38979	13372,99164
NET OPERASYON ORANI (11x14/(8*3600))	15	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
PERFORMANS ORANI (%) (12x15x100)	16	124,7	102,4	104,8	101,1	93,2
PERFORMANS KAYIBI (11-10)*14/3600		-90	-9	-18	-4	24
KUSURLU İMALAT MİKTARI (Ad) (14-13)	17	56	46	47	45	52
HATALI İMALAT KAYIBI (17*10)/3600		1,24	1,02	1,05	1,01	1,30
KALİTE ORANI (%) ((14-17)/14*100)	18	99,7	99,7	99,7	99,8	99,6
TOPLAM EKİPMAN ETKİNLİĞİ (%) (9x16x18/10000)	19	119	97	95	98	83

Arıza duruşu, kalıp değiştirme ve ayar duruşu , elektrik/hava/buhar/su kesilmeleri duruş kayıplarıdır. Standart çevrim , asıl çevrim , çevrim oranı, toplam baskı, üretilen miktar , net operasyon oranı ise performans kayıpları ile ilgilidir ve bu kayıpları temsil eder.

Toplam ekipman etkinliği sonuçlarına baktığımızda 5 kalıp makinası içinde en verimli makinanın 1.kalıp makinası, diğerlerine göre en verimsiz olanın ise 5.kalıp makinası olduğunu görürüz. 5.kalıp makinasını incelediğimizde planlı duruş olarak 4.kalıp makinası ile birlikte en az planlı duruş zamanına sahip olmasına rağmen arıza duruşu nedeniyle toplam 28 saat ile en fazla arıza çıkaran kalıp makinası olmuştur.Kalıp değiştirme ve ayar duruşu ile birlikte toplam duruşa baktığımızda 43.3 saat ile en fazla duran kalıp makinası olmuştur.Neticesinde bu çalışabilirlik oranına direk yansımıştır.

Performans oranına baktığımızda ise bunu etkileyen toplam baskı adedi ve üretilen miktarda diğer kalıp makinalarına göre daha az performans sergilediği görölmektedir.Bunun nedeni ise net çalışma sürelerine baktığımızda belli olmaktadır.Toplam duruş süresi fazla olması nedeni ile az çalışan bir kalıp makinasından haliyle daha az performans alınacaktır.

Kusurlu imalat miktarı ve kalite oranı sonuçlarına baktığımızda ise diğer kalıp makinaları ile benzer sonuçların çıktığı görölmektedir.

Kalıp makinalarına ait elde edilen yukarıdaki tablo değerlerinin ardından Veri Zarflama Analizi ile kalıp makinalarını değerlendirmek için seçmiş olduğumuz girdi ve çıktı değerlerinin de yer aldığı tablo şu şekilde olmaktadır ;

Burada x_1 ve x_2 girdi değişkenlerini, y_1,y_2 ve y_3 ise çıktı değişkenlerini temsil etmektedir.

Çizelge 4.2 Girdi ve Çıktı Değerleri

	X1	X2	Y1	Y2	Y3
1.Kalıp Makinası	130.000	5	96,1	124,7	99,7
2.Kalıp Makinası	95.000	4	94,8	102,4	99,7
3.Kalıp Makinası	80.000	6	91,3	104,8	99,7
4.Kalıp Makinası	110.000	5	97	101,1	99,8
5.Kalıp Makinası	92.000	5	89,2	93,2	99,6

Uygulamada ,çıkıtıya yönelik zarflamalı VZA modeli kullanılarak tüm karar birimleri için oluşturulan modeller çözümlenerek etkinlik değerleri elde edilmiştir.Kurulan modellerin çözümünde Lindo paket programından yararlanılmıştır.

Sonuç olarak etkinlik değerlerine baktığımızda ;

Çizelge 4.3 Etkinlik Sonuçları

	Etkinlik
1.Kalıp Makinası	1,031
2.Kalıp Makinası	1,000
3.Kalıp Makinası	1,000
4.Kalıp Makinası	1,149
5.Kalıp Makinası	1,038

4.2 Sonuçlar

ıktıya yönelik ağırlıklı VZA modelinde etkin olan karar birimini etkinlik değeri 1'e eşit olacaktır,etkin olmayan karar birimlerinin etkinlik değeri ise 1'den büyük olacaktır.Sonuç olarak veri zarflama analizi yaptığımız denklemleri Lindo programı ile zp etkinliklerine baktığımızda 2. ve 3. kalıp makinalarının etkin olduğunu ,diğer kalıp makinalarının diğer kalıp makinalarına göre göreceli olarak daha az etkin olduğu sonucu çıkmıştır.

Referans kümeleri sıfırdan farklı yoğunluk değerine sahip karar birimleri ile oluşturulur.Lindo üzümünde etkin olmayan 1.,4. ve 5. kalıp makinalarının yoğunluk değerlerine baktığımızda karşımıza şu çıkmaktadır.

Çizelge 4.4 Referans Kümeleri

	Etkinlik	Referans Kümesi
1.Kalıp Makinası	1,031	2. Kalıp Makinası
2.Kalıp Makinası	1	
3.Kalıp Makinası	1	
4.Kalıp Makinası	1,149	2.ve 3. Kalıp Makinası
5.Kalıp Makinası	1,038	2.ve 3. Kalıp Makinası

Ayrıca etkin olan 2. ve 3. kalıp makinalarının tam etkinlik- zayıf etkinlik durumunu incelediğimizde tam etkinlik şartı olan karar biriminin 1'e eşit olması ve tüm atıl değişkenlerin sıfır olması koşullarını sağladığını görüyoruz.Yani 2. ve 3. kalıp makinaları tam etkindir.

4. ve 5. kalıp makinalarını referans kümelerine göre baz alarak girdileri sabit tutarak ıktıları izelge 4.5 'deki değerlere çıkarmamız gerekmektedir.Bu değerlere Lindo üzümünde çıkan etkinlik değerlerinin mevcutda kalıp makinalarının sahip olduğu çıktı değerleri ile çarpılması sonucu ulaşılmıştır.

Çizelge 4.5 Etkin olmayan kalıp makinalarının olması gereken çıktı değerleri

	Mevcut Değer			Hedef Değer		
	Y1	Y2	Y3	Y1	Y2	Y3
1.Kalıp Makinası	96.1	124.7	99.7	99.07	128.56	102.79
4.Kalıp Makinası	97	101.1	99.8	111.45	116.16	114.67
5.Kalıp Makinası	89.2	93.2	99.6	92.58	96.74	103.38

Yukarıdaki çizelgede Y1; Kullanabilirlik Oranı, Y2; Performans Oranı, Y3; Kalite Oranını temsil etmekteydi.

Lindo çıktısındaki ikil(dual) değişken değerlerine baktığımızda 4.kalıp makinası için 1.kısıtın sağ taraf sabitindeki 1 birimlik artışın amaç fonksiyonu değerini 0.83 birim arttıracığı, 2.kısıtın sağ taraf sabitindeki 1 birimlik artışın ise amaç fonksiyonunda 0.45 birimlik artışa neden olacağı çıkan sonuçtan görülebilmektedir.

Etkin olmayan 1.,4. ve 5. kalıp makinalarını diğer kalıp makinalarının etkinlik seviyesine çekmek için ise TPM'den yararlanmak gerektiği açıktır.TPM'den bahsederken de belirttiğimiz gibi TPM'in tüm işletme birimleri tarafından sahiplenilmesi ve uygulanması önemlidir.Çıktı değişkenlerindeki artış TPM ile mümkün olabilir.Makinaların kullanılabilirliği,performans etkinliği ve kalite oranındaki sağlanabilecek artış ancak doğru uygulanan TPM ile sağlanabilir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüzde kullanılan makine ve ekipmanlar giderek daha ileri teknolojiler içermeye başlamışlardır, buna bağlı olarak da işletmelerde geleneksel tamir-bakım faaliyetlerinden daha etkin bir bakım anlayışına ihtiyaç duyulmaktadır. “Toplam Üretken Bakım”, bu nedenle oldukça önemlidir. “Toplam Üretken Bakım” üretimi bizzat gerçekleştiren operatörlerden üst yönetime kadar tüm çalışanları organize eden, bütün üretim operasyonlarını destekleyebilecek, işletme çapında bir makine ve ekipman bakım yönetimi sistemidir.

Toplam Üretken Bakım, şirket üst yönetiminin tam desteğinin olduğu, tüm çalışanların özellikle de operatör seviyesindeki çalışanların ve oluşturulan iyileştirme gruplarının faaliyetlerinin gerçekleştiği, tüm işletmeyi kapsayan, verimli bir varlık yönetimi sistemidir. Toplam Verimli Bakım anlayışında, üretimde aktif olarak çalışan operatörlerin katılımıyla gerçekleşen otonom bakım faaliyetleri sistemin en önemli öğelerindedir.

Yapılan bu çalışma ile geliştirilen ve seçilen imalat yapan firmada kullanılan kalıp makinalarının üzerinde kurulan model ile makine etkinlikleri ölçülmüş, çıkan sonuçlara göre diğer makinalara kıyasla daha az etkin olan makinaların tespiti yapılmıştır.

Literatürde makine etkinliğine yönelik çok sayıda çalışmanın olduğu söylenemez. Olan çalışmalar ise çoğunlukla tedarikçi performansı, pazarlama etkinliği, şube ve işletmelerin kıyaslanması gibi alanlara yöneliktir. Yapılan bu çalışma ile daha az uygulama ve araştırması yapılan imalata yönelik makinaların etkinliği çalışması ile bir örnek ortaya konmuştur. Var olan az sayıdaki bu tür çalışmada etkinliği ölçülen teçhizatların hesaplanan sonuç değerleri belirtilerek daha etkin hale nasıl getirilebileceği konusunda olması gereken sayısal artışlar

belirtilmiştir. Asıl vurgulanması gereken ise etkin hale getirilmesi için, o değerlere ulaşabilmesi için hangi sistemlerin devreye alınması, neyin üzerinde durulması gerektiği gibi konular belirtilmemiştir. Yapılan bu çalışma ile az etkin olan makinanın tespitinin ardından doğru yapılan Toplam Üretken Bakım (TPM) yönetimi ile bunun nasıl başarılacağı gösterilmiştir.

Çalışmada bahsedilen TPM (Toplam Üretken Bakım) sürecinde gerekli adımların yerine getirilip, otonom bakımın gereklilikleri yapıldığı ve TPM'in firma bünyesinde topyekün sahiplenildiği durumda işletmeye getireceği imalattaki sıfır hata, sıfır arıza, sıfır kaza sonucu ile gereksiz ve önlenebilecek maliyetlerin önüne geçilebilir. Toplam Üretken Bakım sürekli iyileştirme felsefesini de içinde barındırmaktadır. Bu sayede maliyetlerin düşüşü sağlanıp, globalleşen piyasada özellikle üretim yapan firmaların rekabet şansı artacaktır.

İmalat yapan tüm firmaların kendi bünyesinde bu tür çalışmalara başlaması gerektiği açıktır. Çalışmada uygulaması yapılan makine etkinliğinin önemi, çıkan sonuçların değerlendirilip burdan çıkan tespitlerin TPM ışığında yapılacak iyileştirmelerin firmaya katacağı katkılar çok büyüktür.

Literatürde yapılan çalışmalarda da belirtilen nokta, doğru uygulanan TPM çalışmaları sonucu sağlanan verimlilik ve etkinlik artışı ile özellikle imalat sanayinde faaliyet gösteren firmaların yapılan iyileştirme sonucu sağladıkları gider kalemlerindeki azalış sayesinde birim maliyetleri düşmekte, bu sayede rekabetin çok fazla olduğu tüm sektörlerde bu firmalara çok önemli bir avantaj getirmektedir.

Etkinlik üzerinde önemli bir faktörde verimliliktir. Verimlilik kavramı, değişim ve gelişme kavramları ile iç içedir. Daha verimli olmak imalathanelerdeki makineler kadar hem bireyler hem toplumlar için gelişmenin önkoşuludur.

Yapılmış olan bu çalışmanın ışığında imalat sanayinde faaliyet gösteren firmalar kendi bünyelerinde maliyet bakımından büyük değerlere sahip kalemlerde tasarruf yapmak için kendi seçecekleri örnek imalat birimlerinin uygulanan metod ile etkinlik performansı kıyaslaması yapabilirler. Elde edecekleri sonuçlara göre, TPM uygulaması ile seçtikleri imalat birimlerinin daha etkin hale gelmesi sağlanır.

KAYNAKLAR

- [1] **A.Görener, V.Z.Yenen**, İşletmelerde Toplam Verimli Bakım Çalışmaları Kapsamında Yapılan Faaliyetler ve Verimliliğe Katkıları, İstanbul Tic.Üniv. *Fen Bilimleri Dergisi* Yıl:6 Sayı:11 2007,s.47-63
- [2] **Albert H.C. Tsang, P.K. Chan**, (2000) TPM implementation in China: a case study, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 17 Iss: 2, pp.144 – 157
- [3] **E.Nas**, TPM Yönetimi veya Verimlilik ve Rekabet Gücü Yaratmak. T.M.M.O.B Metalurji Müh.Odası , 2001. 126.
- [4] **N.K.Patra , J.K.Tripathy, Dr.B.K.Choudhary**, Implementing the Office Total Productive Maintenance Program, *Emerald Library Review* ,Vol.54, No.7, 2005,pp.415-424.
- [5] **S.Ahmed, M.H.Hassan,Z.Taha**, TPM can go beyond maintenance:excerpt from a case implementation. *Journal of Quality in Maintenance*, Vol.11,No.1,2005,pp.19-42.
- [6] **F.Ireland, B.G.Dale**, A study of Ttal Poductive Mintenance Iplementation , *Journal of Quality in Maintenance*, Vol.7,No.3, 2001, pp.183-191.
- [7] **I.P.S.Ahuja, J.S.Khamba**, TPM: Literature Review and Directions.*International Journal of Quality*, Vol.25, No.7,2008,pp.709-756.
- [8] **P.Katila**, Applying Total Productive Maintenance – TPM Principles in the Flexible Manufacturing Systems. Technical Report,2000:23, ISSN:1402-1536.
- [9] **R.K.Sharma, D.Kumar,P.Kumar**, Manufacturing Excellence Through TPM Implementation, *Industrial Management*, Vol.106, No.2, 2006,pp.256-280.
- [10] **O.Kwon ,H.Lee** , Calculation Methodology for Contributive Managerial Effect by OEE as a Result of TPM Activities. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*,Vol.10, N.4 ,2004 pp 263-272.
- [11] **K.Y.Jeong,D.T.Phillips**,Operational Efficiency and Effectiveness Measurement, *Int.Journal of Op.*Vol.21,No.11,2001,pp.1404-1416.

- [12] **B.Dal, P.Tugwell, R.Greatbanks**, Overall Equipment Effectiveness as a Measure of Operational Improvement, *International Journal of Operations*, Vol.20, No.12, 2000, pp.1488-1502.
- [13] **I.P.S.Ahuja, J.S.Khamba**, An Evaluation of TPM Implementation Initiatives in an Indian Manufacturing Enterprise. *Journal of Quality Maintenance*, Vol.13, No.4, 2007, pp.338-352.
- [14] **M.Rodrigues, K.Hatakeyama**, Analysis of the fall of TPM in companies. *Journal of Materials Processing Technology* 179 (2006)276-279.
- [15] **O.Ljungberg**, Measurement of Overall Equipment Effectiveness as a Basis for TPM Activities. *International Journal of Operations*. Vol.18, No.5, 1998, pp. 495-507
- [16] **Ü.H.Özden**, VZA ile Türkiye'deki Vakıf Üniversitelerinin Etkinliğinin Ölçülmesi, *İ.Ü.İşletme Fak.Dergisi*, Vol.37 No.2 2008 s.167-185
- [17] **Aydemir, Z. C.**, 2002. Bölgesel Rekabet Edebilirlik Kapsamında İllerin Kaynak Kullanım Görece Verimlilikleri: Veri Zarflama Analizi Uygulaması, *DPT – Uzmanlık Tezleri*, Yayın No : 2664.
- [18] **Norman M., Stoker B.**, 1991. Data Envelopment Analysis: The Assessment of Performance, Chichester: Wiley
- [19] **Easten L., Murphy D. J., Pearson J. N.** Purchasing Performance Evaluation: with Data Envelopment Analysis, *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 8, 2002.
- [20] **Epstein, M.K., Henderson, J.C.**, 1989. Data envelopment analysis for managerial control and diagnosis. *Decision Science*, 20, sf. 90–119.
- [21] **Sexton, T.R.**, 1986. The methodology of data envelopment analysis. Measuring Efficiency: an Assessment of Data Envelopment Analysis New Directions for Program Evaluation. Jossey-Bass, San Francisco, Winter.
- [22] **Sherman, H.D.**, 1986. Managing productivity of health care organizations. Measuring Efficiency: an Assessment of Data Envelopment Analysis. New Directions for Program Evaluation. Jossey-Bass, San Francisco, Winter.

- [23] **Weber, C.A., Desai, A.**, 1996. Determinants of paths to vendor market efficiency using parallel coordinates representation: a negotiation tool for buyers. *European Journal of Operational Research* 90, 142–155.
- [24] **Cooper W. and others**, 2000. Data Envelopment Analysis: The Comprehensive Text with Models, Applications and References and DEA-Solver software
- [25] **Clarke, R.L., Gourdin, K.N.**, 1991. Measuring the efficiency of the logistics process. *Journal of Business Logistics* 12 (2), 17–33. Cooper, R., 1988a. The rise of activity-based costing systems: part 1-what is an activity-based cost system? *Journal of Cost Management* Vol: 2 No:2, sf. 45–54.
- [26] **Braglia, M, Zaroni, S. ve Zavanella, L.**, 2003. Measuring and Benchmarking Productive Systems Performances Using DEA: An Industrial Case Production Planning & Control, Vol. 14, No. 6, sf. 542–554.
- [27] **Al-Shammari, M.**, 1999. Optimization Modelling For Estimating and Enhancing Relative Efficiency With Application to Industrial Companies. *European Journal of Operational Research*, 115, sf. 488-496.
- [28] **İleri İ.**, 1997. Veri Zarflama Analizi ve Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [29] **Nevena Stancheva, Vyara Angelova**, “Measuring the Efficiency of University Libraries Using Data Envelopment Analysis”, INFORUM 2004: 10th Conference on Professional Information Resources, Varna, 2004, s.1
- [30] **M.Emin Baysal ve diğerleri**, “Türkiye’deki Devlet Üniversitelerinin 2004 Yılı Performanslarının, Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Belirlenip Buna Göre 2005 Yılı Bütçe Tahsislerinin Yapılması”, *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* Cilt: 9, Sayı :1, Sakarya, s. 70
- [31] **Ayşe Yıldız**, “İMKB’de İşlem Gören Şirketlerin Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi Ve Malmquist Endeksi Yöntemleri İle Değerlendirilmesi”, 9. Ulusal Finans Sempozyumu, Nevşehir, 2005, s.286
- [32] **Ertuğrul Deliktaş**, “İzmir Küçük Orta Ve Büyük Ölçekli İmalat Sanayinde Üretim Etkinliği Ve Toplam Faktör Verimliliği Analizi,” *Ege Üniversitesi Workink Papers İn Economy*, Sayı:3, İzmir, 2006, s.9

- [33] **Subhash C Ray**, “Input Aggregation In Models Of Data Envelopment Analysis: A Statistical Test With An Application To Indian Manufacturing”, The Paper Was Written While The Author Was Visiting The Indian Statistical Institute, Calcutta, 2005, s. 2
- [34] **İsmet Şahin, Hacer Özgen**, “Sağlık Bakanlığı. İl Devlet Hastanelerinin Karşılaştırmalı Verimlilik Analizi” *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi* Cilt:3, 2005, s.52-55
- [35] **İpek Deveci Kocakoç**, “Veri Zarflama Analizi’ndeki Ağırlık Kısıtlamalarının Belirlenmesinde Analitik Hiyerarşi Sürecinin Kullanımı”, *D.E.Ü.İ.B.F.Dergisi* Cilt:18 Sayı:2, 2003, s.2
- [36] **Türk Kooperatifçilik Kurumu**, Üçüncü Sektör Kooperatifçilik, Temmuz-Ağustos-Eylül 2005, Sayı: 149, Ankara, s.33
- [37] **M.Cahit Güran, Selçuk Cingi**, “Devletin Ekonomik Müdahalelerinin Etkinliği”, *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi* (3) 2002, Antalya, s.67
- [38] **Aziz Kutlar, Mahmut Kartal**, “Cumhuriyet Üniversitesinin Verimlilik Analizi: Fakülteler Düzeyinde Veri Zarflama Yöntemiyle Bir Uygulama”, *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* (8) 2004 / 2, Sivas, s. 56
- [39] **Koray Kayalidere, Sibel Kargın**, “Çimento Sektöründe Etkinlik Çalışması Ve Veri zarflama Analizi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 6, Sayı: 1, İzmir, 2004, s.206
- [40] **Kürşat Yalçın ve diğerleri**, “İMKB 30 Endeksinde Etkinlik Analizi (Veri Zarflama Analizi-VZA) İle Hisse Senedi Seçimi” <http://muratatan.info/academic/bulletin/20.pdf>. Erişim tarihi 20.04.2010
- [41] **M.Emin Baysal, Mehmet Uygur ve Bilal Toklu**, “Veri Zarflama Analizi İle TCDD Limanlarında Bir Etkinlik Ölçümü Çalışması” *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 19, No 4, Ankara, s.439
- [42] **Recep Koray Kıyıldı, Mustafa Kardeşahin**, “Türkiye’deki Hava Alanları.n.n Veri Zarflama Analizi İle Altyapı Performansı.n.n Değerlendirilmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10-3, Isparta, 2006, s.393

- [43] **Wang F.K.**, Evaluating the Efficiency of Implementing Total Productive Maintenance. *Total Quality Management* Vol.17, No.5, 655-667 June 2006
- [44] **W.K.Chong, S.A.Brah**, Relationship between total productive maintenance and performance. *Int.Y.Prod.Res.* 15 June 2004, Vol.42, No.12, 2383-2401.
- [45] **De-Jie Yu, Jian Liu**, Evaluation of Plant Maintenance based on data envelopment analysis. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol.10, N.3, 2004 pp.203-209.
- [46] **A.Sipahioğlu, T.Saraç**, Lingo 6.0 Kullanım Kılavuzu. Eskişehir Osmangazi Üniv.Endüstri Müh Bölümü, Ekim 2003.

EKLER

Ek A.1 : Kurulan modeller ve Lindo çözümünden elde edilen program çıktıları

Ek A.1 : Kurulan modeller ve Lindo çözümünden elde edilen program çıktıları

Aşağıda Lindo ile çözümde 5 kalıp makinası için zarflamalı VZA modeli verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve program çıktıları 5 kalıp makinası için şöyledir ;

1. Kalıp Makinası için ;

$$G_{\max} = \beta + 0.0001S_1 + 0.0001S_2 + 0.0001S_3 + 0.0001S_4 + 0.0001S_5$$

$$130A_1 + 95A_2 + 80A_3 + 110A_4 + 92A_5 + S_1 = 130$$

$$5A_1 + 4A_2 + 6A_3 + 5A_4 + 5A_5 + S_2 = 5$$

$$96.1A_1 + 94.8A_2 + 91.3A_3 + 97A_4 + 89.2A_5 - 96.1\beta - S_3 = 0$$

$$124.7A_1 + 102.4A_2 + 104.8A_3 + 101.1A_4 + 93.2A_5 - 124.7\beta - S_4 = 0$$

$$99.7A_1 + 99.7A_2 + 99.7A_3 + 99.8A_4 + 99.6A_5 - 99.7\beta - S_5 = 0$$

$$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, \beta, S_i \geq 0 \quad (i=1..5)$$

A1=1. Kalıp Makinasının yoğunluk değeri

A2=2. Kalıp Makinasının yoğunluk değeri

A3=3. Kalıp Makinasının yoğunluk değeri

A4=4. Kalıp Makinasının yoğunluk değeri

A5=5. Kalıp Makinasının yoğunluk değeri

S1=1. Kalıp Makinasının 1. Girdi Değişkeninin atıl değeri

S2=1. Kalıp Makinasının 2. Girdi Değişkeninin atıl değeri

S3=1. Kalıp Makinasının 1. Çıktı Değişkeninin atıl değeri

S4=1. Kalıp Makinasının 2. Çıktı Değişkeninin atıl değeri

S5=1. Kalıp Makinasının 3. Çıktı Değişkeninin atıl değeri

β ; Görelî Etkinliği ölçülen karar biriminin çıktılarının radyal olarak ne kadar arttırılabileceğini gösteren genişleme katsayısıdır.

Lindo programı ile çözüldüğünde ;

Global optimal solution found.

Objective value:	1.031803
Infeasibilities:	0.000000
Total solver iterations:	4

Variable	Value	Reduced Cost
KB	1.026464	0.000000
S1	11.25000	0.000000
S2	0.000000	0.2036606

S3	19.85686	0.000000
S4	0.000000	0.7762229E-02
S5	22.28659	0.000000
A1	0.000000	0.3180286E-01
A2	1.250000	0.000000
A3	0.000000	0.3875018
A4	0.000000	0.2152515
A5	0.000000	0.2763631

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	1.031803	1.000000
2	0.000000	0.1000000E-03
3	0.000000	0.2037606
4	0.000000	0.1000000E-03
5	0.000000	0.7862229E-02
6	0.000000	0.1000000E-03

2.Kalıp Makinası için ;

$$G_{max} = \beta + 0.0001S1 + 0.0001S2 + 0.0001S3 + 0.0001S4 + 0.0001S5$$

$$130A1 + 95A2 + 80A3 + 110A4 + 92A5 + S1 = 95$$

$$5A1 + 4A2 + 6A3 + 5A4 + 5A5 + S2 = 4$$

$$96.1A1 + 94.8A2 + 91.3A3 + 97A4 + 89.2A5 - 94.8\beta - S3 = 0$$

$$124.7A1 + 102.4A2 + 104.8A3 + 101.1A4 + 93.2A5 - 102.4\beta - S4 = 0$$

$$99.7A1 + 99.7A2 + 99.7A3 + 99.8A4 + 99.6A5 - 99.7\beta - S5 = 0$$

$$A1, A2, A3, A4, A5, \beta, S_i \geq 0 \quad (i=1..5)$$

Global optimal solution found.

Objective value:	1.000000
Infeasibilities:	0.000000
Total solver iterations:	4

Variable	Value	Reduced Cost
KB	1.000000	0.000000
S1	0.000000	0.000000
S2	0.000000	0.2475250
S3	0.000000	0.000000
S4	0.000000	0.000000
S5	0.000000	0.9732297E-02
A1	0.000000	0.2487650
A2	1.000000	0.000000
A3	0.000000	0.4938600
A4	0.000000	0.2480518
A5	0.000000	0.2497882

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	1.000000	1.000000
2	0.000000	0.1000000E-03

3	0.000000	0.2476250
4	0.000000	0.1000000E-03
5	0.000000	0.1000000E-03
6	0.000000	0.9832297E-02

3.Kalıp Makinası için ;

$$G_{max} = \beta + 0.0001S1 + 0.0001S2 + 0.0001S3 + 0.0001S4 + 0.0001S5$$

$$130A1 + 95A2 + 80A3 + 110A4 + 92A5 + S1 = 80$$

$$5A1 + 4A2 + 6A3 + 5A4 + 5A5 + S2 = 6$$

$$96.1A1 + 94.8A2 + 91.3A3 + 97A4 + 89.2A5 - 91.3\beta - S3 = 0$$

$$124.7A1 + 102.4A2 + 104.8A3 + 101.1A4 + 93.2A5 - 104.8\beta - S4 = 0$$

$$99.7A1 + 99.7A2 + 99.7A3 + 99.8A4 + 99.6A5 - 99.7\beta - S5 = 0$$

$$A1, A2, A3, A4, A5, \beta, S_i \geq 0 \quad (i=1..5)$$

Global optimal solution found.

Objective value:	1.000000
Infeasibilities:	0.000000
Total solver iterations:	5

Variable	Value	Reduced Cost
KB	1.000000	0.000000
S1	0.000000	0.7902640E-02
S2	0.000000	0.5986480E-01
S3	0.000000	0.000000
S4	0.000000	0.000000
S5	0.000000	0.9733400E-02
A1	0.000000	0.3376972
A2	0.000000	0.000000
A3	1.000000	0.000000
A4	0.000000	0.1789311
A5	0.000000	0.3842022E-01

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	1.000000	1.000000
2	0.000000	0.8002640E-02
3	0.000000	0.5996480E-01
4	0.000000	0.1000000E-03
5	0.000000	0.1000000E-03
6	0.000000	0.9833400E-02

4.Kalıp Makinası için ;

$$G_{max} = \beta + 0.0001S1 + 0.0001S2 + 0.0001S3 + 0.0001S4 + 0.0001S5$$

$$130A1 + 95A2 + 80A3 + 110A4 + 92A5 + S1 = 110$$

$$5A1 + 4A2 + 6A3 + 5A4 + 5A5 + S2 = 5$$

$$96.1A_1+94.8A_2+91.3A_3+97A_4+89.2A_5-97\beta -S_3= 0$$

$$124.7A_1+102.4A_2+104.8A_3+101.1A_4+93.2A_5-101.1\beta -S_4=0$$

$$99.7A_1+99.7A_2+99.7A_3+99.8A_4+99.6A_5-99.8\beta -S_5=0$$

$$A_1,A_2,A_3,A_4,A_5, \beta,S_i \geq 0 (i=1..5)$$

Global optimal solution found.

Objective value: 1.149000
 Infeasibilities: 0.000000
 Total solver iterations: 6

Variable	Value	Reduced Cost
KB	1.148186	0.000000
S1	0.000000	0.8285043E-02
S2	0.000000	0.4522903E-01
S3	0.000000	0.1000216E-01
S4	5.086439	0.000000
S5	3.057080	0.000000
A1	0.000000	0.3234427
A2	1.040000	0.000000
A3	0.1400000	0.000000
A4	0.000000	0.1489999
A5	0.000000	0.7767603E-01

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	1.149000	1.000000
2	0.000000	0.8385043E-02
3	0.000000	0.4532903E-01
4	0.000000	0.1010216E-01
5	0.000000	0.1000000E-03
6	0.000000	0.1000000E-03

5.Kalıp Makinası için ;

$$G_{max} = \beta + 0.0001S_1 + 0.0001S_2 + 0.0001S_3 + 0.0001S_4 + 0.0001S_5$$

$$130A_1 + 95A_2 + 80A_3 + 110A_4 + 92A_5 + S_1 = 92$$

$$5A_1 + 4A_2 + 6A_3 + 5A_4 + 5A_5 + S_2 = 5$$

$$96.1A_1 + 94.8A_2 + 91.3A_3 + 97A_4 + 89.2A_5 - 89.2\beta - S_3 = 0$$

$$124.7A_1 + 102.4A_2 + 104.8A_3 + 101.1A_4 + 93.2A_5 - 93.2\beta - S_4 = 0$$

$$99.7A_1 + 99.7A_2 + 99.7A_3 + 99.8A_4 + 99.6A_5 - 99.6\beta - S_5 = 0$$

$$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, \beta, S_i \geq 0 (i=1..5)$$

Global optimal solution found.

Objective value: 1.038507
 Infeasibilities: 0.000000
 Total solver iterations: 5

Variable	Value	Reduced Cost
KB	1.037040	0.000000
S1	0.000000	0.7921486E-02
S2	0.000000	0.6000614E-01
S3	4.210818	0.000000
S4	10.46146	0.000000
S5	0.000000	0.9757028E-02
A1	0.000000	0.3384981
A2	0.6080000	0.000000
A3	0.4280000	0.000000
A4	0.000000	0.1793527
A5	0.000000	0.3850739E-01
Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	1.038507	1.000000
2	0.000000	0.8021486E-02
3	0.000000	0.6010614E-01
4	0.000000	0.1000000E-03
5	0.000000	0.1000000E-03
6	0.000000	0.9857028E-02

Not: Lindo programında çözerken β =KB olarak alınmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Serkan PEHLEVAN

Doğum Yeri ve Tarihi: 17.09.1983 Artvin

Lisans Üniversitesi: Kocaeli Üniversitesi Makina Mühendisliği