

BİYOĞRAFI

Dr. Ülge TAŞ, 1980 yılında Samsun’da doğmuştur. Şu anda Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Akademik kariyerine başlamadan önce otomotiv endüstrisinde üretim ve lojistik alanlarında profesyonel deneyim kazanmıştır. Başlıca araştırma ilgi alanları arasında yalın üretim, kalite iyileştirme, Endüstri 4.0, üretim planlaması ve lojistik yönetimi yer almaktadır. Bu konularda çeşitli akademik çalışmaları ve yayınları bulunan Dr. Ülge TAŞ evli ve bir çocuk annesidir.

ARTİKEL AKADEMİ: 342

Yalın Üretimin Görselleştirilmesi: Değer Akış Haritalama
Dr. Öğr. Üyesi Ülge TAŞ

Aksaray Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
ulge.tas@aksaray.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-2376-3735>

ISBN 978-625-6627-81-9
Birinci Basım Şubat - 2025

Kapak uygulama: Artikel Akademi
Ofset Hazırlık: Artikel Akademi

Baskı ve Cilt: Uzunist Dijital Matbaa Anonim Şirketi
Akçaburgaz Mah.1584.Sk.No:21 / Esenyurt - İSTANBUL

Matbaa Sertifika No: 68922

Artikel Akademi bir Karadeniz Kitap Ltd. Şti. markasıdır.

©Karadeniz Kitap - 2025

Akademik etik kurallara
bağlı kalınarak yapılacak olan alıntılar ve tanıtım maksadıyla yapılacak
olan kısa alıntılar dışında, yazılı izni alınmadan, tümünün veya bir
kısımının elektronik, mekanik ya da fotokopi yoluyla, basımı, yayımı,
kopyalanması, çoğaltımı veya dağıtımı yapılamaz.

KARADENİZ KİTAP LTD. ŞTİ.
Koşuyolu Mah. Mehmet Akfan Sok. No:67/3 Kadıköy-İstanbul
Tel: 0 216 428 06 54 // 0530 076 94 90

Yayıncı Sertifika No: 19708
mail: info@artikellakademi.com
www.artikellakademi.com

YALIN ÜRETİMİN GÖRSELLEŞTİRİLMESİ: DEĞER AKIŞ HARİTALAMA

Dr. Öğr. Üyesi Ülge TAŞ

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ	8
TABLolar LİSTESİ	9
ÖNSÖZ.....	11
1. GİRİŞ.....	13
2. YALIN ÜRETİM FELSEFESİ.....	13
2.1 Yalın Üretim İlkeleri	17
2.1.1 Değer	18
2.1.2 Değer Akışı.....	18
2.1.3 Akış	19
2.1.4 Çekme.....	19
2.1.5 Mükemmellik.....	17
2.2 İsrar ve İsrar Türleri	20
2.2.1 Muda.....	20
2.2.1.1 Fazla Üretim	21
2.2.1.2 Fazla Stok	21
2.2.1.3 Hurda-Fire ve Tekrar İşleme.....	21
2.2.1.4 Değersiz Hareket	21
2.2.1.5 Gereksiz Proses.....	22
2.2.1.6 Fazla Bekleme Süreleri.....	22
2.2.1.7 Fazla Taşıma Süreleri	22
2.2.2 Muri	22
2.2.3 Mura	23
2.3 Yalın Üretim Araç ve Teknikleri	24
2.3.1 Kaizen	24

2.3.1.1 Kaizenin Yararları	27
2.3.1.2 Kaizen Süreci.....	29
2.3.1.3 Gemba Kaizen	31
2.3.2 5S Yöntemi	32
2.3.2.1 Seiri	33
2.3.2.2 Seiton	33
2.3.2.3 Seiso	33
2.3.2.4 Seiketsu	33
2.3.2.5 Shitsuke	35
2.3.3 Kanban	35
2.3.4 Tam Zamanında Üretim.....	39
2.3.4.1 Tam Zamanında Üretimin Prensipleri	40
2.3.4.2 Tam Zamanında Üretim Süreci.....	42
2.3.4.3 Tam Sırasında Üretim.....	44
2.3.5 Altı Sigma	45
2.3.5.1 Altı Sigmanın İlkeleri	46
2.3.5.2 Sigma Düzeyleri	47
2.3.5.3 Altı Sigmanın Organizasyonu	48
2.3.5.4 Altı Sigma Aşamaları.....	53
2.3.6 SMED	55
2.3.7 Heijunka	57
2.3.8 Hoshin Kanri	60
2.4 Dört Prensip	62
2.4.1 Çekme Sistemi Prensibi.....	63
2.4.2 Takt Zamanı Prensibi	66
2.4.3 Akış Prensibi	67
2.4.4 Hatalardan Kaçınma Prensibi	68
2.4.4.1 Jidoka	69
2.4.4.2 Poka-Yoke.....	70
2.4.4.3 Toplam Üretken Bakım.....	72

3. DEĞER AKIŞI HARİTALAMA.....	76
3.1 Değer Akış Haritalama Evrensel Sembolleri	78
3.1.1 Malzeme Akış Sembolleri.....	79
3.1.2 Bilgi Akış Sembolleri	80
3.1.3 Süreç Sembolleri.....	80
3.2 Değer Akış Haritalama Yol Haritası	81
3.2.1 Ekip Kurulması.....	83
3.2.2 Ürün Ailesinin Seçimi.....	84
3.2.3 Mevcut Durum Haritasının Oluşturulması	85
3.2.4 Gelecek Durum Haritasının Oluşturulması	87
3.2.5 Uygulama ve Sürekli İyileştirme	88
3.3 Değer Akış Haritası Çizimi.....	89
4. DEĞER AKIŞ HARİTALAMANIN DİJİTALLEŞMESİ.....	95
4.1 Dijital Değer Akış Haritalama	97
4.2 Akıllı Araçlarla DAH Entegrasyonu.....	99
SONUÇ	105
KAYNAKÇA	107

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Kanban kart örneği	35
Şekil 2. Çift kartlı kanban sistemi.....	36
Şekil 3. Tek kartlı kanban sistemi	37
Şekil 4. Altı sigma organizasyonu	53
Şekil 5. DMAIC süreci	55
Şekil 6. Hoshin kanri süreci.....	61
Şekil 7. Çekme sistemi	63
Şekil 8. İtme sistemi	64
Şekil 9. TPS Evi.....	69
Şekil 10. Poka-Yoke fonksiyonları	71
Şekil 11. TPM modeli	75
Şekil 12. DAH evrensel sembolleri	78
Şekil 13. DAH yol haritası.....	82
Şekil 14. Tedarikçi-müşteri sembolü	89
Şekil 15. Stok üçgeni sembolü.....	90
Şekil 16. Sevkiyat sembolleri	90
Şekil 17. Elektronik-manuel bilgi akışı sembolleri	91
Şekil 18. Tedarikçi-müşteri programı sembolü.....	91
Şekil 19. Proses bilgi kutusu sembolü	91
Şekil 20. Kaizen flaş sembolü.....	92
Şekil 21. Zaman eksenli sembolü	92
Şekil 22. Mevcut değer akış haritası örneği.....	93
Şekil 23. DAH'ın dijitalleşmesi.....	98

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Yalın üretimin gelişimi	16
Tablo 2. Kaizen hiyerarşisi	29
Tablo 3. Sigma düzeyi	48
Tablo 4. Çekme ve itme sisteminin kıyaslanması	65
Tablo 5. DAH veri listesi.....	85
Tablo 6. Mevcut durum haritası veri listesi.....	86
Tablo 7. Gelecek durum haritası veri listesi.....	87

ÖNSÖZ

Küresel rekabetin giderek arttığı günümüz endüstriyel ortamında *Yalın Üretimin Görselleştirilmesi: Değer Akış Haritalama* adlı eser, işletmelerin proses iyileştirme çabalarında izleyebilecekleri adımları belirlemede referans noktası oluşturmaktadır. Proseslerin resmedilmesini sağlayan değer akış haritaları, tedarikçiden müşteriye akışı göstererek müşteriler için değer nasıl yaratıldığını ve değer katmayan faaliyetleri gösteren bir metodolojidir. Değer akış haritalama hakkında uygulamada ve literatürde çok sayıda çalışma olmasına rağmen, bu kitap yol haritası sunması ve proseslerin değer akış haritasının oluşturulması açısından alanın sürekli evrilen doğasını gözler önüne sermektedir. Bu nedenle, kitabın temel amacı, yalın üretim felsefesinin tarihsel evriminden akıllı üretim sistemleri ile birlikte dijitalleşmesine kadar olan değer akış haritalama uygulamalarının aşamalarını sistematik bir şekilde açıklayarak işletmelerin proses iyileştirme çabalarında izleyebilecekleri adımları belirlemede rehberlik etmesidir.

Kitap, üç ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde yalın üretim felsefesi, ikinci bölümde değer akış haritalama, üçüncü bölümde ise değer akış haritalamanın dijitalleşmesi detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

Kitabın üretim yönetimi ve yalın üretim ile ilgilenen araştırmacılara, endüstriyel uygulayıcılara ve öğrencilere hem teorik hem de pratik düzeyde katkı sağlamasını temenni ediyorum.

2025, Aksaray

Ülge TAŞ

YALIN ÜRETİMİN GÖRSELLEŞTİRİLMESİ: DEĞER AKIŞ HARİTALAMA

1. GİRİŞ

Günümüz rekabet şartlarında şirketlerin uzun vadeli başarısı, yalnızca üretim kapasitelerini ya da satışlarını artırmalarıyla değil, aynı zamanda üretim sistemlerinin verimliliğini artırarak müşteri taleplerine daha hızlı ve kaliteli çözümler sunabilmelerine bağlıdır (Womack ve Jones, 2003). Bu noktada, yalın üretim yaklaşımları, çağdaş üretim sistemlerinin temel unsurları olarak öne çıkmaktadır. Yalın üretim, 1950’li yıllarda Toyota tarafından geliştirilen Toyota Üretim Sistemi (Toyota Production System – TPS) ile başlayan bir kavram olup, israfın azaltılması ve değer yaratan faaliyetlerin ön planda tutulmasını hedeflemektedir (Ohno, 2017). TPS’in temelini de Henry Ford’un kitlesel üretim yaklaşımı ve Frederick Taylor’ın klasik yönetim anlayışı oluşturmaktadır. Çoğu sistemde olduğu gibi TPS’de sahadaki öncüllerinin çalışmaları üzerine inşa edilmiştir (Smith, 2014).

Yalın üretim, işletmelerin süreçlerini standartlaştırarak operasyonel verimliliği artırmayı, katma değer yaratmayan faaliyetleri minimize etmeyi, üretim süreçlerini kapasite odaklı sistemlerden talep odaklı sistemlere dönüştürmeyi ve sürekli iyileştirme yaklaşımıyla performansı geliştirmeyi hedefleyen bir yönetim felsefesidir (Womack ve Jones, 2003). Yalın üretim, temelinde israfı azaltma, operasyonel akışı iyileştirme ve üretim süreçlerini standartlaştırma bulunmaktadır. Bu yaklaşım, yalnızca malzeme ve enerji kullanımında tasarruf sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda üretim süreçlerini daha çevik hale getirerek işletmelerin pazar şartlarına daha hızlı uyum sağlamalarına yardımcı olmaktadır (Shingo, 1983).

Yalın üretim uygulamalarının başarılı bir şekilde hayata geçirilebilmesi, yalın felsefeyi destekleyen liderlik anlayışını gerektirmektedir. İşletme içerisinde yalın dönüşümün sağlanması, sadece teknik uygulamalarla sınırlı kalmamalı; aynı zamanda organizasyonel kültürü dönüştürecek liderlik becerilerini

de kapsamaludur (Imai, 2014). Bu noktada, yalın üretimin temel ilkelerinden biri olan “sürekli iyileştirme”, organizasyonun tüm üyelerini bu dönüşüm sürecine dâhil etmeyi öngörmektedir.

Sürekli iyileştirmeyi sağlayan yalın üretim araç ve teknikleri, işletmelerin verimliliklerini artırmak, israfları minimize etmek ve süreçlerini sürekli olarak iyileştirmek amacıyla geliştirilmiş sistematik yaklaşımlardır. Bu araçlar arasında Kaizen (sürekli iyileştirme), 5S (Seiri-Ayıklama, Seiton -Düzenleme, Seiso-Temizlik, Seiketsu-Standartlaştırma ve Shitsuke-Disiplin), Kanban, Tam Zamanında Üretim (Just in Time-JIT), Tam Sırasında Üretim (Just in Sequence-JIS), Altı Sigma, SMED (Tekli dakikalarda kalıp değişimi-Single Minute Exchange of Die), Heijunka (dengeleme) ve Hoshin Kanri (stratejik yön belirleme) gibi yöntemler öne çıkmaktadır. Ancak bu teknikler arasında Değer Akış Haritalama (DAH), yalın üretim felsefesinin en kritik unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir. DAH, bir ürün veya hizmetin müşteriye ulaşana kadar geçtiği tüm süreçlerde değer yaratan ve yaratmayan faaliyetleri görselleştirerek analiz etmeyi sağlar. Bu sayede israfın kaynakları kolayca tespit edilir, süreç akışları optimize edilir ve yalın dönüşüm en uygun tekniklerdendir. Diğer tekniklere göre DAH, uygulamada dijital araçlarla entegre edilerek daha dinamik ve veri odaklı bir yapıya kavuşmuş, yalın üretim uygulamalarının başarısında kilit bir rol üstlenmiştir (Meudt vd., 2017). Yalın üretim yalnızca operasyonel mükemmeliyet sağlamakla kalmaz, aynı zamanda müşteri odaklılık, tedarik zinciri optimizasyonu ve inovasyon süreçlerine de katkı sunar. DAH, görsel yönetim araçlarıyla yalın dönüşümün nasıl somutlaştırılabileceğine odaklanmaktadır.

Yalın üretim, küresel rekabetin giderek arttığı günümüz endüstriyel ortamında işletmelerin sürdürülebilir başarı elde edebilmeleri için kritik bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu yaklaşım, yalnızca üretim süreçlerinin optimizasyonunu değil, aynı zamanda organizasyonel dönüşümün temelini de oluşturmaktadır. Endüstri 4.0 devrimiyle birlikte yalın üretim, dijitalleşme, otomasyon ve veri odaklı karar verme süreçleriyle daha da entegre hale gelmiş, böylece üretim süreçlerinde esneklik ve çeviklik kavramları ön plana çıkmıştır. Bu bağlamda, yalın üretim ilkeleri; değer odaklılık, israfın sistematik bir şekilde ortadan kaldırılması ve sürekli iyileştirme felsefesi ile işletmelerin stratejik hedeflerine ulaşmalarında önemli bir rol oynamaktadır.

2. YALIN ÜRETİM FELSEFESİ

Yalın üretim, daha az kaynak kullanarak daha fazla ürün üretme hedefi doğrultusunda 1950’li yıllarda Toyota tarafından geliştirilmiş olup, bu yaklaşım genel olarak TPS olarak adlandırılmaktadır (Ohno, 2017). Toyota’daki ilk uygulamalar, 1950’lerde otomobil motoru üretiminde, 1960’larda otomobil montaj süreçlerinde ve 1970’lerde tedarik zinciri yönetiminde, Taiichi Ohno’nun liderliğinde gerçekleştirilmiştir. Özellikle tedarik zinciri yönetiminde, tedarikçi kılavuzlarının hazırlanmasıyla birlikte, yalın üretim felsefesine dair bilgiler ilk kez Toyota dışındaki işletmelerle paylaşılmıştır. Ancak bu kılavuzların Japonca olarak yazılması, İngiliz literatürüne tam olarak dahil edilmesini yaklaşık on yıl geciktirmiştir (Hines vd., 2004). Yalın üretim sisteminin temelini oluşturan TPS’in, Toyoda ailesi, mühendisler Taiichi Ohno ve Shigeo Shingo ile Toyota’daki diğer çalışanların katkılarıyla şekillendiği ifade edilmektedir. Taiichi Ohno’nun 1988 yılında yayımladığı “Toyota Üretim Sistemi” adlı eser, bu yaklaşımı uluslararası ölçekte tanıtarak geniş bir kitleye ulaşmasını sağlamıştır (Shah ve Ward, 2007). Bazı araştırmacılar, yalın’ın önceden popüler olan bir yöntemin yeni versiyonu olduğunu, başka bir deyişle TPS’in bir türevi olduğunu iddia etmektedirler (Dahlgaard ve Dahlgaard-Park, 2006; Näslund, 2013). Buna karşılık yalın üretimin yalnızca israfı en aza indirmek ve buna karşılık değer yaratmak için bir üretim yöntemi olduğunu söyleyen araştırmacılar da bulunmaktadır (Botti vd., 2017). Ancak, yalın üretim ya da TPS’in sadece belirli araçlar ve tekniklerden oluşan bir sistem olarak değerlendirilmesi eksik bir yaklaşım olacaktır. TPS üretim planlarını ve zihniyeti de kapsarken, yalın üretim sadece bu tür operasyonel araçlardan ibaret olmayıp, aynı zamanda organizasyonel kültürü, stratejik düşünme biçimini ve sürekli iyileştirme anlayışını içeren kapsamlı bir yönetim felsefesidir (Liker, 2004).

Yalın üretim kavramı ilk olarak 1988 yılında otomobil endüstrisini uluslararası olarak inceleyen Uluslararası Motorlu Taşıtlı Programı’na (IMVP) katılan araştırmacı John Krafcik tarafından kullanılmıştır (Womack vd., 2024). Ancak Womack ve çalışma arkadaşları 1990 yılında “Dünyayı Değiştiren Makine” adlı kitapta seri üretime kıyasla her şeyden daha azını kullanan yalın üretim kavramını literatüre kazandırmışlardır. Yalın üretimi tanımlamak, öncelikle tarihsel evrimini incelemeyi ve onu tanımlarken sıklıkla başvurulan farklı bakış açılarını belirlemeyi gerektirmektedir. Yalın üretimin bugüne gelmesine katkıda bulunan tarihsel gelişimi Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Yalın üretimin gelişimi

(Kaynak: Shah & Ward, 2007)

1927 öncesi	<p>Henry Ford, 1927’de yayımlanan “Bugün ve Yarın” adlı eserinde üretim felsefesini ve devrim niteliğindeki Ford Üretim Sistemi’nin (FPS) temel ilkelerini açıklıyor.</p> <p>1937 - Toyoda (daha sonra Toyota) Motor Şirketi, Japonya’da kurulur.</p> <p>*Toyoda kuzenleri Kiichiro-Eiji, Taiichi Ohno ve Shigeo Shingo ile birlikte FPS’yi çalışarak ve üretim süreçleri ile araçlarını mükemmelleştirerek Toyota Üretim Sistemi’ni (TPS) oluştururlar.</p> <p>*Tam zamanında üretim (JIT) üretim felsefesinin temel bileşenlerinden biridir.</p>
1937-1978 TPS Japonya’da	<p>1978 - Ohno, Japonca olarak “Toyota Üretim Sistemi” kitabını yayımlar. FPS’yi ve Amerikan süpermarket modelini düşünce sürecine nasıl dahil ettiğini açıklar.</p> <p>*Ohno’ya göre TPS’nin temel amacı israfı azaltarak maliyetleri düşürmektir. Bu, kaliteli üretim, kalite güvencesi ve insana saygı yoluyla başarılabilir.</p> <p>*Yalnızca gerekli türde ve miktarda birimi, ihtiyaç duyulan zamanda üretmeyi önerir.</p>
1973-1988 TPS Amerika’da	<p>1973 - Kuzey Amerika’daki petrol krizi büyük ilgi uyandırır ve birçok akademik ve profesyonel makale yayımlanarak yeni Japon üretim ve yönetim uygulamalarına olan ilgiyi artırır.</p> <p>1977 - Sugimori ve arkadaşları tarafından yazılan ilk akademik makale yayımlanır; bu çalışma, Kanban gibi araçları ve TPS’nin üretim akışı ve liderlik üzerindeki etkisini ele alır.</p> <p>1984 - NUMMI, Toyota Motor Şirketi ve General Motors’un ortak girişimi olarak Kaliforniya’da kurulur.</p> <p>1980’lerin ortaları – Monden 1983’te, Taiichi Ohno 1988’de “Toyota Üretim Sistemi” adlı önemli kitaplar yayımlarlar.</p>

	1988 - Krafcik, Toyota tarafından kullanılan üretim sistemini tanımlamak için “yalın” terimini ortaya atar.
	1990 - Womack, Jones ve Roos tarafından yazılan “Dünyayı Değiştiren Makine” kitabı yayımlanır.
1988-2000 Akademik Araştırmalar	Bu kitap, Toyota’nın üretim sistemini tanımlamak için “yalın üretim” kavramını popüler literatüre kazandırır.
	1994 - Womack ve Jones tarafından yazılan Lean Thinking kitabı yayımlanır. Kitap, yalın felsefeyi ve yalın üretimin temel ilkelerini kurumsal seviyeye taşır.
2000 ve Sonrası	Toyota Motor Şirketi başta olmak üzere, otomotiv sektörü ve diğer sektörlerde yalın üretim ve teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır.
	Endüstri 4.0 teknolojilerle yalın üretim entegrasyonu başlamıştır.

Tablo 1’de de görüldüğü gibi yalın üretim doğrudan Toyota Üretim Sistemi’nden türemiştir ve sıklıkla TPS bir temsilcisi olarak kullanılır. TPS, Taiichi Ohno’nun Toyota Motor Şirketi’ndeki otuz yılı aşkın deneyimlerinden ve girişimlerinden evrilmiştir. TPS, 1984 yılında Toyota ve General Motors ortak girişimi olan NUMMI’nin kurulmasıyla birlikte ABD’de resmen tanıtıldı. Ancak, sistemin ABD’ye fiili geçişi çok daha önce başlamış olup kademeli ve parçalı bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu sürecin coğrafi nedenlerden dolayı zaman içinde yavaş ilerlemesi, yeni üretim anlayışının benimsenmesinde ek bir gecikmeye neden olmuştur. TPS’in kavranması ve uygulanması aşamalı olarak gelişmiş ve zaman içinde evrim geçirmiştir.

Temelinde TPS olan yalın üretim, tedarikçiden nihai müşteriye uzanan süreçte verimliliği artırarak her iki taraf için de kazan-kazan anlayışını destekleyen etkili bir yöntemdir (Abdulmalek ve Rajopal, 2007; Maruthamudhu vd., 2011; Monden, 2012; Okur, 1997; Shingo, 1983; Womack ve Jones, 2003). Yalın üretim yaklaşımının temel amacı, israfi ortadan kaldırmak ve üretkenliği artırmaktır (Wee ve Wu, 2009).

2.1 Yalın Üretim İlkeleri

Üretim süreçlerindeki gereksiz maliyetleri, zaman kayıplarını ve verimsizlikleri minimize etmeyi hedefleyen, müşteri odaklı bir anlayışla sürekli iyileş-

tirmeyi esas alan yalın üretim, rekabet gücünü artırmak isteyen işletmeler için kritik bir strateji haline gelmiştir. Bu bağlamda, yalın üretimin temel ilkeleri işletmelerin sürdürülebilir verimlilik sağlamasında önemli bir rol oynamaktadır. Yalın Üretim' in 5 temel ilkesi şunlardır (Womack ve Jones, 2003):

- Değer
- Değer Akışı
- Akış
- Çekme
- Mükemmellik

2.1.1 Değer

Değer nihai müşteri tarafından tanımlanan, üretici tarafından yaratılan kritik bir kavramdır (Womack ve Jones, 2003). Değerin dinamik doğasından, ölçüm güçlüğünden ve öznelliğinden dolayı üreticinin değeri tanımlaması oldukça zordur. Aynı ürün ya da hizmet, farklı müşteri segmentleri için farklı değer öğeleri içerebilir (Rother ve Shook, 1999). Yalın üretim israfı ortadan kaldırarak müşteri için değer yaratmaya odaklanan bir üretim sistemidir. Yalın düşüncenin temel ilkelerinden biri olan “değer”, yalın üretim sistemlerinin merkezinde yer almakta olup, müşterinin ihtiyaçlarına ve beklentilerine uygun ürün ya da hizmetlerin en etkin şekilde sunulmasını ifade etmektedir (Liker, 2004). Müşteri değer algısı, yalnızca ürünün teknik özelliklerinden ibaret olmayıp, maliyet, teslimat süresi, kalite, esneklik ve ürünle ilgili duygusal faktörleri de kapsamaktadır (Ohno, 2017). Bu nedenle, yalın üretim değer yaratma süreci yalnızca üretim faaliyetleri ile sınırlı kalmamalı; tasarım, tedarik zinciri yönetimi ve müşteri ilişkileri yönetimi gibi birçok boyutu içermelidir. Değer kavramı yalın üretimin temel taşlarından biri olup, müşteri odaklı bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Değerin tanımlanması ve sürekli iyileştirilmesi, yalın üretimin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için kritik bir unsur olma-ya devam etmektedir.

2.1.2 Değer Akışı

Değer net bir şekilde tanımlandıktan ve değer yaratmayan faaliyetler ortadan kaldırıldıktan sonra, yalın üretimin bir sonraki aşamasına geçilir. Bu aşama, üretim süreçlerinde değer yaratan faaliyetlerin değer akışını sağlamaktır

(Womack ve Jones, 2003). Değer akışı, yalın üretim sistemlerinde israfların belirlenmesi ve akışın iyileştirilmesi için kritik bir araçtır (Hines vd., 2004). Değer akışını iyileştirmek için yalın üretim araçlarından Değer Akış Haritalama (DAH) kullanılmakta olup, bu yöntem işletmelerin mevcut ve gelecekteki durumlarını daha iyi anlamalarına yardımcı olmaktadır (Rother ve Shook, 1999). Değer akışının etkin yönetimi, yalın üretim uygulamalarının başarılı bir şekilde hayata geçirilmesi için kritik bir unsur olmaya devam etmektedir.

2.1.3 Akış

Yalın üretimin temel ilkelerinden biri olan akış, değer yaratan faaliyetlerin kesintisiz bir şekilde ilerlemesini sağlamak amacıyla süreçlerin optimize edilmesini ifade eder (Rother ve Shook, 1999). Akış, bir ürün ya da hizmetin gereksiz bekleme ve duraksamalar olmaksızın üretimden teslimata kadar akıcı bir şekilde ilerlemesinin sağlanmasıdır. Sürekli akışı sağlamak için yalın üretim sistemleri, çekme sistemleri, esnek işgücü kullanımı ve hücre tabanlı üretim gibi teknikleri uygulamaktadır (Shingo, 1983). Değer yaratan faaliyetlerin duraksaması israfa yol açacağı için akışın sürekli olması kritik önemdedir. Sürekli akışı sağlamanın en büyük faydalarından biri, üretim süresini kısaltarak müşteriye daha hızlı teslimat yapabilmektir. Stok seviyelerini azaltma, hat dengesini sağlama, çalışan verimliliğini artırma, gereksiz prosesleri ve bekleme sürelerini azaltma gibi faktörlere odaklanmak akışın sürekliliğini sağlayacaktır (Dennis, 2007).

2.1.4 Çekme

Üretimin müşteri talebine dayalı olarak yürütülmesini sağlayan bir yaklaşımdır. Çekme sisteminde müşteriden talep gelmeden bir mal veya hizmet üretilmemektedir. Geleneksel itme sistemleri, tahmine dayalı üretim yaparak fazla stok oluşturma riski taşıırken, çekme sistemi talebe dayalı çalışarak bu riski minimize eder (Hopp ve Spearman, 2004). Çekme sisteminin başlatılmasını sağlayan bilgi akışına Kanban denilmektedir. Kanban, bir sonraki süreçten bir öncekine üretim emri gönderen, çekilen ürünün çeşidini ve miktarını gösteren bir karttır. Kanban, üretim ve tedarik zinciri içerisinde malzeme ve bileşenlerin ancak ihtiyaç duyulduğunda tedarik edilmesini sağlayan bir sinyal mekanizması olarak kullanılmaktadır (Ohno, 2017). Bu yöntem, fazla

stokun ve gereksiz stok maliyetlerinin azaltılmasını sağlayarak yalın üretimin etkinliğini arttırmaktadır (Liker, 2004).

2.1.5 Mükemmellik

Sürekli iyileşme anlayışına dayanarak, üretim sürecinde tüm israfların ortadan kaldırılmasını ve sürecin müşteri ihtiyaçlarına en uygun hale getirilmesini ifade etmektedir. Mükemmellik son noktası olmayan yalın bir yolculuk olduğu için PUKÖ Döngüsü (Planla, Uygula, Kontrol Et, Önlem Al) gibi iyileştirme yöntemleri ile desteklenmektedir. İsraf tümüyle yok edilemeyeceğinden döngü proseslerin sürekli iyileştirilmesi ve mükemmelliğe en yakın noktaya gelmesini hedeflemektedir (Deming, 1986).

2.2 İsraf ve İsraf Türleri

Teslim süresi, Taiichi Ohno'nun ünlü sözünde belirtildiği gibi “yapmaya çalıştığımız tek şey siparişten nakde kadar geçen süreyi azaltmaktır.” Teslim süresi, bir dizi israf, gerçek üretim süreleri ve hareket sürelerinden oluşmaktadır. TPS’te Muda (İsraf), Muri (Aşırı Yük) ve Mura (Düzensizlik) olarak üç tür israfa dikkat çekilmiştir. Muda, Muri ve Mura üçlüsü, yalın üretimde toplam verimsizliği oluşturan unsurlar olarak kabul edilir ve bunların dengeli bir şekilde yönetilmesi, yalın dönüşüm sürecinin başarısını doğrudan etkilemektedir (Shingo, 1983; Başak vd., 2019). Ancak bunlardan diğerlerinin az belirgin olmasından dolayı “muda” daha çok dikkat çekmiştir (Womack ve Jones, 2003).

2.2.1 Muda

Yalın üretimin amacı yüksek kalite ve düşük üretim maliyetleri elde etmek için israfi yok etmek ve verimliliği arttırmaktır (Wee ve Wu, 2009). Bu bağlamda, muda kavramı, müşteri için doğrudan değer üretmeyen her türlü faaliyet olarak tanımlanmaktadır (Womack ve Jones, 2003; Imai, 2014). Taiichi Ohno tarafından geliştirilen TPS’de muda, üretim sürecinin verimliliğini azaltan temel bir unsur olarak ele alınmış ve yedi temel israf türü belirlenmiştir. Bu israf türlerinin belirlenmesi ve ortadan kaldırılması, yalın üretimin başarısı için kritik bir gerekliliktir. Bu yedi temel israf türü şu şekilde sınıflandırılmaktadır (Liker, 2004; Ohno, 2017):

2.2.1.1 Fazla Üretim

Müşteri talebinden fazla üretim yapılması sonucunda ortaya çıkan önemli bir israf türüdür. Fazla üretim, fazla stok oluşumuna yol açarak depolama ve taşıma maliyetlerini ve nihai ürünlerin bozulma ya da eskime riskini artırmaktadır (Ohno, 2017; Çanakçıoğlu, 2019). Buradan yola çıkarak aslında fazla üretim diğer bütün israflarında nedenidir.

2.2.1.2 Fazla Stok

Stok bulundurmanın en önemli avantajlarından biri, talep dalgalanmalarına karşı tampon işlevi görerek üretim süreçlerinde sürekliliği sağlamasıdır (Chopra ve Meindl, 2016). Özellikle belirsiz pazar koşullarında, emniyet stoğu tutmak tedarik zinciri kesintileri, teslimat gecikmeleri ve ani talep artışlarına karşı işletmeleri korumaktadır. Ancak fazla stok bulundurmak, depolama giderleri, stokta bozulma, değer kaybı ve envanter fazlası riski gibi sorunlara yol açabilir.

Fazla stok üretim sürecinde ihtiyaç duyulandan daha fazla hammadde ya da ürün bulundurulması nedeniyle ortaya çıkan israf türüdür. Fazla stok bir israf olsa da stok bulundurmamakta işletme için risk oluşturmaktadır. Stok bulundurmama yüzünden tedarik zincirinde herhangi bir aksama durumunda üretim durmaları, müşteri taleplerini karşılamada yetersizlik ve rekabet avantajının kaybı gibi riskleri beraberinde getirir (Simchi-Levi vd., 2008). Özellikle küresel tedarik zincirlerine bağımlı olan firmalar için tedarik gecikmeleri ciddi operasyonel kırılganlıklara neden olabilir. Etkin stok yönetimi; işletmelerin maliyet, hizmet seviyesi ve operasyonel riskler arasında denge kurmasını gerektirir.

2.2.1.3 Hurda-Fire ve Tekrar İşleme

Kalite standartlarını karşılamayan ürünlerin ortaya çıkması sonucu tekrar işleme ya da hurdaya ayrılma gerekliliği doğuran bir israf türüdür. Hatalı üretimin azaltılması, kalite yönetim sistemlerinin etkin uygulanmasıyla mümkündür (Çanakçıoğlu, 2019).

2.2.1.4 Değersiz Hareket

Çalışanların üretim sürecinde değer yaratmayan fiziksel eylemler gerçekleştirilmesi sonucu oluşan bir israf türüdür. Çalışanların ergonomik olmayan iş düzenlemeleri nedeniyle fazladan hareket etmesi hem zaman kaybına hem de iş kazalarının artmasına sebep olabilir (Womack ve Jones, 2003).

2.2.1.5 Gereksiz Proses

Üretim sürecinde müşteriye değer katmayan gereksiz ya da fazla işlem adımlarının bulunmasıdır. Bu israf türü genellikle hatalı tasarım, aşırı kalite gereksinimleri ya da yanlış süreç yönetimi nedeniyle ortaya çıkmaktadır (Liker, 2004). Örneğin, bir parçaya gereğinden fazla yüzey işlemi yapılması veya gereksiz kontrollerin eklenmesi, üretim süresini ve maliyetleri artırırken katma değer sağlamamaktadır (Ohno, 2017). Gereksiz proses israfının önlenmesi için süreçlerin yalınlaştırılması ve müşteri beklentilerine uygun gerekliliklerin belirlenmesi önemlidir (Shingo, 1983; Çelik, 2020).

2.2.1.6 Fazla Bekleme Süreleri

Üretim süreçlerinde önemli bir israf kaynağıdır. Üretimde çalışan işçilerin ya da makinelerin, bir önceki sürecin tamamlanmasını beklemesi nedeniyle zaman kaybı yaşanır. Bu durum, üretim hatlarının dengeli yönetilememesi ve makine arızaları gibi nedenlerle ortaya çıkabilir (Hines vd., 2004).

2.2.1.7 Fazla Taşıma Süreleri

Hammaddelerin, yarı mamullerin ya da bitmiş ürünlerin üretim sürecinde gereksiz yere taşınması sonucu zaman ve kaynak israfına yol açmaktadır (Shingo, 1983).

İsrafın ortadan kaldırılması, yalın üretim sisteminin temel hedeflerinden biridir. Bunun için israfın sistematik olarak analiz edilmesi ve yalın üretim teknikleriyle azaltılması gerekmektedir. Ayrıca yalın üretim felsefesi, değer akışının etkin yönetilmesi, çekme esaslı üretim sistemlerinin uygulanması ve çalışanların katılımının sağlanması gibi unsurları içermektedir. İsrafın azaltılması, işletmelerin rekabet gücünü artırırken, aynı zamanda müşteri memnuniyetini ve sürdürülebilirliği de artırmaktadır.

2.2.2 Muri

Muri, çalışanlara, makinelere ya da üretim süreçlerine aşırı yük bindirilmesi anlamına gelmektedir. Çalışanların fiziksel veya zihinsel kapasitelerinin üzerinde çalıştırılması, uzun vadede iş kazalarına, tükenmişliğe ve verimlilik kayıplarına yol açabilmektedir (Hopp ve Spearman, 2004). Benzer şekilde, makinelerin kapasitelerinin üzerinde çalıştırılması da ekipman arızalarına ve üretim süreçlerinde beklenmedik duruşlara neden olabilir. Bu nedenle, Muri'yi önlemek için üretim süreçlerinde iş yükü dengelenmeli ve ergonomik

çalışma koşulları sağlanmalıdır (Womack ve Jones, 2003).

2.2.3 Mura

Mura üretim sürecindeki düzensizlikleri ifade eder. Üretimde dalgalanmalar, sipariş belirsizlikleri ya da hat içi iş akışındaki düzensizlikler, üretim süreçlerinde verimlilik kaybına neden olmaktadır (Hines vd., 2004). Örneğin, bir üretim hattının belirli bir aşamasında iş yükü yoğunken, diğer aşamalarda beklemeler yaşıyorsa, bu durum hem zaman kaybına hem de kaynakların verimsiz kullanımına yol açmaktadır (Shah ve Ward, 2007). Mura'nın azaltılması için üretim sürecinin standartlaştırılması, çekme esaslı üretim sistemlerinin kullanılması ve talep yönetiminin etkin şekilde yapılması gerekmektedir (Ohno, 2017).

Muri ve mura'yı azaltmak muda'yı büyük ölçüde azaltmaktadır. Bu üç israf kategorisi arasındaki ilişkiden, sadece muda'nın yedi israfına odaklanmak yerine, daha az sıklıkla ele alınan mura ve muri israflarına da odaklanarak iyileştirmeler elde edilebilir. Örneğin, fazla üretim bütün muda'nın başlangıç sebebidir. Üretim süreçlerinde kanban sistemi kullanılarak tam zamanında üretim yapılmazsa mura da ortaya çıkar ve fark etmeden fazla üretim oluşur. Aslında, iş düzgün bir akışta gerçekleşmediği için sistemde mura'nın varlığı da muri'ye neden olur. Stok seviyeleri en aza indirilip, üretim tam zamanında beslenip, heijunka (yük dengeleme), kanban ve standardizasyonla birlikte, muri ve mura'yı azaltabilir ve bu da nihayetinde muda'yı azaltacaktır. Muri ve Mura'nın giderilmesi, yalın üretimin temel ilkelerinden biri olan Heijunka (üretim dengelemesi) ile doğrudan ilişkilidir. Heijunka, üretim sürecinde dengeli bir iş akışı sağlayarak aşırı yüklemeleri ve dengesizlikleri ortadan kaldırmayı amaçlar (Liker, 2004). Bu kapsamda, Jidoka (otonomasyon) ve standart iş uygulamaları da süreç içindeki düzensizlikleri azaltmak için kritik araçlardır (Spear ve Bowen, 1999). Dolayısıyla, yalın üretim sisteminin başarısı yalnızca muda'nın (israfın) azaltılmasına değil, aynı zamanda muri ve mura'nın da etkin bir şekilde yönetilmesine bağlıdır.

Muri'nin azaltılması için aşırı yüklemeyi önleyici çalışma standartlarının geliştirilmesi, Mura'nın önlenmesi için ise üretim sistemlerinin dengeleme prensiplerine göre tasarlanması gerekmektedir (Hines vd., 2004). Böylece, yalın üretim sistemleri hem çalışan refahını hem de operasyonel verimliliği artırarak küresel rekabet ortamında işletmelere sürdürülebilir bir avantaj sağlayabilir.

2.3 Yalın Üretim Araç ve Teknikleri

Tüm yalın üretim araç ve tekniklerinde PUKÖ (Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem Al) döngüsü kullanılmaktadır. Bunun nedeni yalın süreç iyileştirmelerinin asla sonu olmamasıdır. Sürekli iyileştirilecek bir proses, iş adımı, makine vb. kaynak bulunmaktadır. PUKÖ döngüsü, sürekli iyileştirme ve kalite yönetimi süreçlerinde kullanılan sistematik bir yaklaşımdır. Deming (1986) tarafından popülerleştirilen bu döngü, organizasyonların süreçlerini veriye dayalı bir şekilde yöneterek performanslarını artırmalarına olanak tanımaktadır. Sürecin ilk aşaması olan “Planla” adımı, mevcut durumun analiz edilerek iyileştirme alanlarının belirlenmesini ve hedeflerin oluşturulmasını kapsamaktadır. Bu aşamada, veri toplama, hipotez geliştirme ve stratejik planlama gibi unsurlar ön plana çıkmaktadır (Imai, 2004). Ardından gelen “Uygula” aşaması, planlanan değişikliklerin küçük ölçekli olarak test edilmesini ve uygulanmasını içermektedir. Bu süreçte, deneysel uygulamalar ve pilot projeler kritik bir rol oynamaktadır (Juran ve Godfrey, 1999). Döngünün üçüncü aşaması olan “Kontrol Et” aşamasında, uygulanan değişikliklerin performansı değerlendirilerek beklenen sonuçlarla karşılaştırmaktadır (Taguchi vd., 1989). Elde edilen veriler doğrultusunda sürecin etkinliği analiz edilerek iyileştirme gerektiren alanlar belirlenmektedir. Son aşama olan “Önlem Al” aşaması ise değerlendirme sonuçlarına göre gerekli düzeltici veya iyileştirici adımların atılmasını kapsamaktadır. Başarılı olduğu kanıtlanan uygulamalar standart hale getirilerek kurumsal süreçlere entegre edilmektedir (Oakland, 2014). Böylece, PUKÖ döngüsü, sürekli gelişimi teşvik eden ve organizasyonların rekabet gücünü artıran bir yönetim aracı olarak işlev görmektedir.

Yalın üretim, yalın ilkeler kapsamında çok çeşitli araçlardan ve tekniklerden faydalanarak verimliliği artırmayı hedefleyen sistematik bir yönetim felsefesidir. Bu yaklaşım, üretim süreçlerinde gereksiz maliyetleri ve zaman kayıplarını minimize etmek için çeşitli araç ve teknikler kullanır. Bu araç ve tekniklerin bütüncül bir yaklaşımla uygulanması, yalın üretimin temel hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynar ve sürdürülebilir operasyonel mükemmelliğin sağlanmasına katkıda bulunur. Bu tekniklerden bazıları; Kaizen, 5S, Kanban, JIT ve JIS, Altı Sigma, SMED, Heijunka, Hoshin Kanri ve DAH’dır (Shingo, 1983; Hirano, 1995; Rother ve Shook, 1999; Ohno, 2017).

2.3.1 Kaizen

Japonca bir terim olup Kai'nin anlamı değişim, Zen'in anlamı ise iyiye doğru demektir. Kelimeler birleştiğinde ise, kaizen, daha iyiye doğru sürekli değişim anlamına gelmektedir (Imai, 2014). Kaizen'i anlamadan önce, Zen felsefesinin tarihsel gelişimi ve Japonya'daki etkisi üzerinde durmak faydalı olacaktır. Zen, M.S. 5. yüzyılda Çin'de ortaya çıkmış ve Budizm'in bir uzantısı olarak şekillenmiştir. Zen, 12. yüzyılda Japonya'ya ulaşarak burada önemli bir evrim geçirmiştir. Batı'ya daha sonraki yıllarda aktarılırken, Zen terimi Japonya'daki anlamıyla popülerleşmiştir. Zen'in Japon kültüründeki etkileri, özellikle iş dünyasında, kaizen gibi sürekli iyileştirme felsefelerine zemin hazırlamıştır (Chiarini vd., 2018).

Kaizen, genel olarak çalışanların işletmeyi sahiplenmesi, her gün küçük adımlarla iyileştirmeler yaparak rekabet ortamında başarılı olmayı amaçlamalarıdır. Batı dünyası, kaizen'i genellikle kalite odaklı bir anlayışla ele alırken, Japonya bu felsefeyi daha geniş bir değişim perspektifiyle uygulamaktadır. Japonya'da kaizen, daha çok görülebilen değişiklikler üzerinde yoğunlaşır; örneğin, bir cihazın iyileştirilmesi ya da ofis ortamının daha kullanışlı hale getirilmesi gibi somut değişimler ön plandadır. Bununla birlikte, her değişim kalite artışını garanti etmez, çünkü kalite bazen kesin bir şekilde ölçülemeyebilir ve dolayısıyla belirli bir pazarlama değeri taşımayabilir. Bu doğrultuda, kaizen'in sanayideki gelişimi, yalnızca kaliteye odaklanmaktan çok, sürekli ve görünür iyileştirmeler yapmayı amaçlamasıdır. Kaizen'in özü basit ve açıktır; kelime anlamı itibarıyla basitçe "sürekli iyileştirme" demektir. Kaizen, aynı zamanda bir problem çözme yöntemidir. Problemler belirlendikten sonra çözümlenmelidir ve bu çözüm süreci çeşitli araçların kullanılmasını gerektirmektedir. Problemlerin çözülmesi, işletmeleri her defasında daha ileri bir seviyeye taşır. Ulaşılan yeni seviyenin pekiştirilmesi için kaizen, sağlanan iyileştirmelerin standartlaşmasını ve bu standartlara büyük bir disiplinle uyulmasını öneren yöntemdir. Bu yaklaşım, sürekli gelişimi ve ilerlemeyi hedefler, böylece işletmelerde sürekli bir iyileşme süreci sağlanır. Japon felsefesine göre hiçbir şey tamamen mükemmel değildir bu yüzden her şeyi daha fazla iyileştirmenin bir yolu vardır. Bu anlayış, her şeyin daha ileriye götürülebileceği bir yönünün bulunmasını gerektirmektedir. Bu yaklaşım, iki önemli ilkede somutlaşır: İsraktan kaçınmak ve problemleri örtmek yerine ortaya çıkmasını sağlamaktır. Japon tarzı üretim anlayışında israf, tamamen istenmeyen bir durumdur. Bir işin yapılması sırasında boş yere kulla-

nılan her kaynak, israf olarak kabul edilir ve bu da sürekli iyileştirme sürecinin temel unsurlarından biri haline gelir (Imai, 2014).

Kalite sorunlarının çözülmesinden mevcut kalite seviyesinin iyileştirilmesine, arızaların azaltılmasından stokların minimize edilmesine kadar geniş bir yelpazede kaizen çalışmaları yapılmaktadır. Ayrıca, ergonomik çalışma koşullarının iyileştirilmesi, süreç geliştirme, işgücü tasarrufu sağlanması, gereksiz malzemelerin azaltılması gibi alanlarda da önemli katkılar sunmaktadır.

Literatürdeki çalışmalar kaizen'in farklı anahtar özelliklerine değinmiş olsalar da çoğu çalışmada aşağıda belirtilen üç temel özelliğin öne çıktığı görülmektedir (Paul ve New, 2003):

- Kaizen, sürekliliği esas alır. Bu yaklaşım, kalite ve verimlilik iyileştirme çabalarını kapsayan, sonu olmayan bir gelişim süreci içerir.
- Kaizen, doğal olarak aşamalı bir ilerleyişi benimser; genellikle yöneticiler, organizasyonel değişiklikler veya teknolojik yeniliklerle sürece başlarlar.
- Kaizen, katılımcı bir yaklaşımdır. Süreçlerin her aşamasında çalışanların aktif katılımıyla sürekli iyileştirme çalışmaları yapılır.

Masaaki Imai'nin (2014) "Kaizen, Japonya'nın Rekabetteki Başarısının Anahtarı" kitabında kaizen şu şekilde tanımlanmaktadır:

"Japonların savaş sonrası ekonomik mucizesini anlamak için akademisyenler, gazeteciler ve iş adamları incelemelerini verimlilik hareketi, toplam kalite kontrol, küçük grup faaliyetleri, öneri sistemi, otomasyon, endüstri robotları ve iş ilişkileri gibi faktörler üzerinde yoğunlaştırdılar. Yaşam boyu istihdam sistemi, kıdeme göre ücret, şirket sendikaları gibi Japonlara özgü bazı yönetim uygulamalarına daha fazla ilgi gösterdiler. Ama tüm bu uygulamaların ardında yatan, Japon yönetimine özgü çok basit gerçeği yakalayamadılar. Japonlara özgü yönetim uygulamalarının; üretimde iyileştirme, toplam kalite kontrol faaliyetleri, kalite kontrol çemberleri ve iş ilişkileri, özü tek bir cümleyle ifade edilebilir: Kaizen. Verimlilik, sıfır hata, kanban, öneri sistemi sözleri yerine kaizen teriminin kullanılması Japon endüstrisinde olup biteni anlamayı kolaylaştıracaktır. Kaizen, artık dünya çapında tanınan Japonlara özgü çok sayıda uygulamayı bir araya getiren şemsiye kavramdır."

Bu ifadeye göre, Japonya savaş sonrası ekonomik başarısını açıklamak için geliştirilen farklı yönetim uygulamalarını ele almakta ve bu uygulama-

ların temelinde yatan kavramsal çerçevenin kaizen olduğu vurgulanmaktadır. Akademisyenler ve iş dünyası, Japon endüstrisinin verimlilik hareketi, toplam kalite kontrol, öneri sistemleri ve otomasyon gibi unsurlarına odaklanmış olsa da Imai'ye (2014) göre bu başarıyı anlamlandıran esas unsur kaizen felsefesidir. Kaizen, sürekli iyileştirme anlayışıyla, iş süreçlerinde verimliliği artırmayı, hataları minimize etmeyi ve çalışan katılımını teşvik etmeyi amaçlayan bütüncül bir yaklaşımdır. Bu bağlamda, Japonya'nın kendine özgü yönetim uygulamalarını bireysel araçlar yerine kaizen çatısı altında değerlendirmek, Japon endüstriyel başarısını daha bütünsel ve doğru bir perspektiften incelemeyi mümkün kılmaktadır.

2.3.1.1 Kaizenin Yararları

Sürekli iyileştirme, kaizen olarak da adlandırılan bir yaklaşım olup, süreçlerin ve ürünlerin kalite, maliyet ve tedarik sürelerini optimize etmek amacıyla işçiler ve mühendislerin iş birliği içinde yürüttüğü, kesintisiz gelişimi hedefleyen sistematik bir programı ifade eder (Imai, 2014). Bu felsefe, çalışanların yılda bir kez katılacağı geçici bir program olmamalıdır. Aksine, sürekli iyileştirme süreci, çalışanların günlük iş planlarının ayrılmaz bir parçası olmalıdır. Ayrıca, organizasyondaki tüm bireylerin, iyileştirme odaklı yeni iş yapma yöntemlerini öğrenmeye yönelik istekli ve esnek olmaları beklenir. Bu yaklaşım, işletmelerin sürdürülebilir başarı ve gelişimi için temel bir yapı taşıdır. Buna bağlı olarak kaizen'in yararları şu şekilde sıralanabilir (Manos, 2007; Vento vd., 2016):

- *Kalite İyileştirme ve Verimlilik Artışı:* Kaizen, sıfır hatalı üretim hedefiyle kaliteyi sürekli olarak iyileştirir ve verimliliği artırır.
- *İnsancıl Yaklaşım ve İşyerine Katkı:* Her çalışanın, işyerinde geçirdiği zamanın büyük bir kısmını iyileştirme süreçlerine katkı sunarak geçirebileceği inancını benimseyen kaizen, işyeri ortamını sürekli iyileştirmeyi amaçlar. Bu yaklaşım, sıfır iş gücü kaybı hedefiyle çalışanların etkinliğini artırır.
- *Stokların Azalması:* Kaizen, süreçleri iyileştirerek stok seviyelerinin azaltılmasına yardımcı olur ve sıfır stok hedefiyle gereksiz envanter birikimini ortadan kaldırır.
- *Kaliteli Üretim Artışı:* Kaizen'in temel ilkelerinden biri, sıfır hatalı üretim hedefiyle kaliteli üretimin artırılmasıdır.

- *Gereksiz Süreçlerin Eliminasyonu:* Kaizen, süreçlerdeki israfları ve gereksizlikleri ortadan kaldırarak, sıfır gereksiz süreç hedefiyle verimli bir işleyiş sağlar.
- *Fazla İşgücünün Azalması:* Kaizen, sıfır iş gücü kaybı ilkesiyle fazla işgücünü ortadan kaldırır ve çalışan verimliliğini en üst düzeye çıkarır.
- *Zamandan Tasarruf:* Süreçlerin sürekli olarak iyileştirilmesi sayesinde hazırlık ve üretim süreleri azaltılır ve sıfır zaman kaybı hedefiyle iş süreçleri hızlandırılır.
- *Rekabetçi ve Karlı İş İlişkileri:* Kaizen, insanı merkeze alan bir yaklaşım benimseyerek, süreci sürekli iyileştirerek işin rekabetçi ve kârlı hale dönüşmesini sağlar.
- *Sürekli İyileştirme ve Süreç İlgisi:* Hem süreç hem de sonuç odaklı yaklaşımıyla, yöneticiler ve çalışanlar yalnızca sonuca değil, süreci de iyileştirme konusunda ödüllendirilir.
- *Çift Yönlü İletişim ve Organizasyonel Aidiyet:* Yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya çift yönlü iletişim sayesinde, üst yönetimden en alt kademedeki çalışanlara kadar tüm ekip üyeleri arasında aidiyet duygusu güçlenir ve organizasyona bağlılık artar.
- *Yönetim Yaklaşımları ve Problem Çözme:* Kaizen, yukarıdan aşağıya yönetim yaklaşımında, genelde tasarım odaklı bir yaklaşım benimser ve hedeflere ulaşmak için araçların doğru bir şekilde kullanılmasına odaklanır. Bu yaklaşımın yönetim alanındaki uygulanması, hedef belirleme ve hedefe ulaşma konusunda büyük bir özen gerektirir.
- *Analitik Yaklaşım ve Eğitim:* Bu yaklaşımda, yönetim hiyerarşisinin alt seviyelerindeki yöneticiler ve çalışanlar analitik araçları kullanabilmek için eğitilir ve problem çözme yetenekleri geliştirilir.
- *Problem Çözme ve Sürekli İyileştirme:* Analitik ve tasarım yaklaşımlarının birleşimi, her seviyedeki yöneticilerin ve çalışanların karar verme süreçlerinde daha etkili olmalarını sağlar. Bu da işletmenin problem çözme ve sürekli iyileştirme becerisini artırır.
- *Gerçek Sorunların Anlaşılması:* Çalışanların, işletmenin karşılaştığı gerçek sorunları daha iyi anlamaları sağlanır, böylece önemli konulara da daha fazla yoğunlaşmaları mümkün olur.
- *Planlamaya Verilen Önem:* Kaizen, planlama aşamasına daha fazla

önem vererek, geleceğe yönelik stratejik adımların atılmasını sağlar.

Bu faydalı yalın üretim tekniği ile birlikte gerçekleştirilecek iyileştirmeler ile üretimde gerçekleşen israf kalemleri elimine edilip, verimlilik artışları gerçekleşecek, yalın üretimin üzerinde durduğu sıfır israf hedefine yaklaşma noktasında mükemmelliğe giden yolda adımlar atılabilmiş olacaktır (Çakır, 2011). Kaizen uygulamasının en önemli etkileri; üretkenlik, kalite ve verimlilik artışı, daha düşük maliyetler, israfların ortadan kaldırılması, işyeri güvenliğidir.

2.3.1.2 Kaizen Süreci

Bir işletmede kaizen uygulamasının başarılı bir şekilde hayata geçirilebilmesi için öncelikle mevcut durumun yetersiz olduğunun tespit edilmesi, çalışanların sürece aktif katılımının sağlanması ve problem çözme tekniklerinin sistematik bir şekilde yaygınlaştırılması gerekmektedir. Kaizen yaklaşımının etkinliği ise üst yönetimin kararlı desteği ve tüm çalışanların bu felsefeyi içselleştirerek sürekli iyileştirme kültürünü benimsemesi ile mümkün olmaktadır. Kaizen'in bireysel çalışanlardan üst yönetime kadar tüm organizasyonel seviyeleri kapsayan ve sürekli iyileştirmeyi teşvik eden hiyerarşik yapısı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kaizen hiyerarşisi

Üst Kademe Yönetim	Orta Kademe Yönetim	Alt Kademe Yönetim	Çalışanlar
Kaizen'i şirket stratejisi yapma	Kaizen hedeflerinin yürütülmesi	Kaizen faaliyetlerini belirleme	Kaizen'e öneri sunarak katılma
Kaizen'e kaynak sağlama	Kaizen faaliyetlerini belirleme	İşçilere Kaizen'de rehberlik	Kaizen disiplinine uyum sağlama
Kaizen politikalarını ve hedeflerini oluşturma	Kaizen standart hale getirme	Çalışan motivasyonunu sağlama	Problem çözümü
Kaizen hedeflerini denetleme	Çalışanlara Kaizen bilinci aşılama	Kaizen önerileri hazırlama	Kaizen eğitimlerine katılım
Kaizen sistemini kurma	Kaizen ekibine yardım etme	Kaizen disiplini sağlama	

Kaynak: Tekin vd.,2019

Kaizen'in başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için Tablo 2'de gösterildiği gibi sistematik bir yapı gereklidir. Kaizen hiyerarşisi, bu yapıyı oluşturan temel unsurları ve organizasyondaki farklı seviyelerde kaizen'in nasıl işlediğini açıklayan bir model olarak değerlendirilmektedir.

Kaizen'in başarıyla uygulanabilmesi için 7-8 kişilik bir ekip kurulmalı ve sistematik bir süreç takip edilmelidir. Kaizen süreci, problemin belirlenmesinden iyileştirmenin uygulanmasına ve kurallaştırılmasına kadar altı temel aşamadan oluşmaktadır (Imai, 2014; Juran & Godfrey, 1999).

- *Problemin Belirlenmesi:* Kaizen süreci problemin görülmesi ile başlamaktadır. Kaizen, işletmede problemlerin tanımlanıp, tarafların bu problemlerin varlığını kabul edebildiği bir işletme kültürüdür. Bu aşamada, organizasyonun hedefleri doğrultusunda performansı etkileyen darboğazlar, hatalar veya israf kalemleri tespit edilmelidir. Problemin seçimi, genellikle veri analizi, çalışan geri bildirimleri veya müşteri şikâyetleri gibi yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Seçilen problemin net bir şekilde tanımlanması, süreç boyunca doğru analizler yapabilmek açısından kritik bir öneme sahiptir.
- *Mevcut Durumun Analizi:* Belirlenen problemin çözümüne yönelik en uygun stratejinin oluşturulabilmesi için mevcut durumun ayrıntılı olarak analiz edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada, veriler toplanarak süreç akışı, işleyiş biçimi ve performans göstergeleri değerlendirilir. "Git ve yerinde gör" prensibi doğrultusunda, sürecin gerçekleştiği yerde gözlem yapılması ve çalışanların katılımıyla sorunların kök nedenlerinin anlaşılması sağlanmaktadır (Ohno, 2017).
- *Kök Neden Analizi:* Mevcut durum analiz edildikten sonra, belirlenen problemin temel nedenleri araştırılmalıdır. Bu aşamada, Balık Kılıçığı Diyagramı, 5 Neden Analizi ve Pareto Analizi gibi yöntemler kullanılarak sorunun kaynağına inilmesi hedeflenir (Juran ve Godfrey, 1999). Neden-sonuç ilişkilerinin anlaşılması, rastgele çözümler üretmek yerine etkili ve kalıcı iyileştirmeler gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.
- *İyileştirme Önerilerinin Değerlendirilmesi ve Uygulanması:* Sorunun kök nedenleri belirlendikten sonra, bu nedenleri ortadan kaldırmaya yönelik çözüm önerileri geliştirilmelidir. Bu süreç, çalışanların katılımını teşvik eden beyin fırtınası, kalite kontrol çemberleri ve kaizen atölyeleri gibi yöntemler aracılığıyla gerçekleştirilebilir (Liker, 2004).

Çözüm önerileri arasından en uygun olanlar seçilerek iyileştirme planı oluşturulur ve uygulanabilirliği değerlendirilir. Onaylanan iyileştirme planları, kontrollü bir şekilde uygulanır. Bu aşamada, küçük ölçekli pilot uygulamalar gerçekleştirilerek çözümün etkinliği test edilebilir. Uygulama sürecinde çalışanlara gerekli eğitimler verilmeli ve önerilen değişikliklerin sistemde nasıl bir dönüşüm sağladığı gözlemlenmelidir.

- *Kontrol:* İyileştirme sürecinin başarısı, belirlenen performans göstergeleri doğrultusunda değerlendirilmelidir. Uygulama sonrası elde edilen veriler, önceki durum ile karşılaştırılarak değişikliklerin etkisi ölçülmelidir. Bu aşamada PUKÖ döngüsü kullanılarak süreçlerin sürekli gözden geçirilmesi sağlanmaktadır (Deming, 1986). Eğer uygulanan değişiklikler beklenen sonuçları vermiyorsa, süreç tekrar gözden geçirilerek yeni çözümler üretilmelidir.
- *Standartlaştırma:* İyileştirmenin başarılı olduğu kanıtlandıktan sonra, bu yeni süreçlerin organizasyonel standartlara entegre edilmesi gerekmektedir. Standardizasyon, kaizen sürecinin sürdürülebilirliğini sağlamak açısından kritik bir aşamadır. Başarılı sonuçlar çalışanlara duyurulur ve eğitimlerle yaygınlaştırılır. Bu süreç, gelecekte benzer problemlerin tekrar yaşanmasını önlemek ve sürekli iyileştirmeyi organizasyon kültürünün bir parçası haline getirmek için önemlidir.

Bu aşamaların her biri, organizasyonel süreçlerin verimliliğini artırmaya, hataları önlemeye ve sürekli gelişimi sağlamaya yönelik sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Kaizen uygulamaları, yalnızca belirli bir sorunu çözmek için değil, kurum genelinde öğrenen bir organizasyon kültürü oluşturarak sürekli iyileştirmeyi teşvik etmek için uygulanmalıdır.

2.3.1.3 Gemba Kaizen

Japonca'da gembanın kelime anlamı "gerçek yer" demektir, Imai (2014) gembayı işin yapıldığı yer olarak tanımlamıştır. Başka bir deyişle gemba ürün ya da hizmetin oluşturulduğu yer anlamına gelmektedir. Ürünün oluşturulduğu yer yani gemba değer katmayan faaliyetleri de içerdiğinden buranın sürekli iyileştirilmesi için bir eksiği vardır. Bu nedenle gemba kaizen yaklaşımı ürünün oluşturduğu yerin sürekli iyileştirilerek israflardan elimine edilmesi anlamını taşımaktadır. Imai (2014) kitabında kaizen'in en iyi uygulanma şekline gemba kaizen demiştir.

Gemba kaizenin uygulanması için altın kuralları vardır (Imai, 2014):

- Bir darboğaz ya da problem oluştuğunda gembaya gidilmeli,
- Gembutsu (ilgili nesnelere) kontrol edilmeli,
- Geçici/acil önlem planları yapılmalı,
- Problemin kök nedeni bulunmalı,
- Sorunun tekrar oluşmasını önlemek için iş standartlaştırılmalıdır.

Yalın üretimin tüm araç ve teknikleri ile uyumlu bu altın kurallar iş yerinde sürekli iyileştirme sağlamasına katkıda bulunur. Gemba kaizen, israfın ortadan kaldırılması, standartlaştırma, ekip çalışması ve liderlik desteği üzerine kuruludur (Ohno, 2017). Bu yaklaşımda çalışanlar, günlük iş akışlarının yapıldığı gerçek çalışma alanlarında (gemba) iyileştirme faaliyetlerine aktif olarak katılırlar. Bu durum, çalışan bağlılığını artırırken aynı zamanda operasyonel verimliliği de geliştirir.

Gemba Kaizen, yalın üretim ve toplam kalite yönetimi uygulamalarının etkinliğini artıran, sürekli iyileştirme odaklı bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu model, şirketlerin operasyonel mükemmelliğe ulaşmasında kritik bir rol oynamaktadır.

2.3.2 5S Yöntemi

5S yöntemi, iş yerinde düzen, temizlik ve organizasyonu sağlamak amacıyla geliştirilen, adını Japonca, Seiri (Ayıklama), Seiton (Düzenleme), Seiso (Temizlik), Seiketsu (Standartlaştırma) ve Shitsuke (Disiplin) kelimelerinin baş harflerinden alan bir sistemdir (Hirano, 1995). Endüstriyel alanlarda etkin bir iş yeri yönetimi sağlamak için kullanılan bu yöntem, sadece bir temizlik faaliyeti değil, aynı zamanda iş yerinde verimliliği artıran, israfı azaltan ve sürekli iyileştirmeyi destekleyen bir uygulamadır (Gapp vd., 2008).

5S uygulaması, kuruluş içerisinde sistematik bir şekilde uygulanarak çalışma ortamının daha düzenli hale getirilmesini ve kayıpların en aza indirilmesini sağlamaktadır (Osada, 1991). İş yeri kontrolünü artıran bu yöntem, üretim süreçlerinde iyileştirme sağlamak, hataları önlemek ve iş güvenliğini artırmak açısından kritik bir rol oynamaktadır (Ghodratı ve Zulkifli, 2013). Ayrıca, kaizen ve diğer yalın üretim tekniklerinin temel yapı taşlarından biri olarak sürekli iyileştirme çalışmalarını desteklemekte ve işletmelerin uzun vadeli başarılarına katkı sunmaktadır. Başka bir deyişle her yalın üretim tekniği

5S ile başlaması verimliliği artırmaktadır (Imai, 2014). 5S çalışmaları, iş yerinin etkili bir şekilde organize edilmesi, araç-gereçlerin basitleşmesi, arızalar ve kesintilerle bağlantılı kayıpların ortadan kaldırılması, işin kalitesinin ve güvenliğinin iyileştirilmesi için uygulanmaktadır (Karkoszka vd., 2007).

İş yerinde sürdürülebilir düzeni sağlamak ve operasyonel süreçleri optimize etmek için sistematik bir çerçeve sunan 5S'in beş temel bileşeni şu şekildedir (Osada, 1991; Hirano, 1995; Gapp vd., 2008):

2.3.2.1 Seiri

Seiri (ayıklama), çalışma alanında gereksiz unsurların belirlenerek ortadan kaldırılması sürecidir. Bu aşama, malzeme, ekipman ve bilgi kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlamak için gereksiz olanların elimine edilmesini amaçlamaktadır. İş yerinde fazla eşya bulundurmamak, gereksiz stok ve düzensizlik gibi problemlere neden olabileceğinden, Seiri uygulaması verimliliğin artırılması ve israfın azaltılmasında kritik bir rol oynamaktadır.

2.3.2.2 Seiton

Seiton (düzenleme), gerekli eşyaların uygun yerlere yerleştirilerek kolayca erişilebilir hale getirilmesi sürecidir. Düzenleme aşaması, iş akışlarının hızlandırılması, iş süreçlerindeki bekleme sürelerinin azaltılması ve verimliliğin artırılması açısından önemlidir. Ayrıca, görsel yönetim teknikleri kullanılarak malzeme ve ekipmanların belirli bir düzen içinde konumlandırılması sağlanmaktadır.

2.3.2.3 Seiso

Seiso (temizlik), çalışma alanının düzenli olarak temizlenmesini ve ekipmanların bakımlı tutulmasını ifade etmektedir. Bu aşama, iş yerinde hijyenin sağlanması, ekipmanların uzun ömürlü olmasını ve iş güvenliğinin artırılmasını hedeflemektedir. Temiz bir iş ortamı, çalışan motivasyonunu artırarak üretim süreçlerinin daha kontrollü bir şekilde yürütülmesine katkıda bulunmaktadır.

2.3.2.4 Seiketsu

Seiketsu (standartlaştırma), ilk üç aşamanın sürdürülebilir hale getirilmesi için standartların belirlenmesi sürecidir. İş yerinde temizlik, düzenleme ve sınıflandırma uygulamalarının sürekliliğini sağlamak amacıyla belirli standartlar oluşturulmalı ve bu standartlar tüm çalışanlar tarafından uygulanmalıdır. Standartlaştırma, çalışanların görevlerini daha sistematik bir şekilde yerine getirmelerine yardımcı olarak hataları azaltmaktadır.

2.3.2.5 Shitsuke

Shitsuke (disiplin), 5S uygulamalarının iş kültürü haline getirilerek sürekli iyileştirme anlayışının benimsenmesi sürecidir. Disiplin aşaması, çalışanların belirlenen standartlara uymasını ve 5S felsefesini bir alışkanlık haline getirmesini sağlamaktadır. Organizasyon içinde bu kültürün oluşturulması, liderlik desteği ve eğitim faaliyetleriyle mümkün olmaktadır.

İşletmelerde 5S uygulamalarının yaygınlaştırılması, organizasyonel verimliliğin artırılması ve rekabet avantajının sürdürülebilir hale getirilmesi açısından kritik bir faktördür.

2.3.3 Kanban

Geleneksel üretim sistemlerinde işletmeler, müşteri taleplerini karşılamak amacıyla stoka üretim yapmayı tercih etmektedirler. Bu tür sistemler itme sistemi ile çalışarak, büyük miktarlarda hammadde, yarı mamul, parça ve son ürün stokları tutmakta, bu da işletmelerin yüksek maliyetlerle karşılaşmasına yol açmaktadır. Yalın üretim sisteminin bir parçası olan ve tam zamanında üretim (JIT) olarak bilinen çekme tipi üretim sistemlerinde ise, hammadde, yarı mamul ve son ürün stoklarının azaltılması ve yalnızca talep geldiğinde, gerekli miktarda üretim yapılması hedeflenmektedir. Bu sistemlerde, doğru malzemelerin doğru zamanda ve doğru yerde temin edilmesini sağlayan malzeme kontrol sistemine kanban adı verilmektedir. Kanban, tüketim noktası ile temin noktası arasında haberleşmeyi sağlayan Japonca'da "kart" anlamına gelen bir araçtır. Parçaların, ürünlerin ya da hammaddelerin teslimatını ve/veya üretimini yönetmek için kartları kullandığı için yaygın olarak kart anlamında kullanılmaktadır. Bu kartlar, üretim türünü, miktarını ve parça ile ilgili bilgileri içermektedir. Ancak, kanban sisteminin yorumlanması bu kadar dar bir şekilde kısıtlanırsa, çoğu şirketin bunun gibi bir sistem kullandığı söylenebilir çünkü atölye malzemeleri bir tür kart kullanılarak kontrol edilir. Örneğin üretim emri, çizelgeler, malzeme listesi veya ürün yapısı küçük atölyelerde kartlarla kontrol edilir. Ancak kanban hem kart hem de sistemin kendisidir. Kanban sistemi, temel olarak üretim süreçlerinde stokların kontrolü ve üretim akışının yönetilmesi amacıyla kullanılan bir görsel yönetim aracıdır. Bu sistem, yalın üretim felsefesinin bir parçası olarak geliştirilmiş olup, üretim sürecinde verimliliği artırmayı ve israfı azaltmayı hedeflemektedir (Ohno, 2017). Kanban, genellikle "çekme sistemi" olarak bilinen bir yaklaşımı temsil eder;



bu sistemde, üretim yalnızca müşteri talebi doğrultusunda yapılır, böylece gereksiz stok birikimleri engellenmektedir.

Kanban sisteminin çalışabilmesi için; önceki istasyonun üretim için ne zaman tetikleneceği; parti büyüklüğü ve eldeki stok seviyesi ve daha önce verilmiş siparişlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu koşullar tüm organizasyonlar için aynı olmadığından, kanban sisteminin literatürde bildirilen bazı kısıtlamaları vardır (Ohno, 2017; Monden, 2012; Sipper ve Bulfin, 1997). İstikrarsız talep, işlem süresi istikrarsızlığı, standartlaştırılmamış operasyonlar, uzun hazırlık süresi, çok çeşitli ürün ve hammadde tedarik belirsizliği olan durumlarda kanban yeterli değildir.

Kanban sistemi kartlı ve kartsız olarak uygulanabilir. Kartlı sistemlerde istasyonlar arasında kanban kartları dolaşırken, kartsız sistemlerde kart yerine kutular üretimi tetiklemek için kullanılmaktadır. Kanban kartları genel olarak şu bilgileri içermelidir (Schonberger, 1983):

- Parça adı,
- Parça numarası/kodu,
- Parça sayısı,
- Kanban numarası,
- Tedarikçi istasyon ve
- Alıcı istasyon.

Bu bilgiler dışında teslim süresi, görsel içerik, teknik resim, barkod, parçanın ağırlığı, parçanın detaylı tanımı ilave bilgilerde kanban kartlarında yer alabilir. Şekil 1’de kanban kart örneği verilmiştir.

4 1 2 5 2 0 2 8 6 9 5 4 3 6				
4 1 2 5 2 0 2 8 6 9 5 4 3 6	Parça Kodu	Parça Adı		
	16501459636	Inner segment of door frame KT-45		
	Konteynır	Parça Sayısı		
	KTR 6452	130 Adet		
Tedarikçi İstasyon	Alıcı İstasyon	Raf	Kanban ID	
UV Lang	Sklad 4	R11 A4		

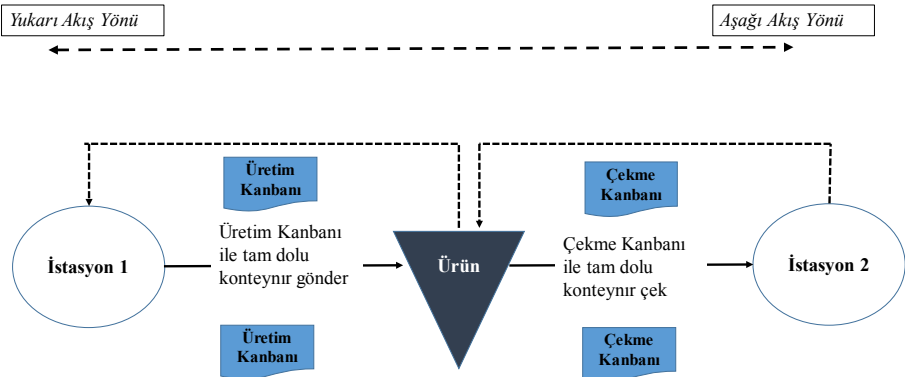
Şekil 1. Kanban kart örneği

Üretimde sektöre göre değişebilen birçok kanban çeşidi vardır. Ancak genel kabul görmüş üretim ve çekme kanbanı olmak üzere iki temel kanban vardır (Im ve Schonberger, 1988).

Üretim Kanbanı: Üretim hattındaki her iş istasyonuna verilen bir sinyal kartıdır. Bu kart, bir iş istasyonunun tamamlanmış bir parçayı diğer istasyona iletmesi için bir talep işareti gönderir. Üretim kanban'ı, üretim sürecinin ilerleyişini düzenler ve üretimin yalnızca ihtiyaç duyulduğunda yapılmasını sağlar. Bu tür kanban, stokların yönetilmesinde önemli bir rol oynar ve genellikle çok sayıda parça ve işlem içeren büyük üretim süreçlerinde kullanılmaktadır.

Çekme Kanbanı: Belirli bir hammadde ya da bileşenin üretim hattına çekilmesini sağlayan bir sinyal kartıdır. Bu kart, malzeme ihtiyacını işaret ederek malzeme temini için bir çekme işlemine başlanmasını sağlamaktadır. Çekme kanban'ı, üretim sürecinde stok seviyelerinin gerektiği şekilde sürdürülmesini sağlar, böylece her bir bileşen sadece talep üzerine temin edilir. Bu tür kanban, stokların minimize edilmesi ve envanter maliyetlerinin azaltılması açısından etkilidir.

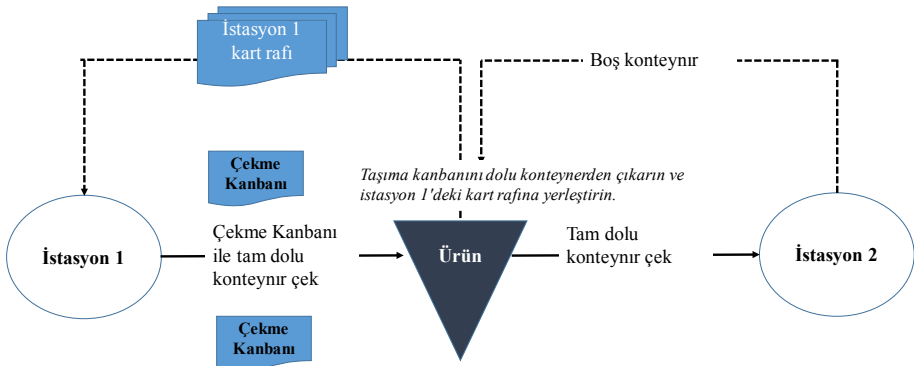
Kanban sistemi, üretim süreçlerinde malzeme akışını ve iş merkezleri arasındaki koordinasyonu sağlamak amacıyla kullanılan bir sistemdir. Bu sistem genel olarak çift kartlı ve tek kartlı olmak üzere iki farklı yapılandırmada uygulanabilir. Çift kartlı kanban sistemi, üretim sürecinde üretim kanbanı ve çekme kanbanı olarak iki temel türde kart kullanımına dayanmakta olup Şekil 2'de gösterilmiştir. Çekme kanbanı, bir üretim aşamasının önceki aşamadan çekmesi gereken malzeme miktarını belirlerken, üretim kanbanı, tüketilen parçaların yerine üretilmesi gereken miktarı ifade etmektedir (Groenevelt, 1993).



Şekil 2. Çift kartlı kanban sistemi

Şekil 2’de Bir sipariş oluşur oluşmaz yukarı akışa kanban gönderilir. İstasyon 1, üretim kanban kartı ile belirlenen miktarda ürün üretir. Üretim kanbanı, üretim sürecinin başlatılması için bir tetikleyici görevi görür. Üretim tamamlandığında, üretilen parçalar standart konteyner birimine uygun şekilde doldurulur. Konteyner tamamen dolduğunda, kanban kartı ile birlikte ürün gönderilir. Üretimden çıkan ürün, belirli bir aşamaya ulaştığında istasyon 2’ye geçer. Bu süreç, malzeme akışının kesintisiz olmasını sağlamak ve aşırı üretimi önlemek için uygulanmaktadır. Çekme kanbanı, istasyon 2’nin ihtiyacına göre tam dolu bir konteyneri çekmesini sağlamaktadır. Çekme kanbanı, istasyon 1’e yeni üretim siparişi verilmesi için bir sinyal gönderir. Bir sonraki üretim aşaması veya montaj hattı, çekme kanbanı ile istasyon 2’den malzeme talep eder. Eğer tam dolu bir konteyner hazırsa, çekme kanbanı ile birlikte bir çekilir. Boş konteynerler geri gönderilir ve süreç devam eder.

Çift kartlı kanban sisteminin üretim sürecinde güçlü bir kontrol mekanizması sağladığı bilinmektedir. Bununla birlikte, sistemin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için belirli tasarım prensiplerine, üretim dengesinin sağlanmasına ve operasyonların standartlaştırılmasına yönelik katı ön koşullara uyulması gerekmektedir. Bu durum, sistemin uygulanabilirliğini karmaşık hale getirebilir. Bu nedenle, Şekil 3’de verilen tek kartlı kanban sistemi, çift kartlı sisteme geçişte bir ara basamak olarak da kullanılabilir.



Şekil 3. Tek kartlı kanban sistemi

Şekil 3’de istasyon 1’de malzeme tüketildiğinde çekme kanbanı devreye girer. Çekme kanbanı sinyali ile tam dolu bir konteyner istasyona getirilir. Dolu konteynerden çekme kanbanı çıkarılarak istasyonun kart rafına yerleştiri-

rilir. Boş konteynerler geri gönderilerek süreç devam eder.

Tek kartlı kanban sisteminde, malzeme taşıma süreçleri hâlâ çekme kanbanları tarafından kontrol edilir. Ancak, üretim faaliyetleri doğrudan üretim kanbanları ile değil, merkezi üretim planlaması tarafından belirlenen bir üretim çizelgesi aracılığıyla yönetilir. Bu yaklaşım, geleneksel itme sistemlerine belirli çekme unsurlarının entegre edilmesiyle oluşturulan bir itme-çekme sistemi ile benzerlik göstermektedir. Tek kartlı sistemin önemli avantajlarından biri, daha yalın bir yapı sunması nedeniyle uygulama sürecinin daha basit olmasıdır. Ayrıca, talep değişimleri hakkındaki bilgilerin üretim aşamalarına hızlı bir şekilde iletilmesi sayesinde, çift kartlı sisteme kıyasla daha kısa bilgi iletim sürelerine sahip olduğu ifade edilmektedir. Öte yandan, tek kartlı kanban sistemleri, iş merkezlerinin birbirine fiziksel olarak yakın olduğu durumlarda farklı bir biçimde uygulanabilir. Bu tür durumlarda, çekme kanbanları tamamen ortadan kaldırılabilir ve malzemeler, ihtiyaç doğrultusunda doğrudan taşınabilir. Böyle bir yapılandırılmada yalnızca üretim kanbanları kullanılır. Şekil 3'te, iş merkezleri arasındaki malzeme akışının çekme kanbanları aracılığıyla düzenlendiği geleneksel tek kartlı kanban sisteminin tanımını esas alınmıştır.

Kanban sisteminin temel hedefi, üretim birimleri arasında gerçekleşecek malzeme hareketlerinin etkin ve doğru bir şekilde yönetilmesini sağlayarak israfları azaltmak ve müşteri memnuniyetini artırmaktır. Bu bağlamda, kanban sisteminde üretimin etkinliği; kanban büyüklüğü, kanban sayısı ve taşıyıcı büyüklüğü gibi parametrelere bağlıdır. Kanban sistemlerindeki stok miktarı, sistemdeki kanban sayısı ile kontrol edilmektedir. Eğer çok fazla sayıda kanban kullanılırsa ara stoklar artacak, gereğinden az sayıda kanban kullanılırsa müşteri talebinin karşılanamaması durumu söz konusu olabilecektir. Bu nedenle, kanban sayılarının doğru bir şekilde belirlenmesi, sistemin performansı ve etkinliği açısından en temel konu olarak öne çıkmaktadır. Kanban sisteminin aksamadan uygulanması için şu kurallara uyulması gerekmektedir (Rother ve Shook, 1999):

- Her bir üretim istasyonu, kendisinden önceki istasyondan yalnızca kanban kartı aracılığıyla malzeme talep edebilir.
- Hiçbir üretim istasyonu, kendisine tahsis edilen kanban kartı miktarından daha fazla ürün üretme kapasitesine sahip olamaz.
- Üretim veya malzeme akışında herhangi bir hareket, yalnızca geçerli

bir kanban kartı ile gerçekleştirilebilir.

- Arızalı veya hatalı parçalar, kanban kartı ile bir sonraki istasyona sevk edilmez.
- Kullanılan kanban kartlarının sayısı sürekli olarak minimize edilmelidir. Bu azaltma süreci, operasyonun verimliliğinin düşmesine neden olabilecek bir eşik noktasına ulaşılan kadar devam etmelidir.
- Talepte meydana gelen küçük değişiklikler, mevcut kanban kartı sayısının değiştirilmesini gerektirmez.
- Talepte büyük değişiklikler veya üretim sürecinde önemli bir değişiklik meydana geldiğinde, kanban kartı sayısı yeniden hesaplanmalıdır.

Kanban, üretimde bilgi akışının sağlıklı bir şekilde yönetilmesini mümkün kılan pratik bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. JIT üretim sisteminin bir parçası olarak, kanban sistemi, her aşamada üretim miktarı ve zamanlamasını kontrol ederek, ürün akışını izler ve böylece sistemin verimliliğini artırmaya yönelik etkili bir bilgi yönetim aracı sunar. Kanban, özellikle karmaşık ürünlerin üretimi, binlerce parçanın yönetilmesi gibi durumlarda, yüksek verimli ve esnek bir iletişim sistemini kendiliğinden oluşturur. Bu sistemin basitliği, kullanılabilirliği ve esnekliği, işletmelere önemli avantajlar sağlamaktadır.

2.3.4 Tam Zamanında Üretim

Tam zamanında üretim (Just-in-Time, JIT), stok seviyelerini azaltarak kârlılığı artırmayı hedefleyen bir yalın üretim yaklaşımıdır. JIT, 1950'li yıllarda Japonya'da, özellikle TPS kapsamında geliştirilmiş ve zamanla dünya çapında birçok üretim işletmesi tarafından benimsenmiştir (Monden, 2012). Belkoui ve arkadaşları (2014) tarafından, doğru parçaların, doğru zamanda ve miktarda üretilmesine dayalı bir yöntem olarak tanımlanan ve yalın üretim felsefesinin temel unsurlarından biri olarak kabul edilen JIT, üretim süreçlerinde israfı en aza indirmeyi ya da tamamen ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. En az kaynak kullanımıyla, en kısa zamanda, en ucuz ve hatasız üretimi, müşteri taleplerine cevap verecek şekilde en az israfla ve tüm üretim faktörlerini en esnek şekilde kullanıp potansiyellerin tümünden yararlanmak JIT'ın temel odağıdır.

İsraf, katma değer yaratmayan faaliyetler olarak tanımlanmakta olup, bunlar arasında gereksiz stok seviyeleri, gereksiz taşıma işlemleri, iş gücü hare-

ketleri ve bekleme süreleri öne çıkmaktadır. Bu tür israfların azaltılması ya da tamamen giderilmesi sayesinde üretim maliyetleri düşürülmekte, sistem daha esnek hale gelmekte ve değişen müşteri taleplerine hızlı yanıt verebilen, çevik bir üretim yapısı oluşturulmaktadır. Böylece işletmeler, rekabet avantajı elde etme konusunda önemli bir fırsat yakalamaktadır.

2.3.4.1 Tam Zamanında Üretimin Prensipleri

JIT sisteminin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için belirli temel prensiplerin hayata geçirilmesi gerekmektedir. Bunlar arasında sıfır hata prensibi, çekme sistemi, sıfır stok, müşteri teslim süresi ve tek parça akışı yer almaktadır (Monden, 2012). Bu unsurların her biri, JIT sisteminin başarısını doğrudan etkileyen kritik faktörler olup, işletmelerin israfları en aza indirerek üretim süreçlerini daha verimli hale getirmesine katkı sağlamaktadır (Shah ve Ward, 2007).

Sıfır Hata Prensipleri

JIT sisteminde kalite, üretim sürecinin en önemli unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir. Sıfır hata prensibi, hataların erken aşamada tespit edilerek önlenmesini ve kaliteyi güvence altına almayı hedefler (Imai, 2004). Bu bağlamda, Poka-Yoke (hata önleme) ve Jidoka (otonomasyon) gibi kalite güvence mekanizmaları devreye alınarak, üretim sırasında oluşabilecek hatalar minimize edilir (Ohno, 2017). Sıfır hata prensibi, yalnızca ürün kalitesini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda hatalı ürünlerin yeniden işlenmesi veya hurdaya ayrılması gibi israfları da ortadan kaldırarak JIT'in verimli bir şekilde uygulanmasını sağlar (Fullerton ve McWatters, 2001).

Çekme Sistemi Prensipleri

JIT üretim modelinde çekme sistemi, üretimin müşteri taleplerine göre şekillenmesini sağlayan bir mekanizmadır (Belekoukias vd., 2014). Geleneksel üretim modellerinde olduğu gibi büyük miktarlarda üretim yapılması yerine, yalnızca müşteri talebi doğrultusunda üretim gerçekleştirilir ve bu sayede gereksiz stok birikimi önlenmiş olur (García-Alcaraz ve Maldonado-Macías, 2016). Kanban sistemi, çekme sisteminin en yaygın uygulamalarından biridir ve üretimde hangi parçaların, ne zaman ve hangi miktarda üretilmesi gerektiğini görsel olarak yönetmeye olanak tanır (Monden, 2012). Çekme sisteminin etkin bir şekilde uygulanması, stok seviyelerinin düşük tutulmasını ve üretim süreçlerinin müşteri talebine hızlı bir şekilde uyum sağlamasını mümkün kılar

(Shah ve Ward, 2007).

Sıfır Stok Yaklaşımı Prensibi

JIT sisteminin en önemli hedeflerinden biri sıfır stok prensibine ulaşmaktır. Bu prensip, işletmelerin gereksiz stok birikimini önleyerek maliyetleri minimize etmesini amaçlamaktadır (Gupta ve Snyder, 2009). Sıfır stok yaklaşımı, yalnızca bitmiş ürün stoklarının değil, aynı zamanda hammadde ve yarı mamul stoklarının da en düşük seviyede tutulmasını gerektiğini savunmaktadır. Bunun sağlanabilmesi için tedarik zinciri yönetimi büyük önem taşımakta olup, tedarikçilerin zamanında ve tam miktarda teslimat yapabilmesi gerekmektedir (García-Alcaraz ve Maldonado-Macías, 2016). Etkin bir sıfır stok yönetimi, işletmelerin depo maliyetlerini düşürmesine, üretim alanlarını daha verimli kullanmasına ve sermaye kullanımını optimize etmesine katkı sağlamaktadır.

Müşteri Teslim Süresi Prensibi

JIT sisteminin başarısı, müşteri taleplerine hızlı ve etkin bir şekilde yanıt verebilmesine bağlıdır. Bu doğrultuda, müşteri teslim süresi; üretimin zamanında tamamlanarak müşteriye eksiksiz şekilde ulaştırılmasını ifade eder. Geleneksel üretim sistemlerinde uzun üretim ve teslimat süreleri nedeniyle müşteri memnuniyeti olumsuz etkilenebilirken, JIT sisteminde üretim sürecinin optimize edilmesi ve israfların azaltılması sayesinde müşteri teslim süreleri önemli ölçüde kısaltılmaktadır (Fullerton ve McWatters, 2001). Özellikle siparişe dayalı üretim modelini benimseyen işletmeler için müşteri teslim süresinin kısaltılması, rekabet avantajı elde etmek açısından kritik bir faktördür.

Tek Parça Akışı Prensibi

JIT sisteminin temel bileşenlerinden biri de tek parça akışı ilkesidir. Bu yaklaşım, üretim süreçlerinde parti üretimi yerine, tek bir parçanın baştan sona kesintisiz olarak üretim hattında ilerlemesini ifade eder (Monden, 2012). Tek parça akışı, üretim esnasında bekleme sürelerini, fazla iş yükünü ve envanter birikimini azaltarak verimliliği artırır. Geleneksel parti üretiminde, büyük miktarda yarı mamul iş istasyonları arasında beklerken, JIT sisteminde her bir parça sürekli hareket halinde olduğu için toplam üretim süresi kısaltmakta ve süreç daha akıcı hale gelmektedir (Shah ve Ward, 2007). Tek parça akışı, hücreli üretim sistemleri ile entegre edildiğinde, üretim hatlarının daha esnek çalışmasını sağlamak ve küçük parti üretimine olanak tanımaktadır.

JIT sisteminin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için bu prensiplerin hayata geçirilmesi gerekmektedir. Sıfır hata prensibi, üretim süreçlerinde kaliteyi artırarak hataların önlenmesini sağlarken, çekme sistemi, üretimi doğrudan müşteri talepleri doğrultusunda yönlendirerek gereksiz üretimi ve stok seviyelerini minimize etmektedir. Sıfır stok yaklaşımı, depo maliyetlerini düşürerek kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlarken, müşteri teslim süresi, müşteri memnuniyetini artırmak ve rekabet avantajı elde etmek açısından kritik bir faktördür. Tek parça akışı ise üretim süreçlerini daha verimli ve esnek hale getirerek israfları en aza indirir. Bu unsurların birlikte uygulanması, JIT sisteminin verimli bir şekilde çalışmasını sağlayarak işletmelerin rekabet gücünü artırmaktadır.

2.3.4.2 Tam Zamanında Üretim Süreci

JIT sisteminin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için bazı temel ilkelerin benimsenmesi gerekmektedir. Bunlar arasında talebe dayalı üretim, stokların minimize edilmesi, sürekli iyileştirme, üretim sürecinde israfların ortadan kaldırılması ve tedarik zinciri yönetiminin etkinleştirilmesi bulunmaktadır. JIT'in temel unsurlarını şu şekilde sıralamak mümkündür (Fullerton ve McWatters, 2001):

Talebe Dayalı Üretim

JIT sistemi, üretimi müşteri taleplerine göre planlayarak gereksiz stok birikimini önler. Bu sayede stok tutma maliyetleri düşer ve işletmeler değişen piyasa koşullarına daha hızlı uyum sağlayabilir.

Stok Yönetimi

JIT yaklaşımı, üretimde ihtiyaç duyulmayan hammaddelerin, yarı mamullerin ve bitmiş ürünlerin stokta tutulmasını en aza indirir. Böylece işletmeler, depolama maliyetlerinden tasarruf ederek sermaye kullanımını daha verimli hale getirmektedir.

Sürekli İyileştirme

JIT uygulamalarının başarısı, işletmelerin süreçlerini sürekli olarak gözden geçirmesi ve iyileştirmesiyle doğrudan ilişkilidir. Çalışanların katılımı ve süreçlerde yapılan küçük ama sürekli iyileştirmeler, üretim sisteminin daha etkin çalışmasını sağlamaktadır.

İsrafın Azaltılması

JIT sistemi, müşteri gözünde değer yaratmayan her türlü faaliyeti israf ola-

rak kabul eder ve bunları ortadan kaldırmaya çalışır. En sık rastlanan israflar arasında aşırı üretim, gereksiz taşıma, bekleme süreleri, fazla stok, gereksiz işçi hareketleri ve hatalı üretimler bulunmaktadır.

Tedarik Zinciri Yönetimi

JIT uygulamalarının başarılı olabilmesi için tedarikçilerin üretim süreçlerine entegre edilmesi gerekmektedir. Hızlı teslimat ve güvenilir tedarikçi ilişkileri, JIT sisteminin sorunsuz işlemlerini sağlayan önemli unsurlar arasındadır.

JIT sisteminin uygulanması, işletmelere çeşitli stratejik avantajlar sağlamaktadır. Öncelikle, stok seviyelerinin düşürülmesi sayesinde depolama maliyetleri azalmakta ve sermaye daha verimli kullanılmaktadır. Ayrıca, üretim süreçlerinin daha esnek hale gelmesi, işletmelerin değişen müşteri taleplerine daha hızlı yanıt vermesini sağlamaktadır. JIT'in avantajları (Fullerton ve McWatters, 2001):

- Gereksiz stok tutulmaması, işletmelerin büyük depolama alanlarına ihtiyaç duymamasını sağlayarak taşıma maliyetlerini azaltmaktadır.
- Sürekli iyileştirme ve hataları en aza indirme felsefesi, ürün kalitesinin artmasını sağlar ve müşteri memnuniyetini yükseltir.
- JIT sayesinde üretim sistemleri daha çevik hale gelir ve piyasa değişikliklerine hızlı bir şekilde uyum sağlanabilir.
- İsrafin azaltılması ve kaynakların daha verimli kullanılması, üretim maliyetlerinin düşmesini sağlar.

JIT'in sağladığı avantajlara rağmen, sistemin uygulanması bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Öncelikle, JIT sisteminin başarılı bir şekilde işlemesi için tedarikçilerin zamanında ve güvenilir teslimat yapabilmesi gerekmektedir. Ancak, tedarik zincirinde yaşanabilecek aksaklıklar, üretim süreçlerinin sektöre uğramasına neden olabilir. Ayrıca, JIT uygulamalarının başarılı olabilmesi için çalışanların sürece tam olarak adapte olması ve sürekli iyileştirme kültürünü benimsemesi gerekmektedir. JIT'in en önemli sınırlamaları şunlardır (Gupta ve Snyder, 2009):

- JIT sistemi, tedarikçilerin zamanında ve eksiksiz teslimat yapmasına bağlıdır. Tedarik zincirinde yaşanabilecek aksaklıklar, üretim süreçlerini olumsuz etkileyebilir.
- JIT sistemleri, talep değişikliklerine hızlı adapte olabilseler de ani ve beklenmedik talep artışlarında üretim kapasitesinin yetersiz kalması riski

bulunmaktadır.

- JIT sisteminin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için işletmelerin süreçlerini yeniden yapılandırması ve tedarik zinciri yönetimini güçlendirmesi gerekmektedir. Bu da başlangıçta yüksek maliyetler gerektirebilir.

JIT sistemi, yalın üretim felsefesinin temel taşlarından biri olarak üretim süreçlerini optimize etmeyi ve israfları en aza indirmeyi amaçlayan bir yaklaşımdır. JIT'in etkin uygulanması, maliyetlerin düşürülmesine, üretim sürecinin esnek hale getirilmesine ve müşteri taleplerine hızlı yanıt verilmesine olanak tanımaktadır. Ancak, sistemin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için tedarik zinciri yönetiminin güçlendirilmesi, çalışanların sürece adaptasyonu ve sürekli iyileştirme felsefesinin benimsenmesi gerekmektedir. Günümüz rekabetçi üretim ortamında, JIT gibi verimli üretim yönetimi yaklaşımlarının önemi giderek artmakta ve işletmelere sürdürülebilir rekabet avantajı sağlamaktadır.

2.3.4.3 Tam Sırasında Üretim

Günümüz rekabetçi üretim ortamında, işletmelerin müşteri taleplerine hızlı ve esnek bir şekilde yanıt verebilmesi büyük önem taşımaktadır. Tam sırasında üretim (Just-in-Sequence-JIS) sistemi, özellikle otomotiv ve montaj endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan, Tam Zamanında Üretim (JIT) sisteminin bir evrimidir. JIS, bileşenlerin yalnızca ihtiyaç duyulduğunda değil, aynı zamanda üretim hattında kullanılacakları sıraya uygun olarak teslim edilmesini sağlayarak üretim süreçlerinde verimliliği artırmayı ve stok seviyelerini minimumda tutmayı amaçlamaktadır (Wagner ve Silveira-Camargos, 2010).

JIS sistemi, JIT'in temel prensiplerini benimsemekle birlikte, özellikle montaj hatlarında doğru parçayı, doğru zaman ve doğru sırada teslimat yapmaya odaklanmaktadır (Göpfert, 2022). JIT sisteminde bileşenler zamanında teslim edilirken, JIS sisteminde bu bileşenler aynı zamanda montaj sırasına uygun şekilde düzenlenmiş olarak gönderilir (Meyr, 2019). Bu yaklaşım, karmaşık montaj süreçlerine sahip sektörlerde üretim hatlarında operasyonel etkinliği artırırken, lojistik ve depolama maliyetlerini önemli ölçüde düşürmektedir.

JIS sistemi, üretim süreçlerinde aşağıdaki önemli avantajları sunmaktadır (Göpfert, 2022):

- JIS, tam zamanında ve sıralı teslimat ile gereksiz stok birikimini önleyerek depo maliyetlerini minimize eder.
- JIS, malzeme akışını daha hassas bir şekilde senkronize ettiği için taşıma ve depolama ihtiyacını en aza indirir.
- Montaj hatlarında doğru parçanın, doğru zamanda ve doğru sırada bulunmasını sağlayarak iş gücü ve ekipman verimliliğini artırır.
- Parçaların yanlış sırayla teslim edilmesi riskini en aza indirerek hata oranlarını düşürür ve kaliteyi artırır.

JIT prensiplerine dayalı olarak, bileşenlerin sadece zamanında değil, aynı zamanda üretim sırasına uygun şekilde teslim edilmesi sayesinde işletmeler stok maliyetlerini düşürmekte, üretim hatlarının verimliliğini artırmakta ve lojistik süreçleri daha etkin yönetebilmektedir. Ancak, JIS sisteminin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için kesintisiz ve güvenilir bir tedarik zinciri gerekmektedir. Bu nedenle, tedarikçiler ile üreticiler arasındaki koordinasyonun yüksek seviyede olması kritik bir faktördür. JIS sisteminde, Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) ve Gelişmiş Planlama Sistemleri (APS) gibi yazılımlar kullanılarak anlık veri paylaşımı ve stok yönetimi sağlanmalıdır. Doğru parçaların doğru sırayla teslim edilebilmesi için lojistik süreçlerin hatasız bir şekilde planlanması gerekmektedir. Ayrıca JIS, değişken müşteri taleplerine hızlı yanıt verebilen esnek üretim sistemleri ile desteklenmelidir.

2.3.5 Altı Sigma

Kuruluşlar, rekabet avantajı sağlamak için sürekli olarak çeşitli stratejiler geliştirmekte ve farklı yöntemler uygulamaktadır. Rekabet üstünlüğü elde etmek amacıyla birçok araç olsa da ürün ve hizmet üretiminde yenilikçi yaklaşımlar benimsenmesine rağmen, kalite her zaman belirleyici bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Nitekim rakiplerine kıyasla daha yüksek kaliteli ürün ve hizmet sunan işletmeler, rekabet avantajını sürdürülebilir kılmaktadır. Bu bağlamda, altı sigma yöntemi, işletmelerin süreçlerini optimize etmelerine ve kaliteyi artırmalarına olanak tanıyan, etkinliği kanıtlanmış bir yaklaşımdır. (Eckes, 2001)

İlk kez Jack Welch ve ekibinin çalışmalarıyla popülerlik kazanan bu yöntem, Amerikan hükümetinin terörle mücadele stratejilerinde dahi uygulanmış bir kalite yönetim tekniği olarak öne çıkmaktadır (Dirgo, 2005). 1980'li yıllar-

da Motorola firmasında öncülüğünü üstlendiği altı sigma, işletmelerin gereksiz kaynak kullanımını ve israfları azaltarak müşteri memnuniyetini artırmayı amaçlayan bir iş süreci olarak tanımlanmıştır (Hoerl ve Snee, 2002; Mast, 2006).

Deming (1986), işletmelerin daha düşük maliyetle daha yüksek kaliteye ulaşmalarının önündeki en büyük engelin süreçlerde meydana gelen değişkenlikler olduğunu öne sürmüştür. Bu bağlamda, “proseslerdeki değişkenliğin minimize edilmesi” anlayışı altı sigmanın temel prensiplerinden biri olarak kabul edilmektedir. Motorola, Deming’in süreç varyasyonu kavramına yönelik bir bakış açısı geliştirerek kalite iyileştirme çalışmalarına odaklanmaya başlamıştır. Bu doğrultuda, Motorola kuruluşu süreç varyasyonlarını analiz etmenin performansı artırmada etkili bir yöntem geliştirmiştir. İstatistiksel açıdan ele alındığında, varyasyonlar ortalama etrafındaki standart sapma ile ifade edilmekte olup, bu ölçüm Yunan alfabesindeki sigma (σ) sembolü ile gösterilmektedir. Sigma (σ), istatistik biliminde değişkenliği ifade eden bir terim olup, süreçlerin hata oranlarını ölçmede önemli bir göstergedir. Sigma seviyesinin yüksek olması düşük hata oranına işaret ederken, düşük olması yüksek hata oranını ifade etmektedir. Altı sigma ise süreçlerdeki hataları minimize etmek amacıyla güçlü istatistiksel analiz tekniklerine dayanan bir yönetim felsefesi olarak tanımlanmaktadır (Harry ve Schroeder, 1999). Bu yaklaşım, ürün ya da hizmetin üretiminden ziyade, israfların ve kalite maliyetlerinin iyileştirilmesine odaklanarak süreç verimliliğini artırmayı hedeflemektedir. Altı sigma, farklı sektörlerde uygulanabilen ve süreçlerdeki hata oranlarını en aza indirmeyi amaçlayan bir istatistiksel ölçüm tekniği olarak kabul edilmektedir. Bu yöntem, bir milyonda 3,4 hata oranına ulaşmayı hedefleyerek süreçleri sürekli iyileştirme yönünde şekillendirmektedir. Böylece, işletmelerin operasyonel mükemmeliyete ulaşmalarını sağlamak adına sistematik bir yaklaşım sunmaktadır (Pande vd., 2003; Plotkin, 1999; Pyzdek, 2003).

2.3.5.1 Altı Sigmanın İlkeleri

Altı sigma, süreç iyileştirme ve kalite yönetimi alanında kullanılan, veri odaklı bir metodolojidir. Bu yaklaşım, süreçlerdeki değişkenliği azaltarak hata oranlarını minimize etmeyi ve operasyonel verimliliği artırmayı hedeflemektedir (Pyzdek, 2003). Altı sigmanın temel ilkeleri; müşteri odaklılık, veri ve istatistik temelli karar alma, süreç odaklı düşünme, proaktif yönetim, iş birliği ve ekip çalışması ile sürekli iyileştirme anlayışıdır (Antony, 2006).

Birincisi, *müşteri odaklılık ilkesi*, altı sigmanın temelini oluşturarak süreçlerin müşteri gereksinimlerini karşılayacak şekilde tasarlanmasını öngörmektedir. İşletmeler, süreç iyileştirme çalışmalarında müşteri beklentilerini esas alarak kaliteyi artırmayı amaçlamaktadır (Baker, 2003). İkincisi, *veri ve istatistik temelli karar alma ilkesi*, sezgisel yaklaşımların yerine ölçülebilir ve kanıtlanabilir verilere dayalı karar süreçlerini teşvik etmektedir. Bu doğrultuda, süreç performansı istatistiksel araçlarla analiz edilerek iyileştirme alanları belirlenmektedir (Montgomery, 2020). Üçüncü ilke olan *süreç odaklı düşünme*, kuruluşların yalnızca çıktılara değil, bu çıktılara ulaşan süreçleri de analiz etmelerini sağlamaktadır. Süreçlerin detaylı bir şekilde incelenmesi ve optimizasyonu, kaliteyi artırmada kritik bir rol oynamaktadır (Eckes, 2001). Ayrıca, dördüncü ilke *proaktif yönetim anlayışı*, sorunların ortaya çıkmasını beklemek yerine, önleyici tedbirlerin alınmasını ve risklerin en aza indirilmesini hedeflemektedir (Harry ve Schroeder, 1999). Beşinci ilke olan *iş birliği ve ekip çalışması*, altı sigma projelerinin başarısı için kritik bir faktördür. Kuruluş içinde farklı birimlerin ve çalışanların ortak bir amaç doğrultusunda hareket etmesi, süreç iyileştirme çalışmalarının etkinliğini artırmaktadır (Linderman vd., 2003). Son olarak, *sürekli iyileştirme ilkesi*, değişen piyasa koşullarına uyum sağlamak ve rekabet avantajını sürdürebilmek için kalite yönetim süreçlerinde sürekliliğin önemini vurgulamaktadır (Snee, 2010).

2.3.5.2 Sigma Düzeyleri

Sigma düzeyleri, süreçte meydana gelen hataların ya da kusurların sıklığını analiz ederek, işletmelerin kalite yönetim stratejilerini geliştirmelerine yardımcı olmaktadır (Montgomery, 2020). Sigma düzeyi ne kadar yüksekse, süreç o kadar az hata üretir ve kalite seviyesi o kadar artar. Özellikle altı sigma metodolojisi, bir milyon olasılıktaki hata sayısı (DPMO - Defects Per Million Opportunities) yalnızca 3,4 seviyesine indirmeyi hedefleyerek neredeyse mükemmel bir süreç tasarımı sunmaktadır (Pyzdek, 2003). Tablo 3 sigma düzeylerine göre hata düzeylerini göstermektedir.

Tablo 3. Sigma düzeyi

Sigma Seviyesi	Bir Milyonda Hatalı Sayısı	Hatasızlık Oranı %
1 σ Seviyesi	691.462	99,3085380%
2 σ Seviyesi	308.538	99,6900000%
3 σ Seviyesi	66.807	99,9331930%
4 σ Seviyesi	6.210	99,9938000%
5 σ Seviyesi	233	99,9997700%
6 σ Seviyesi	3,4	99,9999966%

Kaynak: Taghizadegan, 2006

Tablo 3'e göre 1 sigma, bir milyonda yaklaşık 690.462 hata ile (DPMO), süreç oldukça yüksek hata oranına sahiptir ve kalite seviyesi düşüktür. 2 sigma, bir milyonda yaklaşık 308.538 hata, yani süreç hâlâ hatalara oldukça açıktır ve verimlilik düşüktür. 3 sigma, bir milyonda yaklaşık 66.807 hata ile orta düzeyde bir kalite seviyesi sunar; birçok geleneksel üretim süreci bu seviyede çalışmaktadır. 4 sigma, bir milyonda hata oranı 6.210'a düşer ve süreç daha tutarlı hale gelir, ancak hâlâ iyileştirme alanları bulunmaktadır. 5 sigma, 233 hata ile oldukça yüksek bir kalite seviyesi sunar ve çoğu sektör için tatmin edici kabul edilir. 6 sigma, bir milyonda yalnızca 3,4 hata ile en üst düzeyde kaliteyi ifade eder ve neredeyse hatasız süreçler oluşturulmuştur (Taş, 2022).

2.3.5.3 Altı Sigmanın Organizasyonu

Altı sigma, organizasyon içinde başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için belirli bir yapı ve sorumluluk paylaşımı gerektiren hiyerarşik bir sistem oluşturur. Bu yapı, organizasyon içinde altı sigma projelerinin yürütülmesi, izlenmesi ve sonuçlandırılmasını sağlamak amacıyla çeşitli rollerin tanımlanmasını içerir (Pyzdek ve Keller, 2014). Altı sigmanın organizasyon yapısında, üst yönetimden saha çalışanlarına kadar geniş bir katılım sağlanarak süreç iyileştirme faaliyetlerinin etkinliği artırılmaktadır. Altı sigma organizasyon yapısındaki temel roller şu şekilde sınıflandırılmaktadır (Harry ve Schroeder, 1999; Eckes, 2001):

Üstün Kalite Konseyi:

Kalite yönetimi ve sürekli iyileştirme süreçlerini yönlendiren, genellikle üst düzey yöneticilerden oluşan bir yapıdır. Bu konsey, organizasyon içinde kalite kültürünü teşvik etmek, stratejik kalite hedeflerini belirlemek ve altı sigma metodolojisinin etkin uygulanmasını sağlamak amacıyla faaliyet göstermektedir (Evans ve Lindsay, 2010). Üstün Kalite Konseyi'nin başlıca görevleri şunlardır:

- Kalite stratejisini belirlemek ve yönlendirmek,
- Kalite kültürünü güçlendirmek,
- Performans ölçümü ve geliştirme,
- Kalite inisiyatiflerini desteklemek,
- Müşteri memnuniyetini artırmaktır.

Üstün kalite konseyi, organizasyonlarda kalite yönetiminin en üst düzeyde sahiplenilmesini sağlayan ve sürekli iyileştirme süreçlerini yönlendiren kritik bir yapıdır. Bu konseyin etkin çalışması, organizasyonun rekabet avantajını artırmasına ve sürdürülebilir kalite mükemmelliğine ulaşmasına yardımcı olur (Snee, 2010).

Şampiyon:

Üst yönetim düzeyinde yer alan ve altı sigma projelerini yönlendiren kişilerdir. Kuruluş içinde altı sigma kültürünün yaygınlaştırılmasını sağlar ve stratejik yönlendirme yaparlar. Şampiyonun görevleri (Harry ve Schroeder, 1999; Snee, 2010):

- Altı sigma projelerinin organizasyonun genel stratejik hedefleri ile uyumlu olmasını sağlamak,
- Üst yönetimin süreç iyileştirme girişimlerini desteklemesini teşvik etmek,
- Kurum içinde en büyük katma değeri sağlayacak projeleri belirlemek,
- Kaynakların etkin kullanımını sağlamak için proje önceliklerini belirlemek,
- Çalışanların altı sigma metodolojisini benimsemesini sağlamak ve organizasyon genelinde kalite bilincini geliştirmek,
- Sürekli iyileştirme kültürünü teşvik etmek,
- Altı sigma projelerinin başarılı olması için gerekli kaynakları sağlamak,

- Ekiplerin karşılaştığı bürokratik veya operasyonel engelleri ortadan kaldırmak,
- Kara kuşaklar ve yeşil kuşaklar gibi proje liderlerini yönlendirmek,
- Ekiplerin ilerlemesini takip etmek ve gerektiğinde rehberlik etmek.
- Projelerin performans göstergelerini değerlendirmek,
- Üst yönetime düzenli olarak altı sigma projelerinin etkisi hakkında geri bildirim sunmak.

Şampiyonlar, altı sigma projelerinin başarılı bir şekilde yürütülmesini sağlamak için hem liderlik hem de yönlendirme rollerini üstlenir. Etkili bir şampiyon, organizasyonun sürekli iyileştirme kültürünü benimsemesini teşvik ederek rekabet avantajı elde etmesine katkıda bulunur.

Uzman Kara Kuşak:

Organizasyonda altı sigmanın en üst düzeydeki uygulayıcılarıdır. Kurum içinde altı sigma metodolojisinin eğitimini verir, projelerin ilerleyişini denetler ve teknik danışmanlık sağlarlar. Uzman kara kuşakların temel görevleri şunlardır (Pyzdek ve Keller, 2014; Snee, 2010; Harry ve Schroeder, 1999):

- Üstün kalite konseyi ve şampiyonlar ile iş birliği yaparak altı sigma projelerinin organizasyonun genel hedeflerine uygun olmasını sağlamak,
- Altı sigmanın organizasyon içinde sürdürülebilirliğini sağlamak için stratejik planlamalar yapmak,
- Kara kuşak ve yeşil kuşak seviyesindeki çalışanlara eğitim vermek,
- Proje liderlerine mentorluk yaparak altı sigma araç ve tekniklerinin doğru uygulanmasını sağlamak,
- Altı sigma projelerini yöneten kara kuşaklara rehberlik etmek ve onların ilerleyişini denetlemek,
- Karmaşık problem çözme süreçlerinde teknik danışmanlık sağlamak,
- Gelişmiş istatistiksel analiz tekniklerini kullanarak süreçlerdeki varyasyonları değerlendirmek ve iyileştirme fırsatlarını belirlemek,
- Organizasyonda veri odaklı karar alma süreçlerinin benimsenmesini sağlamak,
- Organizasyon genelinde sürekli iyileştirme kültürünü desteklemek ve yeni süreç iyileştirme fırsatlarını belirlemek,

- Altı sigma ve yalın metodolojilerini entegre ederek süreç optimizasyonunu sağlamak,
- Projelerin başarı metriklerini analiz ederek üst yönetime rapor sunmak,
- Süreç iyileştirme çalışmalarının uzun vadeli etkilerini değerlendirerek organizasyon genelinde sürdürülebilirliği sağlamaktır.

Uzman kara kuşaklar, organizasyon içinde altı sigmanın başarısını ve sürekli iyileştirme kültürünün yerleşmesini sağlayan kritik liderlerdir. Teknik bilgi, mentorluk ve stratejik yönlendirme görevleriyle organizasyonun kalite yönetiminde kilit bir rol oynarlar.

Kara Kuşak

Tam zamanlı olarak altı sigma projelerini yürüten uzmanlardır. Süreçleri analiz eder, problem çözme tekniklerini uygular ve ekiplere liderlik ederler (Linderman vd., 2003). Kara kuşaklar, istatistiksel analiz, problem çözme ve proje yönetimi konusunda derin bilgiye sahip olup, doğrudan operasyonel iyileştirme projelerinde görev alırlar (Pyzdek ve Keller, 2014). Kara kuşakların görevleri şunlardır (Montgomery, 2020; Evans ve Lindsay, 2017; Snee, 2010; Harry ve Schroeder, 2000):

- DMAIC (Define-Tanımla, Measure-Ölçüm, Analyse-Analiz Et, Improve-İyileştir, Control-Kontrol Et) sürecini kullanarak süreç iyileştirme projelerini yönetmek,
- Organizasyon içinde süreç verimliliğini artırmaya yönelik projeler geliştirmek,
- Süreçlerdeki varyasyonları analiz etmek için gelişmiş istatistiksel araçları kullanmak,
- Sürekli iyileştirme için veri odaklı çözümler üretmek,
- Yeşil kuşaklar ve beyaz kuşaklara altı sigma teknikleri konusunda rehberlik etmek,
- Organizasyonda kalite bilincinin yaygınlaşmasına katkı sağlamak,
- Çalışanları sürekli iyileştirme konusunda motive ederek değişim süreçlerini yönetmek,
- Organizasyonun altı sigma kültürünü benimsemesine katkıda bulunmak,
- Proje sonuçlarını izleyerek üst yönetime sunmak ve iyileştirme öneri-

leri geliştirmek,

- Kazanımları ölçerek, süreç iyileştirme projelerinin sürdürülebilirliğini sağlamak,
- Müşteri geri bildirimlerini analiz ederek süreçleri müşteri beklentilerine göre optimize etmek,
- Hata oranlarını azaltarak müşteri memnuniyetini artırmaya yönelik çözümler geliştirmek.

Kara kuşaklar, altı sigma projelerinin operasyonel liderleridir ve organizasyonun süreç iyileştirme hedeflerine ulaşmasına katkı sağlarlar. Veri odaklı karar alma süreçlerini yönlendirerek, işletmenin rekabet avantajı kazanmasına yardımcı olurlar.

Yeşil Kuşak

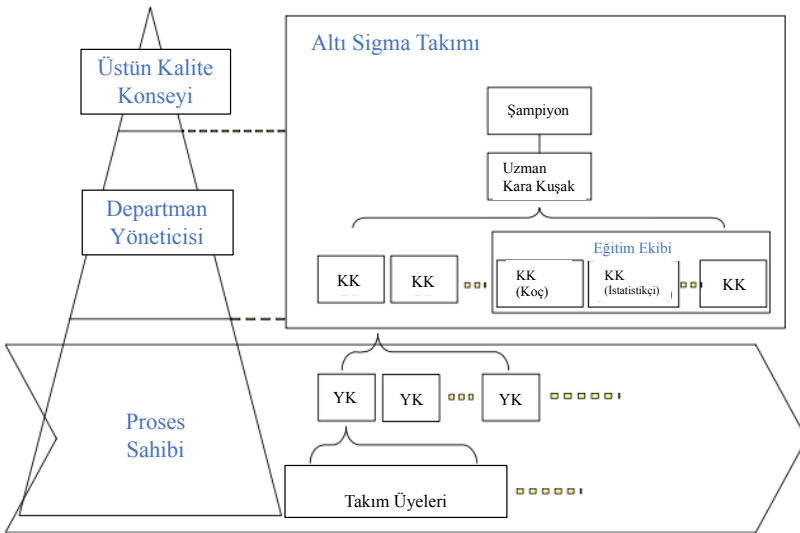
Altı sigma projelerinde kısmi olarak görev alan çalışanlardır. Yeşil kuşak, süreç iyileştirme projelerinde aktif rol alan ve altı sigma araçlarını uygulayan profesyonellerdir. Yeşil kuşaklar, tam zamanlı olarak altı sigma projeleri yürütmek yerine, genellikle kendi departmanlarında iyileştirme çalışmalarına katkı sağlayarak operasyonel verimliliği artırmaya odaklanırlar. Yeşil kuşakların görevleri şunlardır (Montgomery, 2020; Evans ve Lindsay, 2017; Snee, 2010; Harry ve Schroeder, 2000):

- Kara kuşaklar tarafından yönetilen projelere destek sağlamak,
- Süreç iyileştirme projelerinde veri toplama, analiz yapma ve çözüm önerileri geliştirme görevlerini üstlenmek,
- Süreçlerdeki hata oranlarını azaltmak için temel istatistiksel araçları kullanmak,
- Veri analizine dayalı iyileştirme önerileri geliştirmek,
- Mevcut süreçleri değerlendirerek iyileştirme fırsatlarını belirlemek,
- İsrافی azaltmaya yönelik yalın üretim teknikleri uygulamak,
- Kendi departmanında altı sigma farkındalığını artırarak ekip üyelerini süreç iyileştirme konusunda motive etmek,
- Küçük ölçekli altı sigma projelerinde liderlik yaparak pratik deneyim kazanmak,
- Müşteri geri bildirimlerini analiz ederek süreçlerin müşteri ihtiyaçlarına uygunluğunu değerlendirmek,

- Hata oranlarını ve müşteri şikâyetlerini azaltmaya yönelik çözümler üretmek,
- Yapılan iyileştirmelerin etkinliğini ölçmek için temel performans göstergelerini takip etmek,
- Üstün kalite konseyi ve kara kuşaklara düzenli raporlama yaparak iyileştirme sürecinin sürdürülebilir olmasını sağlamaktır.

Yeşil kuşaklar, altı sigma projelerinin başarıya ulaşmasında kritik bir destek rolü oynar. Organizasyon içinde kalite kültürünü yayarak, küçük ölçekli süreç iyileştirme projeleri yürütür ve büyük projelere katkı sağlar. Veri odaklı yaklaşımları ile işletmelerin süreçlerini optimize etmelerine yardımcı olurlar.

Şekil 4’de altı sigma organizasyonunun örgütsel hiyerarşisi gösterilmektedir.



Şekil 4. Altı sigma organizasyonu

Kaynak: Ho vd., 2008; Taş, 2022

2.3.5.4 Altı Sigma Aşamaları

Altı sigma metodolojisi, işletmelerin süreçlerini iyileştirmesi ve kalitesini artırması amacıyla geliştirilmiş, veriye dayalı bir yaklaşım olup DMAIC döngüsü üzerine kuruludur. DMAIC metodolojisi aşağıdaki gibi açıklanabilir (Antony, 2006; Harmon, 2007; Montgomery, 2020):

Tanımla

Tanımlama aşamasında, problem belirlenir ve iyileştirme ihtiyacı olan süreçler analiz edilir. Bu aşamada, kritik performans göstergeleri (Key Performance Indicator - KPI) ve müşteri beklentileri tanımlanarak projenin kapsamı belirlenir.

Ölçüm

Mevcut süreç performansı nicel verilere dayalı olarak değerlendirilir. Bu aşamada veri toplama planları oluşturularak sistematik bir veri analizi yapılır ve mevcut durum ortaya konulur.

Analiz Et

Analiz etme aşamasında, temel neden analizi yapılır ve süreçteki varyasyon kaynakları belirlenir. Bu aşamada istatistiksel analizler ve kök neden analizi yöntemleri kullanılarak problemin kaynağının tespiti hedeflenir.

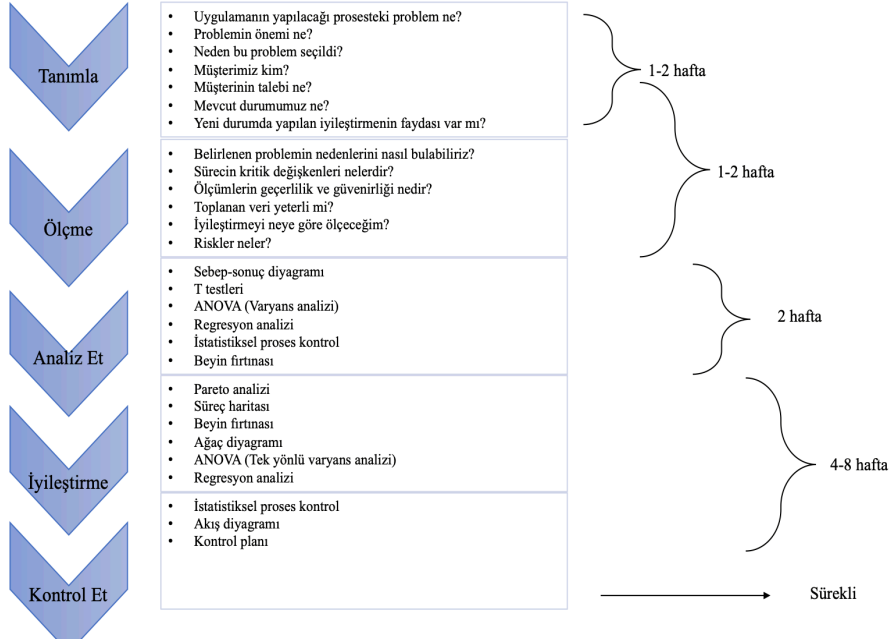
İyileştir

İyileştirme aşamasında, analiz sonucu elde edilen bulgular doğrultusunda iyileştirme çözümleri geliştirilir ve uygulanır. Bu aşamada, deneme uygulamaları ve pilot projeler ile süreç iyileştirme yöntemlerinin etkinliği test edilir.

Kontrol Et

Son aşama olan kontrol etme aşamasında ise, iyileştirilen sürecin sürekliliği sağlanarak elde edilen kazançların korunması amaçlanır. Bu bağlamda, istatistiksel kontrol yöntemleri ve standart işletme prosedürleri oluşturularak sürecin belirlenen hedefler doğrultusunda devam etmesi sağlanır.

DMAIC aşamalarında sorulması gereken sorular ve ortalama süreleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. DMAIC süreci

Kaynak: (Harmon, 2007).

DMAIC metodolojisi, altı sigmanın temel uygulama aracı olarak, şirketlerin süreçlerini veriye dayalı bir şekilde optimize etmelerini ve sürekli iyileştirme anlayışını benimsemelerini sağlayan sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Bir prosesi geliştirmek için DMAIC aşamaları kullanılırken eğer proses tasarımı yapılacaksa son iki aşama değiştirilerek DMADV (Define-Tanımla, Measure-Ölçme, Analysis-Analiz Et, Design-Tasarım, Verify-Doğrulama) metodolojisi kullanılır (Antony, 2006).

2.3.6 SMED

SMED (Single Minute Exchange of Die- Tekli dakikalarda kalıp değişimi) kavramı performans iyileştirme adı altında Shingo (1983) tarafından geliştirilmiştir. SMED'in hedefi üretime parçalar hazırlanırken hazırlık süresi israfına neden olan kalıp değişimlerinin daha az sürede yapılmasını sağlamaktır (Esrock, 1985). Tekli dakika ifadesi, her değişim ve başlatma işleminin yalnızca bir dakika sürmesi gerektiği anlamına gelmemekle birlikte, genellikle bu sürecin

10 dakikadan kısa bir süreye indirilmesi gerektiğini ifade eder (Shingo, 1983). Bu, tek haneli dakika olarak da tanımlanabilir.

SMED mevcut bir ürünü üretmekten, bir sonraki ürünü üretmeye geçişi hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirmeyi sağlamaktadır. SMED'in temel amacı, üretim parti boyutlarını küçültmek ve bu sayede üretim akışını iyileştirmektir.

SMED, ilk olarak kalıp presi ve takım tezgâhı hazırlık sürelerini hızlandırmak amacıyla geliştirilmiş olmakla birlikte, aynı ilkeler tüm üretim süreçlerine uygulanabilir. SMED yöntemi, dört temel aşamada uygulanmaktadır (Shingo, 1983; McIntosh vd., 2000):

Mevcut Hazırlık Sürecinin Analizi

SMED'in ilk adımı, mevcut hazırlık sürecinin ayrıntılı bir şekilde analiz edilmesidir. Bu analiz sırasında, değişim sürecinde gerçekleştirilen tüm faaliyetler gözlemlenir ve kayıt altına alınır. Hazırlık işlemleri süreleriyle birlikte değerlendirilerek, hangi faaliyetlerin makine çalışırken ve hangilerinin makine durduğunda gerçekleştirildiği belirlenir. Bu aşama, iyileştirme fırsatlarını belirlemek için kritik öneme sahiptir.

İç ve Dış Hazırlık Sürelerinin Ayrılması

Hazırlık süreleri, her üretim partisinin işlenmesinden önce ve sonrasında yapılan hazırlık ve son ayarlamaları ifade etmektedir. Shingo (1983), hazırlık işlemini iki ana bölüme ayırmıştır: *İç hazırlık*, makine çalışmadığı zaman diliminde yapılabilen hazırlık sürelerini ifade eder. Bu tür hazırlıklar, örneğin kalıp takma ya da çıkarma gibi işlemleri içerir ve makine durdurulduğunda gerçekleştirilir. SMED, bu iç hazırlık sürelerini minimize etmeyi ve mümkün olduğunca makine çalışırken yapılan işlemlerle entegre etmeyi amaçlamaktadır. Bu sayede, üretim süresi optimize edilir ve daha hızlı üretim dönüşümleri sağlanır. *Dış hazırlık ise*, makine çalışırken yapılan işlem sürelerini kapsamaktadır. Bu işlemler makine kapatılmadan önce veya sonra yapılabilir; örneğin, ekipmanı kurulum işlemi için hazırlamak makine kapatılmadan önce yapılabilir. Bu aşama, hazırlık sürelerinin minimize edilmesinde temel bir adımdır.

İç Hazırlık Sürelerinin Dış Hazırlık Süresi Haline Getirilmesi

Üçüncü adım, mümkün olan iç hazırlık işlemlerinin dış hazırlık işlemi hale getirilmesini kapsamaktadır. Bu, bazı işlemlerin makine çalışırken gerçekleştirilebilir hale getirilmesi anlamına gelir. Örneğin, kalıp değişimi sırasında

kullanılan bağlantı elemanlarının standartlaştırılması veya hızlı bağlama sistemlerinin uygulanması, sürecin daha verimli hale gelmesini sağlar. Ayrıca, özel aparat ve fiş türlerinin kullanımı, kurulum işlemlerinin hızlandırılmasına katkı sunar.

Hazırlık Sürecinin Standardizasyonu ve İyileştirilmesi

Son aşamada, hazırlık sürecinde kalan iç işlemler üzerinde iyileştirmeler yapılarak standartlaştırılmış prosedürler oluşturulur. Burada, gereksiz hareketler ve işlemler elimine edilerek, süreçlerin daha sistematik hale getirilmesi amaçlanır. Eğitimler, iş talimatları ve görsel yönetim araçları ile süreç sürekli olarak iyileştirilir. Ayrıca, sürekli iyileştirme prensibi doğrultusunda, SMED uygulamaları düzenli olarak gözden geçirilerek süreçte ek geliştirmeler yapılabilir.

Dört aşamalı bir süreçle uygulanan SMED, üretim geçiş sürelerini kısaltarak makine kullanılabilirliğini artırmakta, küçük parti üretimini ekonomik hale getirmektedir.

2.3. 7 Heijunka

Yalın üretim araçlarının uygulanmasının, işletmelerin küresel performansı üzerinde ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan olumlu etkiler sağladığı literatürde kanıtlanmıştır (Elrhanimi vd., 2016). TPS felsefesini en iyi şekilde ifade eden yaklaşımlardan biri, “acele israf yaratır” anlamına gelen geleneksel bir atasözüdür. Bu anlayışa göre, iş süreçlerinin hızlı ve kontrolsüz bir şekilde yürütülmesi zaman, maliyet ve enerji kayıplarına neden olmaktadır. Bu bağlamda, Taiichi Ohno TPS'nin temel amacının her türlü israfı ortadan kaldırmak olduğunu belirtmiş ve bunun ancak tüm çalışanların süreçleri istikrarlı ve disiplinli bir şekilde yönetmesiyle mümkün olabileceğini vurgulamıştır.

TPS, belirli bir dönemdeki toplam sipariş miktarını alır ve bunları dengeleyerek, her gün yaklaşık aynı miktar ve karışımda üretim yapılmasını önerir (Liker, 2004). Müşteri siparişlerini dengeleme prensibi, Toyota'nın “heijunka” olarak adlandırdığı, aynı montaj hattında bir ürün çeşidinin üretildiği üretim sisteminde uygulanmaktadır (Coleman ve Vaghefi, 1994). Bu sistem, ürün miktarının ve türünün dengelenmesini ifade eder. Üretim doğrudan müşteri talebine göre yapılırsa, üretim sürecinde sorunlar ortaya çıkar. Örneğin, müşteriye gereken miktarın teslim edilmesi için bir hafta boyunca mesai yapılabil-

lır, ancak takip eden hafta üretim miktarı oldukça düşük kalabilir, mesai saati içinde bile operatörler, makineler boş kalabilir. Ayrıca, beklenmedik taleplerle başa çıkmak amacıyla fazla ürün üretilip stoklanabilir depolama, bozulma, fırsat maliyetleri vb. ek maliyetler oluşabilir. Karma üretim sistemlerinde bir modelden diğerine geçişin hızla yapılabilmesi gerektiği göz önünde bulundularak, heijunka uygulamadan önce, kurulum sürelerini minimize etmek ya da ortadan kaldırmak amacıyla SMED gibi tekniklerin kullanılması önemlidir (Coleman ve Vaghefi, 1994).

Heijunka'nın iki ana amacı vardır: birincisi, küçük parti üretim ile stokların azaltılması; ikincisi ise operatörler ve makineler açısından iş yüklerini dengeleyerek, üretim süreçleri arasında denge sağlamaktır. Buradan da anlaşılacağı üzere heijunkanın amacı israfı önlemekten çok daha fazlasıdır. Talep dengesinin kurulması, esnekliğin artırılması, kalıp değişim sürelerinin kısaltılması ve uzun vadede üretim hacmi ve çeşitliliğinin dengelenmesi heijunkanın kazanımlarındandır (Ramekar, 2017). Müşteri siparişlerinde dalgalanma yoksa müşteri sürekli sabit sipariş veriyorsa üretim dengelemesi yapmak yani operatör ve makinelere iş yükü dağılımı yapmak kolaydır. Ancak müşteri siparişlerinde dalgalanma varsa talepleri dengelemek ya da üretimi dengelemek gerekmektedir.

Heijunka, üretim süreçlerini dengelemeye yönelik bir yaklaşım olduğu için bu bağlamda muda, muri ve mura kavramlarıyla güçlü bir ilişkiye sahiptir. Bu üç kavram, verimsizliğin, kaynak israfının ve süreç dengesizliğinin temel nedenleri olarak kabul edilir ve Heijunka, bu kayıpları minimize etmeyi amaçlar (Ohno, 2017; Womack ve Jones, 2003).

Muda kavramı, daha öncede ifade edildiği gibi değer yaratmayan her türlü faaliyet olarak tanımlanır ve bu, üretim süreçlerinde zaman, iş gücü, malzeme ve enerjinin israfını ifade eder (Ohno, 2017). Heijunka'nın en temel işlevlerinden biri, üretim sürecini dengeleyerek gereksiz faaliyetlerin ortadan kaldırılmasıdır. Heijunka, üretim taleplerinin düzgün bir şekilde dağıtılması ile üretim akışını optimize eder, bu sayede stok fazlasını, iş gücü yükü fazlasını ve zaman kayıplarını engeller. Ayrıca, üretim hatlarında gereksiz proses ve gereksiz işlerin önlenmesi, iş gücü ve malzeme israfını azaltır, böylece muda'yı ortadan kaldırır (Womack ve Jones, 2003).

Muri, aşırı yük anlamına gelir ve kaynakların aşırı zorlanmasını ifade eder. Bu kavram, çalışanların, makinelerin veya diğer kaynakların kapasitesinin

ötesinde kullanılması durumunda ortaya çıkmaktadır. Heijunka, üretimi dengeleyerek ve talep dalgalanmalarını kontrol altında tutarak, aşırı yüklenmeyi önlemektedir. Üretim hatlarında eşit bir iş yükü dağılımı sağlayarak, çalışanların ve makinelerin verimli ve sürdürülebilir bir şekilde çalışmasına olanak tanır (Coleman ve Vaghefi, 1994). Aşırı yüklenmeyi engellemek, iş gücü verimliliğini artırarak makine aşınmasını minimize eder, böylece maliyetlerde düşüş sağlanır.

Mura, üretim süreçlerinde düzensizliği ve dengesizliği ifade etmektedir. Düzensiz talep, üretim hatlarında yoğun iş yükü dalgalanmalarına yol açar ve bu da verimliliği düşürür. Heijunka, üretim talebinin dengelenmesi ve bu taleplerin önceden belirlenmiş bir plana göre eşit bir şekilde dağıtılması yoluyla mura'yı ortadan kaldırır. Bu dengeleme, üretim süreçlerinde daha tutarlı bir akış sağlar ve iş gücü, malzeme ve makina kaynaklarının daha etkili kullanılmasına olanak tanır. Ayrıca, heijunka'nın uygulanması, üretimdeki büyük dalgalanmaların ve kesintilerin önüne geçer, böylece süreçler daha öngörülebilir ve stabil hale gelir. Bu bağlamda heijunka'nın temel hedefi, muda, muri ve mura kavramlarını minimize ederek üretim süreçlerini optimize etmek, verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmektir. Bu üç kaybın ortadan kaldırılması için heijunka ürün, miktar ve talebi dengelemektedir.

Ürün ve Miktar Dengelemesi

Heijunka'nın temel özelliklerinden biri, üretim hatlarında belirli bir süre zarfında hem ürün türünü hem de miktarını dengelemektir. Geleneksel üretim yöntemlerinde, üretim büyük bir sipariş miktarıyla yapılırken, heijunka, talep dalgalanmalarını dengelemek için ürünlerin çeşitliliğini planlar. Bu, ürünlerin belirli bir düzen içinde üretilmesini sağlayarak herhangi bir ürünün aşırı üretimi ya da eksik üretimi riskini ortadan kaldırır (Coleman ve Vaghefi, 1994). Örneğin, eğer bir şirketin A, B ve C ürünlerinden oluşan bir portföyü varsa, heijunka üretim planı bu ürünlerin her birini en uygun üretim planına göre üretir. Böylece hem ürün çeşitliliği hem de üretim miktarı daha verimli ve dengeli hale gelir.

Talep Dengelemesi

Heijunka'nın bir diğer kritik bileşeni, talep dengelemesidir. Müşteri talepleri zaman zaman dalgalanabilir, bu da üretim süreçlerinde dengesizliklere yol açabilir. Heijunka, bu dalgalanmaları dengeleyerek, üretim hatlarında talep sıkışıklıklarını ve fazla üretimi önler. Bu dengeleme işlemi, sadece ürün

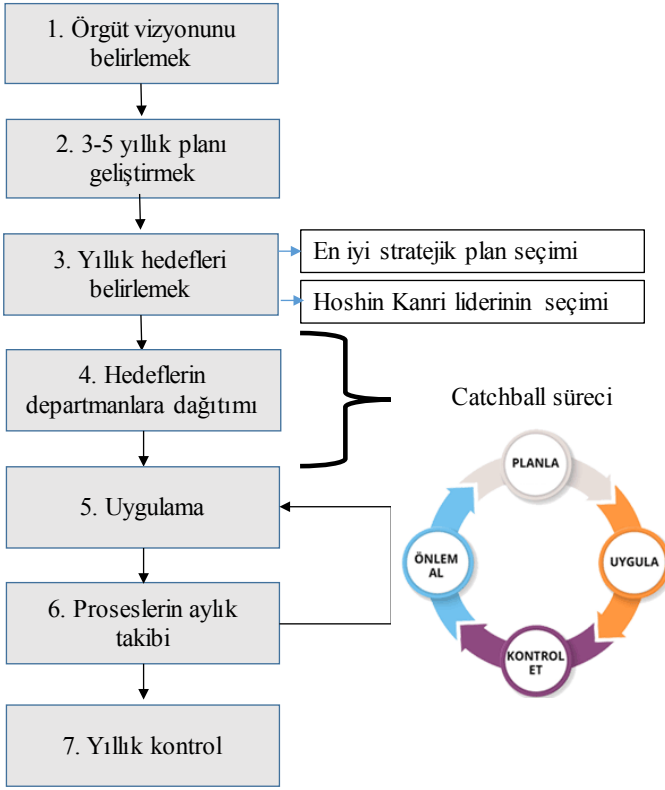
türlerinin ve miktarlarının değil, aynı zamanda üretim zamanlamalarının da uyumlu olmasını sağlar. Heijunka, talep tahminleri doğrultusunda, üretimin günlük bazda düzenli olarak yapılmasını sağlayarak, müşteri taleplerine hızlı bir şekilde cevap verebilmesine olanak tanır (Womack ve Jones, 2003).

Bu ürün, miktar ve talep dengelemesi, üretim sürecinde daha esnek ve verimli bir yapı oluşturur. Örneğin, her bir ürünün üretim süresi optimize edilirken, aynı zamanda üretim kapasitesinin en verimli şekilde kullanılması sağlanır. Bu dengeleme sayesinde, üretim süreçlerinde oluşabilecek darboğazlar, stok birikimleri ve kaynak israfı gibi problemler minimize edilir. Heijunka'nın etkili bir şekilde uygulanabilmesi için, üretim hatlarının esnek ve hızla uyum sağlayabilen bir yapıya sahip olması gereklidir. Üretim süreçleri, yalnızca ürün ve miktar değil, aynı zamanda süreç süreleri ve kaynak kapasitesi de göz önünde bulundurularak dengeleme yapılmalıdır. Bu dengeleme işlemi, yalnızca üretim hatlarında verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda müşteri taleplerine daha hızlı ve doğru bir şekilde yanıt verilmesini sağlar.

2.3.8 Hoshin Kanri

Hoshin kanri, 1970'lerin başında Japonya'da geliştirilen bir kalite planlama yöntemidir. Hoshin kanri, Japonca'da "pusula" anlamına gelen hoshin ve "yönetmek" anlamına gelen kanri kelimelerinin birleşiminden oluşur. Buna göre Hoshin kanri, "stratejik yön belirleme yöntemi" olarak tanımlanabilir (Arslandere, 2017). Terim, bir organizasyonun uzun vadeli stratejik hedeflerinin, günlük operasyonel faaliyetlerle uyumlu hale getirilmesini ifade eder (Akao, 1991). Bu yöntem, stratejik planlamanın etkinliğini artırmak ve hedeflerin tüm organizasyon seviyelerine yayılımını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir.

Hoshin kanri, yalın üretim felsefesinin temel taşlarından biri olarak kabul edilir. Özellikle TPS'de, uzun vadeli stratejik hedeflerin belirlenmesi ve bu hedeflere ulaşılacak taktiklerin tanımlanmasında kullanılır (Liker, 2004). Akao'ya (1991) göre, bu sistemin başarısının arkasında, organizasyonun her seviyesinin stratejik hedefler konusunda hizalanması yatar. Bu yaklaşımın temel adımları Şekil 6'da özetlenmiştir.



Şekil 6. Hoshin kanri süreci
(Kaynak: Jolayemi, 2008)

Şekil 6’da Hoshin kanri planlama sürecinin yedi adımı gösterilmiştir. Hoshin kanri süreci yönetimin vizyonunu ve 3 ila 5 yıllık hedeflerini belirlemeyle başlayıp yıllık hedefleri detaylandırması ile devam eder. Hoshin kanri, organizasyonların yıllık olarak birkaç stratejik öncelik belirleyerek kurumsal yönelime odaklanmasını sağlar. Bu süreçte, organizasyonun uzun vadeli vizyonu doğrultusunda öncelikli hedefler belirlenir ve kaynaklar bu hedeflere yönlendirilir. Yıllık hedefler belirlenirken en iyi strateji ve hoshin kanri lideri belirlenir. Belirlenen stratejik öncelikler, organizasyonun genel yönünü belirleyerek, karar alma süreçlerinde bir rehber niteliği taşır.

Hoshin kanri’de catchball olarak bilinen fikir birliği bu sürecin en önemli bileşenlerinden biridir. Catchball’da bilgi ve fikirlerin organizasyon içinde yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya doğru dinamik bir şekilde iletilmesini

sağlayarak karar alma sürecine katılımı artırılmaktadır (Tennant ve Roberts, 2001). Catchball süreci, temel olarak stratejik hedeflerin belirlenmesi ve bu hedeflerin departmanlar arasında paylaşılmasıyla başlar. Üst yönetim, uzun vadeli hedefleri tanımlar ve bu hedefleri orta kademe yöneticilere ileterek onların geri bildirimlerini alır. Daha sonra, bu yöneticiler, kendi ekipleriyle hedefleri tartışır ve operasyonel düzeyde uygulanabilirliği değerlendirirler. Bu süreç sayesinde, hedefler organizasyonun her kademesinde karşılıklı olarak tartışılarak ortak bir anlayış geliştirilir ve uygulanabilir stratejiler oluşturulur. Catchball'un en önemli avantajlarından biri, çalışanların katılımını teşvik ederek stratejik karar alma sürecinin daha demokratik hale gelmesini sağlamasıdır (Witcher ve Butterworth, 2001). Çalışanların fikirleri dikkate alındığında, organizasyon içindeki bağlılık ve motivasyon artar, aynı zamanda stratejik hedeflerin uygulanabilirliği de güçlenir. Bununla birlikte, catchball sürecinin etkin bir şekilde yürütülebilmesi için açık iletişim kültürünün benimsenmesi ve tüm seviyelerde geri bildirim mekanizmalarının oluşturulması gereklidir. Bu süreç, sadece hedeflerin yukarıdan aşağıya aktarılmasını değil, aynı zamanda çalışanların görüşlerinin de yönetime iletilmesini sağlayarak çift yönlü bir iletişim ağı oluşturur (Marcum, 1994). Böylece, organizasyon genelinde stratejik uyum sağlanır ve sürekli iyileştirme kültürü desteklenmiş olur.

Hoshin kanride bir sonraki adım stratejilerin uygulanması ve bunların aylık olarak takibidir. Diğer yalın üretim araçlarında olduğu gibi hoshin kanride de PUKÖ döngüsü izlenmeli, iyileştirme faaliyetleri aylık periyotta devam ettirilmelidir.

Son adım olan hedeflere yönelik ilerleme yıllık olarak takip edilir ve gerekli durumlarda düzeltici eylemler alınarak hoshin kanri uygulamaları devam ettirilir (Jolayemi, 2008).

2.4 Dört Prensip

Yalın üretim araç ve tekniklerinin yanı sıra yalın üretimin dört prensibi; çekme sistemi, takt zamanı, akış, hatalardan kaçınma (Jidoka-Otonomasyon, Poka-Yoke ve TPM-Toplam Üretken Bakım) gibi teknikler kaliteyi üretim sürecine entegre ederek hataların erken aşamada tespit edilmesini sağlamaktadırlar. (Liker, 2004).

2.4.1 Çekme Sistemi Prensibi

Rekabetçi üretim ortamında, üretim süreçlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, üretim sistemlerinde iki temel üretim kontrol yaklaşımı olan çekme (pull) ve itme (push) sistemleri öne çıkmaktadır (Monden, 2012). Yalın üretim uygulayan bir işletmenin mutlaka çekme sistemi ile uyumlu olarak üretimin müşteri talebine dayalı şekilde ilerletmesi gerekmektedir. İtme sistemi ise üretimin tahminlere ve önceden belirlenen üretim planlarına göre yürütüldüğü geleneksel bir yaklaşımdır (Hopp ve Spearman, 2004).

Çekme sistemi, üretimde yalnızca müşteri talebi doğrultusunda malzeme ve iş emirlerinin üretim sürecine dâhil edildiği bir sistemdir (Ohno, 2017). Yalın üretimin temel unsurlarından biri olan bu sistem, stok seviyelerini minimize ederek israfları ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Çekme sisteminde üretim Şekil 7’de görüldüğü gibi tedarik zincirinin en son noktasında, yani müşterinin talep ettiği ürünle başlar ve bu talep, üretim sürecinin önceki aşamalarına doğru iletilerek üretim emirleri oluşturulur.



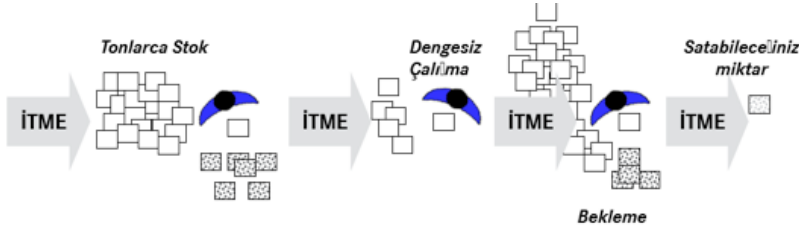
Şekil 7. Çekme sistemi

Şekil 7, bir montaj fabrikasında uygulanan çekme sistemine örnek oluşturmaktadır. Müşterinin ürünü talep etmesiyle üretim sürecinin başlama sinyali verilir.

Çekme sisteminin en bilinen uygulamalarından biri kanban sistemidir. Kanban, üretim sürecinde her istasyonun yalnızca kendisinden önceki aşamadan gelen talep doğrultusunda üretim yapmasını sağlayan bir görsel kontrol mekanizmasıdır. Bu sistem, üretim emirlerinin fiziksel kartlar veya dijital sinyaller aracılığıyla iletilmesi yoluyla çalışır ve her aşamanın sadece ihtiyaç

duyulan miktarda malzeme çekmesini sağlar (Sugimori vd., 1977). Böylece, gereksiz üretim ve aşırı stok önlenirken, üretim sürecinin esnekliği artırılır ve talepteki dalgalanmalara hızlı yanıt verilmesi mümkün hale gelir (Hopp ve Spearman, 2004). Kanban sistemi, çekme sisteminin etkin şekilde uygulanmasını destekleyerek yalın üretim felsefesinin temel prensiplerinden biri olan tam zamanında üretimi mümkün kılmaktadır.

İtme sistemi ise üretimin müşteri talebine değil, tahminlere ve üretim planlarına göre yapıldığı geleneksel bir üretim yaklaşımıdır (Spearman ve Zazanis, 1992). Şekil 8’de verilen bu sistemde üretim emirleri, merkezi planlama tarafından belirlenen üretim programına göre oluşturulur ve iş istasyonlarına gönderilir. Ürünler genellikle büyük partiler halinde üretilir ve stoklanır, bu da yüksek envanter seviyelerine ve uzun teslimat sürelerine yol açabilir.



Şekil 8. İtme sistemi

İtme sistemi üretimde güzel görünür, bunun nedeni; tüm çalışanlar meşguldür ve her yer ürün, yarı mamul doludur. Ancak Şekil 8’de örneği görüldüğü gibi itme sistemi tahminlere dayalı üretim olduğu için üretilen miktar her zaman müşteri tarafından talep edilmeyebilir ve stok fazlası olarak işletmenin envanterinde kalabilir.

Çekme ve itme sistemleri arasındaki temel farklar Tablo 4’de verilmiştir:

Tablo 4. Çekme ve itme sisteminin kıyaslanması

Kriter	Çekme Sistemi	İtme Sistemi
Üretim Tetikleyici	Müşteri talebine bağlıdır	Üretim planına ve tahminlere dayalıdır
Stok Yönetimi	Düşük stok seviyeleri	Yüksek stok seviyeleri
Esneklik	Talep değişimlerine hızlı uyum sağlar	Üretim programı katıdır, değişime uyum zordur
İsraf	Minimize edilir	Fazla üretim ve stok maliyetleri yüksektir
Teslimat Süresi	Daha kısa ve öngörülebilirdir	Uzun ve değişken olabilir
Üretim Hızı	Talebe göre değişkenlik gösterir	Sabit üretim temposu hedeflenir

Tablo 4’de görüldüğü gibi itme sisteminin en büyük dezavantajlarından biri, müşteri talebinin öngörülememesi durumunda fazla ya da eksik üretimin ortaya çıkabilmesidir. Bu da ya fazla stok maliyetine ya da müşteri taleplerini karşılayamama sorununa yol açabilir. Buna karşın, çekme sistemi, yalnızca ihtiyaç duyulan miktarın üretilmesini sağlayarak stok maliyetlerini ve üretim fazlasını minimize eder.

Çekme sistemi, üretim süreçlerinde birçok avantaj sağlarken, belirli zorlukları da beraberinde getirmektedir. Öncelikle, bu sistem düşük stok seviyelerini desteklediğinden gereksiz stok tutulmasını engelleyerek stok maliyetlerini önemli ölçüde azaltır. Ayrıca, üretim sürecinde gereksiz bekleme süreleri önüne geçtiği için teslimat sürelerini kısaltır ve süreçlerin daha akıcı hale gelmesini sağlar. Bununla birlikte, israfın minimize edilmesi çekme sisteminin temel avantajlarından biridir; fazla üretim, gereksiz taşıma ve bekleme süreleri gibi israfların ortadan kaldırılmasıyla operasyonel verimlilik artırılmaktadır. Çekme sisteminin bir diğer önemli faydası ise esneklik sağlamasıdır; sistem, müşteri taleplerindeki değişimlere hızlı uyum sağlayarak üretimin daha dinamik hale gelmesine yardımcı olur. Ancak bu avantajlara rağmen, çekme sisteminin uygulanması bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Özellikle, talep dalgalanmalarına karşı duyarlılığı sistemin en büyük dezavantajlarından biridir; büyük ölçekli talep değişimleri üretim sürecinde dengesizliklere yol açabilir ve sistemin etkinliğini azaltabilir. Ayrıca, tedarikçi uyumu da önemli bir faktördür; çekme sisteminin başarılı olabilmesi için tedarikçilerin esnek ve

zamanında teslimat sağlayabilecek şekilde yapılandırılmış olması gerekmektedir. Son olarak, küçük parti üretimlerinde verimlilik sorunları ortaya çıkabilir; özellikle düşük üretim hacimlerinde sık değişimler, üretim maliyetlerini artırarak maliyet etkinliğini azaltabilir. Bu bağlamda, çekme sisteminin etkin şekilde uygulanabilmesi için talep yönetimi, tedarikçi entegrasyonu ve üretim planlaması gibi unsurların titizlikle ele alınması gerekmektedir.

Çekme ve itme sisteminin avantajları ve dezavantajları olmakla birlikte, yalın üretim felsefesini benimseyen firmalar genellikle çekme sistemine geçiş yaparak operasyonel verimliliklerini artırmaktadırlar. Bu nedenle, işletmelerin başarılı bir üretim yönetimi için organizasyonların üretim süreçlerini değerlendirerek en uygun kontrol mekanizmasını belirlemesi gerekmektedir.

2.4.2 Takt Zamanı Prensibi

Takt zamanı ilk defa 1930’larda Alman uçak endüstrisinde bir üretim yönetimi aracı olarak kullanıldı. Takt, müziksel ölçü gibi net zaman aralığı için kullanılan Almanca bir terimdir. Bu terim, Almanca “takt” kelimesinden gelmekte olup, tempo ya da ritim anlamındadır. Takt süresi, üretim hızının müşteri talebiyle uyumlu hale getirilmesini sağlayan kritik bir performans göstergesidir. Yalın üretim sistemlerinde temel hesaplamalardan biri olarak kabul edilen takt süresi, belirli bir üretim sürecinde belirlenen zaman aralığında müşteri talebini karşılayacak şekilde üretim temposunun belirlenmesine olanak tanır. Bu süre, toplam etkin çalışma süresinin müşteri tarafından talep edilen ürün miktarına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Üretim süreçlerinde, planlanan çevrim süresi genellikle takt süresinden daha kısa olacak şekilde düzenlenir. Ancak, planlanmamış duruşlar ve operasyonel kesintiler, makinenin verimliliğini düşürmekte ve ürün teslimatında gecikmelere yol açabilmektedir (Soliman, 2020).

Takt zamanına bir örnek olarak; bir kamyon üreticisinin müşterilerinden haftada 400 adet talep vardır. Tesis haftada 5 gün, günde 8 saat ve her gün 2 vardiya şeklinde çalışmaktadır. Mevcut zaman haftada 80 saattir. Bu nedenle takt zamanı 80 saatin (4800 dakika), haftalık talep olan 400’e bölünmesiyle 12 dakikadır. Üreticinin müşteri talebini karşılamak için her 12 dakikada bir kamyon üretmesi gerekmektedir. Üretici tüm operasyonları 12 dakikalık takt zamanına göre senkronize edebilirse, müşteri talebi karşılanabilir. Eğer proses takt zamanını aşarsa eksik ürün üretilir. Eğer proses takt zamanından hızlı

ise stok oluşur. Bu yüzden takt sihirli bir sayı gibidir, çünkü üretimin ya da pazarın nabız atışıdır. Takt süresi iyileştirmelerle ya da darboğazlarla sürekli değişebilir (Imai, 2014).

Takt zamanı bize proses sonunda bir ürünün üretilmesi için ne kadar zaman geçeceğini gösteren bir kavramdır. Çevrim süresi ise operatörün işlemi bitirmesi için gerekli olan gerçek zamandır. Her darboğazda çevrim süresi uzayabilir ancak başka bir prodesteki hızlanma takt süresini sabit tutabilir.

Takt zamanı, üretim süreçlerinde müşteri taleplerine uygun üretim hızını belirleyen önemli bir kavramdır. Yalın üretim sistemlerinin temel bileşenlerinden biri olan takt zamanı, üretimin müşteri talepleri doğrultusunda dengelenmesini sağlar (Ali ve Deif, 2014). Takt zamanının doğru belirlenmesi, üretim hattında darboğazların önlenmesi ve süreçlerin daha verimli hale getirilmesi demektir. Bu yöntemle aşırı üretim ve bekleme süreleri gibi israflar minimize edilerek, üretkenlik artırılabilir. Ayrıca, üretim süreçlerinin müşteri talebine uygun şekilde düzenlenmesi stok seviyelerinin kontrol altında tutulmasını ve üretim akışının daha verimli olmasını sağlamaktadır. Yalın üretim prensipleriyle uyumlu olan bu yaklaşım, işletmelerin rekabet avantajını korumasına katkıda bulunur. Takt zamanı üretim hızının müşteri taleplerine göre ayarlanması, işletmelerin kaynaklarını en iyi şekilde kullanmalarına ve müşteri memnuniyetini artırmalarına olanak tanımaktadır.

2.4.3 Akış Prensibi

Akış, üretim süreçlerinde verimliliği artırmak ve israfı en aza indirmek için geliştirilen temel prensiplerden biridir. Henry Ford, bu ilkeyi ilk fark eden ve uygulayan isimler arasında yer almaktadır. Ford, 1913 yılında T Model arabanın üretimi sırasında, montaj hattında sürekli akış yöntemini kullanarak üretimdeki çabayı %90 oranında azaltmayı başarmıştır (Womack ve Jones, 2003). Bu gelişme, seri üretim anlayışını kökten değiştirmiş ve üretim süreçlerinde verimlilik adına devrim niteliğinde bir ilerleme sağlamıştır. Ancak, Fordist üretim anlayışının dayandığı tek tip ürün üretimi modeli, günümüz değişken ve talebe duyarlı üretim sistemleri için yeterli olmamaktadır. Günümüz pazar koşullarında, müşteri talepleri giderek daha fazla çeşitlilik göstermekte ve üreticiler daha küçük partiler halinde üretim yapma zorunluluğu ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu bağlamda, sürekli akış prensibinin uygulanması, yalın üretim anlayışıyla birlikte ele alınmaktadır.

Sürekli akışın sağlanabilmesi için üretim süreçlerinde stok seviyelerinin minimize edilmesi, malzeme hareketlerinin optimize edilmesi ve darboğazların ortadan kaldırılması gerekmektedir. TPS'de bu yaklaşım hatalardan kaçınma prensibi ile desteklenmekte ve süreçlerde hataların en aza indirilmesi amaçlanmaktadır (Shingo, 1983). Böylece, üretim sırasında hata tespit edildiğinde anda düzeltici aksiyonlar alınarak akışın kesintiye uğraması engellenmektedir.

Akış ilkesinin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için ayrıca üretim planlamasının esnek hale getirilmesi gerekmektedir. Günümüz üretim sistemlerinde çekme sistemleri kullanılmakta ve müşteri taleplerine göre üretim gerçekleştirilerek gereksiz üretimin önüne geçilmektedir. Bu sistem, tedarik zincirinin her aşamasında gereksiz bekleme sürelerini ortadan kaldırarak sürekli akışı teşvik etmektedir.

Akış prensibi tarihsel olarak Fordist üretim anlayışının temel taşlarından biri olmasına rağmen, günümüzde yalın üretim prensipleri ile birlikte daha esnek ve müşteri odaklı bir yapıya bürünmüştür. Küçük parti üretim ve değişken müşteri taleplerine uyum sağlayabilmek için akışın sürekliliği sağlanmalı, süreçler optimize edilmeli ve hataların önlenmesine yönelik sistemler geliştirilmelidir.

2.4.4 Hatalardan Kaçınma Prensibi

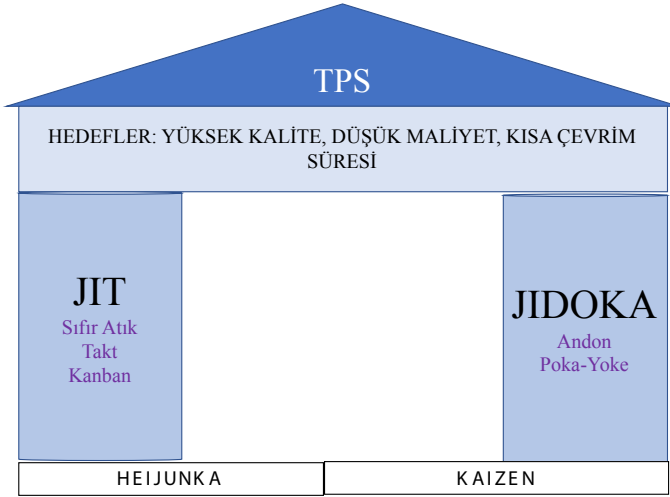
Yalın üretim, değersiz işler ve israfı minimize etmeye yönelik bir yaklaşım olup, hatalardan kaçınma prensibi de bu anlayışın temel taşlarından biridir. Bu prensip, üretim süreçlerinde kaliteyi artırmayı ve hataların önlenmesini amaçlayan bir dizi stratejiyi içerir. Hatalardan kaçınma, yalnızca hataları düzeltmek değil, aynı zamanda bu hataların oluşmasına zemin hazırlayan faktörlerin ortadan kaldırılmasına yönelik bir felsefedir. Yalın üretimde hataların kaynağı tespit edilip ortadan kaldırılmalı, çalışanlar sürecin her aşamasında sürekli olarak eğitilmeli ve güçlü bir izleme sistemi kurulmalıdır. Ayrıca, hataların erkenden tespit edilmesi için görsel yönetim araçları ve erken uyarı sistemleri kullanılabilir.

Jidoka, Poka-Yoke ve Toplam Üretken Bakım (Total Productive Maintenance-TPM) hatalardan kaçınma tekniklerindedir (Sordan ve Chiabert, 2024).

2.4.4.1 Jidoka

Jidoka (otonomasyon) hatalardan kaçınma ilkesinin bir parçasıdır. Jidoka, makinelerin kendi kendine hataları tespit etme yeteneğine sahip olmasını, böylece hataların daha büyük problemlere dönüşmeden ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, çalışanlar bu tür hataları tespit ettiklerinde üretim hatını durdurma yetkisine sahip olması hataların yayılmadan önce önlenmesine olanak tanımaktadır (Sugimori vd., 1977).

Jidoka, TPS içinde kritik bir yer tutan temel ilkelerdendir ve TPS evinin temel sütunlarından biri olarak kabul edilir. TPS, iki ana sütuna sahip bir eve benzetilir: bir sütun, JIT, diğeri ise Jidoka'yu temsil etmektedir. TPS evi Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. TPS Evi

Kaynak: Liker, 2004

Bu iki sütun, TPS'in düzgün işleyebilmesi için birbirini tamamlayıcı unsurlardır; birinin eksikliği, tüm sistemin işlevselliğini tehlikeye atar. Özellikle Jidoka, kaliteyi oluşturma anlayışını benimser ve bu anlayış, kaliteyi sadece denetlemektense, üretim sürecinin her aşamasında kusurları önlemeyi amaçlamaktadır. Kaliteyi denetlemek, hatalı ürünlerin üretildiği bir ortamda geçici bir çözüm olabilir, ancak gerçek kaliteyi oluşturmak, üretimin ilk aşamasından itibaren doğru ürünler üretmeyi gerektirmektedir. Kusurlu ürünlerin denetimle ayrılması, yüksek maliyetlere ve kaynak israfına yol açar, ayrıca üretim sürecinin güvenliğini tehlikeye atar.

Jidoka'nın bir başka önemli boyutu, üretim sürecindeki anormalliklerin hemen fark edilmesini sağlamaktır. Bu, üretim hattında bir sorun olduğunda, çalışanların bu durumu düzeltme yetkisi ve sorumluluğuna sahip olmasını içerir. Toyota, bu ilkeyi, her çalışanın üretim hattındaki herhangi bir sorun durumunda üretimi durdurabilmesi için donatıldığı bir "andon kordonu" kullanılarak uygular. Andon, görsel bir kontrol sistemi olup, jidokanın bir parçası olarak, anormal bir durum meydana geldiğinde çalışanlara alarm vererek, sorunların hızla tespit edilip çözülmesini sağlamaktadır. "Toyota Tarzı" adlı kitabında Liker'in belirttiği gibi, Jidoka "insan zekâsıyla donatılmış otomasyon ekipmanıdır" ve anormallikleri tespit etmek için kullanılan bir sistemdir.

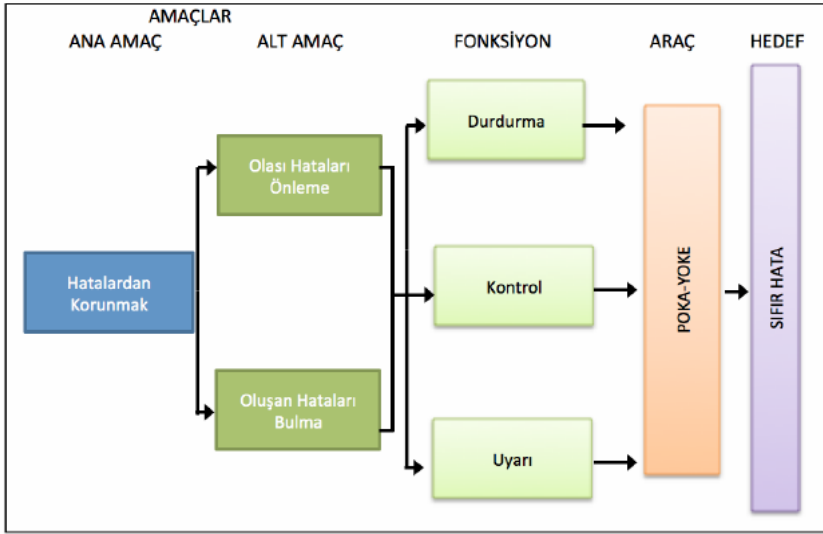
Jidoka yaklaşımı ile kalite sorunlarının erken aşamalarda tespit edilmesi, bu sorunların kök nedenlerini araştırılması ve gelecekte aynı sorunların tekrarlanmaması için önlemler alınmalıdır. Yalın üretim anlayışının temel hedeflerinden olan her gün karşılaşılan kalite sorunlarını önleyerek üretkenliği artırmak, kapasiteyi verimli kullanmak, maliyetleri düşürmek ve güvenliği sağlamaktır. Bu noktada Jidoka, üretim sürecinde hata yapmayı engelleyerek, ilk seferde doğru sonuçların elde edilmesini teşvik eder ve böylece hataların erken aşamalarda ortaya çıkmasını sağlar.

2.4.4.2 Poka-Yoke

Poka-Yoke 1961 yılında Toyota'da mühendis olan Shingo tarafından tanımlanan bir kavramdır. Bu yöntem hatalardan kaynaklanan kusurları ya da hataları önlemektedir. Ürün yaşam döngüsünün her aşamasında, proseslerinde ve operasyonlarında hata meydana gelme olasılığı bulunmaktadır. Bu hatalar, nihai üründe kusurların ortaya çıkmasına yol açarak müşteri memnuniyetsizliği ve hayal kırıklığına neden olabilir. Poka-Yoke yöntemi, en küçük düzeyde dahi kusurlu ürün üretiminin kabul edilemez olduğu anlayışına dayanmaktadır. Bu bağlamda, Poka-Yoke yöntemi, hatasız üretim hedefine ulaşmayı mümkün kılan basit ve etkili bir tekniktir (Patel vd., 2001).

Poka-Yoke tekniği, hatalara yol açabilecek potansiyel nedenleri önlemek ve ürünün kabul edilebilirliğine karar vermeye yardımcı olacak düşük maliyetli bir kontrol mekanizması sağlamak amacıyla uygulanabilir. Her durumda hataların tamamen ortadan kaldırılması mümkün olmasa da bu gibi durumlarda Poka-Yoke yöntemlerinin temel amacı hataları en kısa sürede tespit etmektir (Lachajczyk vd., 2006; Çelik, 2020). Ürün kusurlarının ortaya çıkış süreci analiz edildiğinde, bir kusur ile bu kusura neden olan hata arasında göz-

lem hatası gibi potansiyel bir bağlantının bulunabileceği unutulmamalıdır. Bu doğrultuda, kusur oranını azaltmaya yönelik yöntemler, hataların oluşmasının önlenebileceği veya meydana geldiğinde hızla tespit edilip düzeltilebileceği koşulların planlanmasına odaklanmalıdır. Poka-Yoke ile ilgili bir kusur, iki farklı durumda ortaya çıkabilir: ya hâlihazırda meydana gelmiş olup tespit edilmesi gerekmektedir ya da oluşma aşamasında olup öngörülmesi önemlidir. Poka-Yoke elemanları sonlandırıcı şalterler, ışıklı uyarılar, şablonlar, kılavuzlar, sensörler, basınçlı şalterler, ayar pimleri, sayaçlar vb. donanımdan oluşur. Poka-Yoke'nin kusurları önleme ya da minimize etmesi amacıyla Şekil 10'daki gibi üç temel işlevi bulunmaktadır: kapama, durdurma ve uyarıda bulunma.



Şekil 10. Poka-Yoke fonksiyonları

Kaynak: Patel vd., 2001, Arslandere, 2017.

Şekil 10'da görüldüğü gibi Poka-Yoke tekniğinin ana amacı hatalardan korunmaktır. Bu ana amaç, olası hataları önlemek ve oluşan hataları bulmak üzere iki alt amaca ayrılmaktadır. Poka-Yoke uygulamaları, bu amaçlara durdurma, kontrol ve uyarı fonksiyonları aracılığıyla ulaşır. Nihai hedef ise sıfır hata düzeyine ulaşabilmektir. Durdurma fonksiyonu, süreçte herhangi bir anormal durum tespit edildiğinde ilgili işlem adımının otomatik olarak durdurulmasını sağlar. Bu sayede seri üretim süreçlerinde ardışık hataların

oluşması engellenmiş olur. Ancak, bu fonksiyonun en belirgin dezavantajı, üretim hattının durmasına bağlı olarak süreçte verimlilik kayıplarının meydana gelmesidir. Kontrol fonksiyonu ise, durdurma fonksiyonuna benzer şekilde bir sonraki süreç adımına %100 hatasız ürün aktarılmasını hedefleyen bir Poka-Yoke türüdür. Ancak burada hatanın oluşması durumunda üretim hattının tamamen durması gerekmez. Hata tespit edildiğinde, sistem hatalı ürünü sağlam ürünlerden ayırmak için farklı bir biriktirme alanına yönlendirebilir. Uyarı fonksiyonu ise, hata sıklığının düşük olduğu durumlarda devreye girer. Bu fonksiyon, hataların tespit edilmesini sağlayarak görsel veya işitsel sinyallerle (örneğin ışıklı/sesli uyarı sistemleriyle) operatörlere bilgi verir (Kumar vd., 2016).

Poka-Yoke unutkanlık, dikkatsizlik, yanlış anlama, konsantrasyon eksikliği, standartların eksikliği, tecrübesizlik, boş vermek, sabotaj vb. insan faktöründen kaynaklanan durumlara karşı çeşitli, hata yapmayı önleyici ve yardımcı araç ve stratejileri kullanarak daha fazla kontrol elemanına gerek duymadan, sıfır hatalı üretime ulaşmayı amaçlar. Bu amaçla gerekirse kullanılan tezgâha ilave mekanizmaların eklenmesine gidilebilir. Sensörler sayesinde insan eli arasındayken pres makinelerinin çalışmaması, kapak kapanmadan makine şalterlerinin çalışmaması, her ucun her girişe uymaması, bariyerlerin insanlar geçerken kapanmaması vb. Poka-Yoke'ye örnek olarak verilebilir. Hatalardan kaçınmak ve Poka-Yoke uygulamak için; kalıp değişikliği, renklendirme, ışıklandırma, hatırlatmalar, otomatik durdurucular, sensörler, uyarı sesleri vb. yöntemler tercih edilebilir (Kurahade, 2015).

Poka Yoke ile Jidoka arasındaki temel fark, hatanın tespit edildiği aşamaya dayanmaktadır. Jidoka genellikle meydana gelmiş hatalara müdahale etmeye odaklanırken, Poka Yoke olası hataların oluşumunu engelleyecek önleyici çözümler geliştirmeye çalışır. Jidoka sisteminde hatayı tespit etme süreci otomatik veya mekanik sistemlerle başlatılabilir; ancak, sürecin sonraki aşamalarında iyileştirmeler yapılabilmesi için mutlaka çalışanların aktif katılımı gereklidir. Bu durum, insan faktörünün önemini vurgularken aynı zamanda süreç odaklı bir iyileştirme anlayışını da destekler.

2.4.4.3 Toplam Üretken Bakım

1970'li yıllarda Japonya'da geliştirilen Toplam Üretken Bakımın (Total Productive Maintenance – TPM), Amerika'da yaygın olarak uygulanan Koruyucu Bakım ile Japonya'da benimsenen Toplam Kalite Yönetimi yaklaşım-

larının bir birleşimi olduğu belirtilmektedir (Nakajima, 1988). TPM'in sıfır arıza ve sıfır hata olmak üzere iki amacı bulunmaktadır. TPM, arızalar ortaya çıkmadan önce engellenmesini hedeflemektedir. TPM, ekipmanın tüm yaşam döngüsünü kapsayan ve ekipmanla ilgili tüm alanları içeren kapsamlı bir üretken bakım sistemi oluşturarak ekipmanı en verimli kullanmayı hedefler. Bu sistem, üst yönetimden atölye çalışanlarına kadar tüm personelin katılımıyla, motivasyon yönetimi ve gönüllülük esasına dayalı küçük grup çalışmaları aracılığıyla üretken bakımın teşvik edilmesini amaçlamaktadır.

Ürün kalitesini iyileştirmek, israfı azaltmak, üretim maliyetini düşürmek, ekipman kullanılabilirliğini artırmak ve işletmenin genel bakım durumunu iyileştirmek için bakım ve üretim organizasyonları arasındaki bir araç olan TPM şu unsurları içermektedir (Chan vd., 2005):

- TPM ekipman etkinliğini en üst düzeye çıkarmayı hedefler,
- TPM, ekipmanın tüm kullanım ömrü boyunca kapsamlı bir önleyici bakım sistemi kurar,
- TPM bir organizasyondaki farklı departmanlardaki çalışanların katılımıyla sağlanır,
- TPM, üst düzey yönetimden üretimdeki operatörlere kadar tüm çalışanların katılımıyla sağlanır,
- TPM, önleyici bakımın teşvik edilmesine dayanmaktadır.

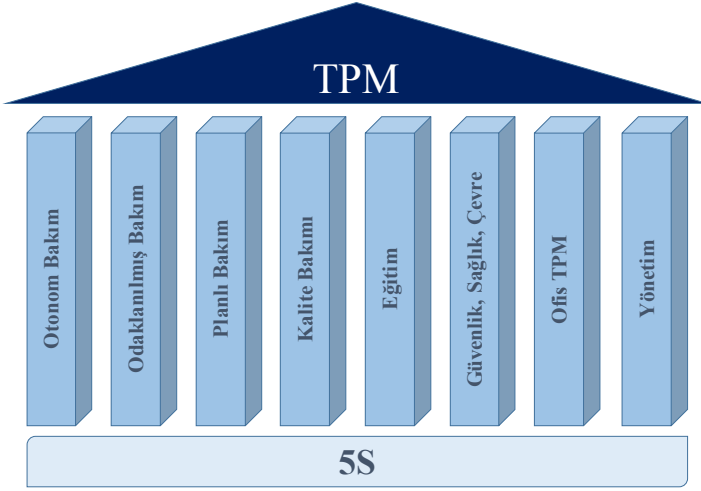
Organizasyondaki tüm çalışanların katılımı, toplam ekipman verimliliği, güvenilirlik ve emniyeti sağlamak TPM'in en büyük gereksinimleridir. Buna bağlı olarak TPM'in bir işletmede faydaları şöyle sıralanabilir (Nakajima, 1988; Ahuja ve Khamba, 2007):

- Ekonomikliği sağlamak,
- Önleyici bakımı sağlamak,
- Sürdürülebilirliği geliştirmek,
- Bakım giderlerinin öngörülmesi ve kontrolünü sağlamak,
- Operatör kaynaklı bakım giderlerini azaltmak,
- Bakım operatörü sayısını azaltmak,
- Daha güvenilir ekipman sağlamak,
- İş akışını proses boyunca daha kolay planlanmak,
- Genel işletme ve bakım giderlerini azaltmak,

- Ekipmanın kullanım ömrünü uzatmak,
- Ekipman arızalarının sayısını ve kalıp değiştirme süresini azaltmak,
- Makinelerin kullanılabilirliğini ve üretkenliğini iyileştirmektir.

TPM'in sunduğu çok sayıda faydaya rağmen, uygulama aşamasında çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Öncelikle, kurumsal kültür değişimi TPM uygulamalarının önündeki en önemli engellerden biridir. TPM, yalnızca teknik bir süreç değil, aynı zamanda çalışanların tutum ve davranışlarında köklü değişiklikler gerektiren bir yönetim felsefesidir. Bu durum, özellikle değişime direnç gösteren çalışanlar ve yöneticiler arasında uygulamanın benimsenmesini zorlaştırmaktadır. Bir diğer zorluk, üst yönetimin yeterli desteğinin sağlanamamasıdır. TPM'in etkin bir şekilde uygulanabilmesi için üst yönetimin stratejik kararlılıkla sürece liderlik etmesi ve gerekli kaynakları tahsis etmesi gerekmektedir. Yönetim desteğinin yetersizliği, TPM faaliyetlerinin sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Eğitim ve yetkinlik eksikliği de TPM uygulamalarında karşılaşılan önemli bir sorundur. Çalışanların TPM prensiplerini anlamaları ve günlük iş süreçlerine entegre edebilmeleri için kapsamlı bir eğitim programına ihtiyaç vardır. Yetersiz eğitim, yanlış uygulamalara ve motivasyon kaybına yol açabilir. Ayrıca, TPM'in başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için disiplinli bir takip ve sürekli iyileştirme süreçlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi gereklidir. Ancak, birçok işletmede bu süreçlerin sürdürülebilirliği sağlanamamakta ve başlangıçta elde edilen başarılar zamanla kaybolmaktadır. Son olarak, TPM uygulamaları sırasında performans ölçüm sistemlerinin yetersizliği de bir diğer zorluk olarak öne çıkmaktadır. Etkili performans göstergelerinin belirlenmemesi, iyileştirme alanlarının tespit edilmesini ve başarıların ölçülmesini güçleştirmektedir. Bu zorluklar, TPM'in başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için stratejik bir yaklaşım, güçlü liderlik, sürekli eğitim ve etkin iletişim gibi unsurların önemini ortaya koymaktadır.

TPM yaklaşımı, genellikle "TPM'in sütunları" olarak adlandırılan sekiz ana ilkeye dayanmaktadır. Bu kavramsal yapı, Sangameshwaran ve Jagannathan (2002) tarafından belirtildiği üzere TPM'in temelini oluşturmaktadır. Japonya Tesis Bakım Enstitüsü tarafından geliştirilen ve teşvik edilen TPM uygulamaları, iş gücü verimliliğinde artış, bakım maliyetlerinde azalma ve üretim duruşlarının süresi ile sıklığında kayda değer düşüşler sağlayan sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. TPM, bu hedeflere ulaşmak için Şekil 11'de gösterilen sekiz sütuna dayalı bir uygulama planı içermektedir.



Şekil 11. TPM modeli

Kaynak: Sangameshwaran ve Jagannathan, 2002

Şekil 11’de verilen otonom bakım, ekipman operatörlerinin kullandıkları ekipmanı adeta kendi sorumluluklarındaymış gibi sahiplenmelerini ifade eder ve bu süreçte tüm paydaşların farkındalık düzeyini dikkate alır. Bu yaklaşım, ekipmanın performansının sürdürülebilirliğini artırmayı hedefler. Kalite odaklı bakım ise, ekipmanın nihai ürün kalitesi üzerindeki etkilerini analiz ederek kritik kontrol parametrelerini tanımlar ve bu parametrelerin etkin yönetimini sağlar. İdari bakım uygulamaları, satın alma, kalite kontrol ve diğer destekleyici süreçlerle entegre çalışarak üretim sürecinde yer alan tüm bakım alanlarını kapsar. Ekipman performansına yönelik bireysel iyileştirme çalışmaları, üretim verimliliğini olumsuz etkileyen yedi israfın ortadan kaldırılmasına odaklanır. Çevre, sağlık ve güvenlik unsurları ise, olası risklerin ve maliyetlerin önceden tespit edilmesi ve etkin bir şekilde yönetilmesi için önleyici politika ve uygulamaları içerir. Ayrıca, ekipman yenileme süreçlerinde yatırımın uygulanabilirliği, önleyici bakım stratejileri ve yaşam döngüsü maliyeti analizleri önemli bir rol oynamaktadır. TPM’in etkin bir şekilde uygulanabilmesi için, bu temel unsurların birbirleriyle bütünlük bir yapı oluşturması ve sürecin sürekli, sistematik ve aşamalı bir yaklaşımla yürütülmesi gerekmektedir.

3. DEĞER AKIŞI HARİTALAMA

Değer akışı haritalama (DAH), hem malzeme hem de bilgi akışını temsil eden tüm üretim sürecini görselleştirmeye yardımcı olan bir yalın iyileştirme aracıdır. Tanımlanan değer akışı, bir ürünü, aynı kaynakları kullanan bir ürün grubunu ya da hammadde girişinden son müşteriye kadar katma değerli ve katma değersiz tüm faaliyetleri gösteren bir kâğıt kalem tekniği olarak tanımlanmaktadır. 1999 yılında Rother ve Shook tarafından “Görmeyi Öğrenmek” adlı kitabı ile literatüre tanıtılan DAH, sürecin mevcut durumunu belirlemek, israfları tespit etmek ve ideal bir gelecek durumu tasarlamak için kullanılan görsel bir tekniktir (Rother ve Shook, 1999). DAH’ın temel amacı, bir üretim veya hizmet akışındaki değer yaratan ve yaratmayan adımları ayırt ederek israfları ortadan kaldırmaktır. Bu sayede, işletmeler müşteri taleplerine daha etkin yanıt verip süreçlerini optimize edebilmektedirler. (Hines ve Rich, 2004).

DAH, stratejik planlama süreçlerinde etkili bir araç olarak kullanılmakta ve sürecin güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Yöntemin her aşamasında, “Bu adım müşteri açısından nihai ürüne değer katıyor mu?” sorusu yöneltilerek, süreç içerisindeki her faaliyetin verimliliği artırması ve israfı yok etmesi amaçlanmaktadır. İyileştirme temelli bir yaklaşım olan DAH, teslim süresinin ve ürün kalitesinin iyileştirilmesine, verimliliğin artırılmasına, hataların azaltılmasına, gereksiz stokun ve israfın ortadan kaldırılmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (Wang vd., 2020).

DAH uçtan uca akışı göstererek müşteriler için değer nasıl yaratıldığını ortaya koyan ve sorunsuz akışın sağlanmasını engelleyen israfları belirleyen bir görseldir. Değer katan adımların çoğunun makinenin içinde ve ekipmanlarda gerçekleşmesi, bunların boyutlarının çok büyük olması ve proseslerin karmaşıklığı nedenleriyle israfları görmek genellikle zordur. Akışı engelleyen israflar görüldükten sonra bunları ortadan kaldırmak için plan oluşturmak için DAH tüm verileri tek bir sayfada görmeyi kolaylaştırmaktadır. DAH daha sonra bu planların başarılı bir şekilde uygulanmasından kaynaklanacak gelecekteki durumu tanımlamak için bir şablon olarak kullanılabilir. Böylece, gelecekteki duruma yönelik eylemi motive etmek için kullanılabilir bir vizyon yaratır ve nicelikselleştirir.

DAH, tüm procesteki akışın mevcut durumunun görünebildiği, iyileştirmelerle tüm prosesin daha güçlü görünümünün de oluşturulabildiği bir ens-

trüman olarak işletmelere şu faydaları sağlamaktadır (King ve King, 2015).

- Müşteri için değer yaratan operasyonların daha anlaşılır olmasını sağlamaktadır.
- Hammaddeden nihai ürünlere malzeme akışının net bir görünümünü sağlamaktadır.
- Sorunsuz akışa yönelik engelleri, darboğazları ve israfları görünür hale getirmektedir.
- Prosesler arasındaki etkileşimlerin anlaşılması için bütünleşik bir resim sağlamaktadır.
- DAH, tüm proses alanlarını temsil eden bir ekip tarafından oluşturulursa, güçlü bir iyileştirme sağlamaktadır.
- Bir proseste ana israfı ve bunu oluşturan faktörleri vurgulamaktadır.
- İsrâfların kök nedenlerine dair bazı ipuçları sağlamaktadır.
- Bilgi akışını malzeme akışına bağlayarak bilgi işlemedeki hataların, gecikmelerin ve ek işçiliğin etkisini görünür hale getirmektedir.
- İyileştirilmiş bir gelecek durumunun tasarımı için bir şablon ve performans iyileştirmelerini ölçmek için veriler sağlamaktadır.

Sağladığı bu faydalara bağlı olarak doğru şekilde oluşturulmuş bir DAH, yalın üretim süreçlerinin kritik bir bileşenidir. Mevcut durumun detaylı bir analizini sunarak süreç akışını ve bu akışı engelleyen unsurları açıkça ortaya koyar. Aynı zamanda, israfı ve verimsiz süreçlerin temel etkilerini doğru bir şekilde yansıtarak, bu israfların kök nedenlerine dair derinlemesine bir anlayış sağlar. Gelecekteki durumun nasıl olması gerektiğine ilişkin bir vizyon oluşturulmasına zemin hazırlayan DAH, yalın üretim tekniklerinin birlikte uygulanabilmesi için bir model sunmaktadır.

Bunun yanı sıra, DAH çiziminden elde edilen sonuçlar, gerçekleştirilecek iyileştirme faaliyetlerinden hangisine öncelik verilmesi için bir çerçeve sağlar. Ayrıca, kapsamlı bir yalın dönüşüm sürecinin planlanması ve uygulanması için stratejik bir mimari oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda, DAH, herhangi bir yalın dönüşüm sürecinde gerçekleştirilecek ilk teknik analiz olmalı ve organizasyonel yapılandırma ile ekip oluşturma süreçleri tamamlandıktan hemen sonra başlatılmalıdır.

3.1 Değer Akış Haritalama Evrensel Sembolleri

DAH resmedilirken, süreçleri, malzeme ve bilgi akışını görselleştirmek için çeşitli semboller kullanılmaktadır. Bu semboller, yalın üretim felsefesi çerçevesinde sürecin analiz edilmesini, israfların belirlenmesini ve iyileştirme fırsatlarının ortaya konmasını sağlamaktadır (Rother ve Shook, 1999). DAH sembolleri, üretim sistemlerinde standart bir dil oluşturarak süreçler arasındaki etkileşimi anlamayı kolaylaştırmaktadır (Hines ve Rich, 2004). Şekil 12’de verilen DAH’ta kullanılan evrensel semboller, süreçleri görselleştirerek israfların ve darboğazların belirlenmesini kolaylaştırır. Bu sayede işletmeler, yalın üretim prensipleri doğrultusunda süreçlerini sürekli iyileştirerek daha verimli ve rekabetçi hale gelme fırsatı bulmaktadır (Liker, 2004).

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
	Tedarikçi - Müşteri		Zaman Ekseni
	Tedarikçi – Müşteri Programı		Proses Bilgi Kutusu
	Problem – İsrif (Kaizen flaş)		Fiziksel Çekme
	Yazılım		Süpermarket
	Lojistik - Sevkiyat		Elle Taşıma
	Forklift		Emniyet Stoku
	Elektronik Bilgi Akışı		JIS (Tam sırasında sevkiyat) Sinyali
	Stok		Manuel Bilgi Akışı
	Operatör		FİFO

Şekil 12. DAH evrensel sembolleri

(Kaynak: Rother ve Shook, 1999)

Şekil 12’de verilen; DAH’ta kullanılan semboller temel olarak üç ana kategoriye ayrılmaktadır:

- Malzeme Akış Sembolleri
- Bilgi Akış Sembolleri
- Süreç Sembolleri

Malzeme akış sembolleri, hammaddelerin tedarikçiden başlayarak üretim süreci boyunca nasıl ilerlediğini, stok noktalarını ve süreç içi envanteri temsil

gösterirken, bilgi akış sembolleri sipariş, talep ve diğer iletişim süreçlerini ifade etmektedir. Süreç sembolleri ise üretim operasyonlarını, israfları ve üretim zamanlarını temsil etmektedir (Womack ve Jones, 2003; Liker, 2004).

3.1.1 Malzeme Akış Sembolleri

Malzeme akışı, tedarikçiden hammadde alımıyla başlayıp her prosesi içerecek şekilde ilerleyerek nihai ürünlerin müşteriye ulaşmasına kadar devam etmektedir. Ayrıca, akış süreci boyunca mevcut olan tüm stoklar ayrıntılı olarak gösterilmekte ve her stok depolama noktasının içerdiği malzeme miktarını sembollerin altında yazmaktadır. Bu yapı, üretim sürecinin bütüncül olarak analiz edilmesine olanak tanıyarak, süreç içindeki darboğazların ve iyileştirme alanlarının tespit edilmesini kolaylaştırmaktadır. Malzeme akışındaki semboller;

- *Müşteri sembolü* nihai kullanıcıyı ifade ederken, *tedarikçi sembolü* hammaddelerin ya da bileşenlerin kaynağını göstermektedir.
- *Stok Üçgeni*, belirli bir noktada tutulan stok miktarını ifade etmektedir. Çevrim süreleri ve envanter düzeylerinin analizinde kullanılmaktadır. İşlemler sırasındaki miktar sembolün altına yazılır.
- *Süpermarket sembolü*, üretim sürecinde belirli bir noktada kontrollü stok tutulduğunu göstermektedir.
- *Emniyet stoku sembolü*, üretimde tedarik veya üretim kesintilerine karşı bir tampon görevi gören stokları ifade etmektedir.
- *FIFO (İlk gelen ilk çıkar) sembolü*, malzeme akışının zaman sırasına göre yönetildiğini göstermektedir.
- *Lojistik – sevkiyat sembolü*, malzeme veya bileşenlerin bir noktadan diğerine taşındığını göstermekte olup tedarik zinciri süreçlerinde önemli bir bileşendir.
- *JIS sembolü*, çekme sistemine dayalı üretim yönetimi içinde önemli bir stok ve malzeme akış stratejisidir. JIT sistemiyle benzerlik gösterse de JIS, yalnızca gerekli zamanda değil, aynı zamanda doğru sırayla üretim hattına teslimat yapılmasını sağlayarak fark yaratmaktadır.
- *Elle taşıma sembolü*, genellikle küçük parçaların, kutuların veya hafif bileşenlerin kısa mesafelerde taşınmasını ifade etmektedir.

- *Forklift sembolü* ağır yüklerin veya paletli ürünlerin taşınmasını ifade etmektedir.

3.1.2 Bilgi Akış Sembolleri

Üretim sürecinde neyin, ne zaman yapılacağını belirleyen kritik bilgi akışı, sistemin etkinliğini sağlayan temel unsurlardan biridir. Bu akış, müşteriden gelen siparişlerle başlayarak, tüm önemli planlama ve zamanlama süreçleri boyunca geriye doğru izlenir ve üretim sahasına iletilen zamanlama ile kontrol sinyalleriyle tamamlanır. Genellikle bilgi akışı, malzeme akışının tersi yönde ilerler ve bu süreç, üretim sisteminin koordinasyonunu sağlamak adına büyük önem taşımaktadır. Bu yapı, üretim süreçlerinin daha verimli yönetilmesine katkıda bulunurken, kaynak kullanımının optimize edilmesine ve müşteri taleplerinin zamanında karşılanmasına olanak tanımaktadır. Bilgi akışındaki semboller;

- *Elektronik bilgi akışı sembolü*, ERP sistemleri veya e-posta gibi dijital sistemler aracılığıyla gerçekleşen bilgi aktarımını göstermektedir. Okunucu bilgi akışının yönünü göstermektedir.
- *Manuel bilgi akışı sembolü*, yazılı veya sözlü olarak gerçekleşen iletişimi ifade etmektedir. Okunucu bilgi akışının yönünü göstermektedir.
- *Yazılım sembolü*; elektronik bilgi akışı sembolüyle birlikte kullanılarak, üretim süreçlerinde sipariş yönetimi, üretim takibi, stok kontrolü ve veri analizinin nasıl gerçekleştiğini göstermektedir.
- *Fiziksel çekme sistemi sembolü*, üretimin müşteri talebine bağlı olarak gerçekleştiğini gösteren semboldür.
- *Tedarikçi – müşteri programı sembolü*, haftalık, aylık, yıllık üretim planlaması ve sipariş yönetimi süreçlerini ifade etmektedir.

3.1.3 Süreç Sembolleri

Süreç sembolleri, DAH ve diğer üretim süreçleri analizlerinde kullanılan görsel araçlardır. Bu semboller, üretim akışının daha iyi anlaşılmasını sağlamak, darboğazları tespit etmek ve süreç iyileştirme fırsatlarını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Süreç sembolleri bir araya getirildiğinde, süreçlerin daha verimli hale getirilmesi ve israfların azaltılması için kapsamlı bir analiz yapılmasına olanak tanımaktadırlar. Süreç akışındaki semboller;

- *Proses bilgi kutusu sembolü*, bir operasyonun veya iş istasyonunun varlığını göstermektedir. Bu sembol, belirli bir üretim adımının detaylarını (çevrim süresi, çalışan sayısı vb.) içermelidir.
- *Kaizen flaş sembolü*, iyileştirme gerektiren süreçleri, israfları ya da darboğaz noktalarını gösterir. Bu sembol, Kaizen çalışmalarının odaklanacağı alanları işaret etmektedir. Bu düzensiz yıldız patlamaları şeklindeki kaizen flaş sembolü, değer akışını mevcut durumdan gelecek duruma dönüştürmek için gereken makro düzeydeki iyileştirme faaliyetlerini içermektedir. İyileştirmeler yapıldıkça üzeri çizilmeli ya da gelecekteki durum haritasından kaldırılmalıdır. Kaizen flaş patlamaları ne kadar yok edilirse gelecek durum haritası o kadar yalın olacaktır.
- *Operatör sembolü*, belirli bir işlemi gerçekleştiren iş gücünü temsil etmektedir. Operatör sembolü, bir sandalyede oturan bir kişinin havadan görünümünü sembolize eder ve değer akışı içinde belirli bir işlemi gerçekleştiren çalışan sayısını belirtmek için kullanılır. Simge genellikle temsil ettiği işlem bloğunun alt kısmına yerleştirilir.
- *Zaman eksenli sembolü*, üretim sürecinde geçen toplam süreyi görselleştirmek için kullanılmaktadır. Haritalar arasındaki zamanların kıyaslanmasında kullanılarak verimliliği en net gösteren semboldür. İsrafın etkisini gösterirken nedenini göstermeyen haritaların en alt kısmında kare dalga biçiminde bir çizgidir.

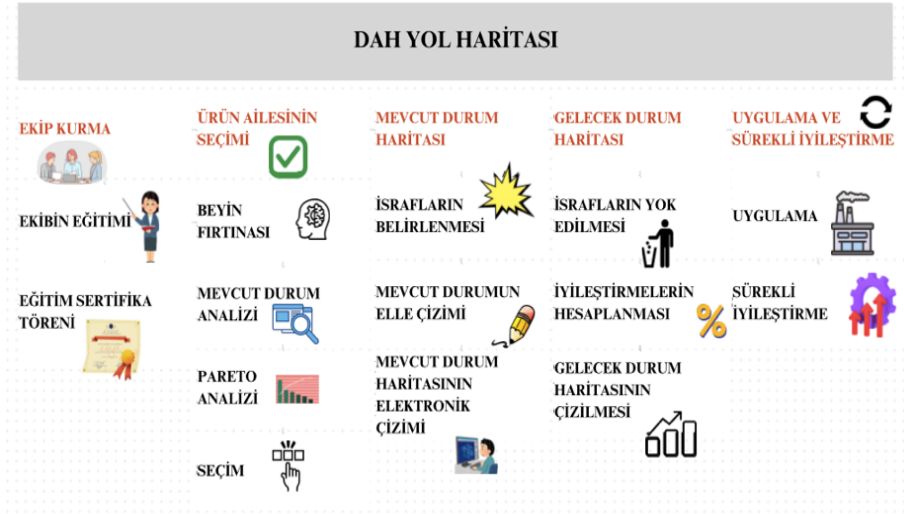
Mevcut ve gelecek durum haritası bu sembollerle ekip tarafından önce manuel olarak sonrasında bilgisayar ortamında çizilmektedir. Her harita bir sayfa olacak şekilde toplamda iki adet resim elde edilecektir. Bu iki görüntü arasındaki farklılık iyileştirme oranını, yapılan tasarrufları ve gelecek çalışmalara yol göstermektedir.

3.2 Değer Akış Haritalama Yol Haritası

“Görmeyi Öğrenmek” kitabında Rother ve Shook (1999), DAH’ın proses te yürüyerek ve ilerledikçe bir not defterine çizerek oluşturulmasını önermektedir. Bir işletmede bunu yapmak çok zor olduğu için DAH çizimi için bir ekip kurulması gerekmektedir. Genellikle DAH’ın elektronik ortama aktarılmadan önce elle taslak olarak evrensel sembollerle çizilmesi önerilmektedir. Elle çizildiğinde, haritanın değiştirilmesinin kolay olması nedeniyle ekibin hataları

düzeltilmesi kolay olmaktadır. Elektronik versiyon ise haritanın kalıcı, başka bir deyişle bir sonraki değişiklik yapıldığında kadar kalıcı halindedir (King ve King, 2015).

Tüm israfı yok etmek pek olası olmadığı için değerli faaliyetlerin nerede, değersiz faaliyetlerin nerede olduğunu görmek için DAH çizilmelidir. Böylece optimum çevrim süresine ve sürekli bir akışa sahip olunmadığını görmeyi de sağlayacaktır. Mevcut durumu olduğu gibi görüntüleyen DAH, daha önemli sorunlar tarafından maskelenen ancak artık görünürlüğü artan israfı da ortaya çıkarabilmektedir. DAH'ın sürekli iyileştirmedeki yol haritası Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 13. DAH yol haritası

Şekil 13'de verilen yol haritası ile DAH'ın basit sistematığı gösterilmiştir. Yol haritası incelendiğinde yapılan işlemlerin akışı şu şekildedir:

- Ekibin kurulması
- Ekibin eğitimi
- Eğitim sertifika töreni
- Beyin fırtınası
- Mevcut durumun analizi
- Pareto analizi
- Seçim

- İsrâfların belirlenmesi
- Mevcut durum haritasının elle çizimi
- Mevcut durum haritasının elektronik ortamda çizimi
- İsrâfların yok edilmesi
- İyileştirmelerin hesaplanması
- Gelecek durum haritasının elektronik ortamda çizimi
- Uygulama
- Sürekli iyileştirme.

Hazırlanan DAH yol haritası, sistematik bir yaklaşım sunarak süreç iyileştirme çalışmalarını aşamalı ve yapılandırılmış bir biçimde ele almaktadır. İlk aşamada, ekip kurma sürecine odaklanılarak ekip üyelerinin eğitimi ve sertifikalandırılması sağlanmaktadır. Bu, DAH sürecinin doğru anlaşılmasını ve etkin bir şekilde uygulanmasını garanti altına almak için kritik bir adımdır. Ürün ailesinin seçimi aşamasında ise beyin fırtınası, mevcut durum analizi ve Pareto analizi gibi yöntemlerle en uygun ürün ailesi belirlenmekte ve böylece süreç iyileştirme çalışmalarının en fazla katma değer sağlayacak alanlara yönlendirilmesi amaçlanmaktadır. Mevcut ve gelecek durum haritalama aşamalarında, öncelikle süreçteki israfların belirlenmesi ve analiz edilmesi hedeflenmektedir. Mevcut durumun elle ve elektronik olarak çizilmesi, sürecin görselleştirilmesini sağlayarak darboğazların ve gereksiz faaliyetlerin tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Gelecek durum haritası oluşturulurken israfların ortadan kaldırılması ve iyileştirmelerin hesaplanması sürecin etkinliğini artırmaya yönelik kritik adımlardır. Son olarak, uygulama ve sürekli iyileştirme aşaması, belirlenen değişikliklerin hayata geçirilmesini ve sürekli gelişim anlayışı çerçevesinde izlenmesini içermektedir. Bu yapılandırılmış yol haritası, organizasyonların süreçlerini yalın üretim ilkeleri doğrultusunda optimize etmelerine katkı sağlayacak bir çerçeve sunmaktadır. DAH mevcut durumu analiz etmek ve israfları ortadan kaldırarak daha verimli bir gelecek durum tasarlamak amacıyla sıralanan aşamalarının detayları şu şekildedir (Rother ve Shook, 1999; Tapping ve Shuker, 2003):

3.2.1 Ekip Kurulması

İyileştirme yapılması için işletme çalışanlarından DAH tekniğini uygulayabilecek uzmanlık bilgisine sahip bireylerden ortalama sekiz kişilik ekip

oluşturulur. Takıma tüm bilgiler, belgeler, yalın üretim ve DAH ile ilgili eğitim verilmelidir. Eğitimi tamamlayan ekip üyelerine sertifika töreni yapılarak, DAH açılış toplantısı ile çalışmalar başlar. Bu adımın amacı, en yüksek verimlilikle prosese DAH'ın uygulanmasını sağlayacak bir ekip kurmaktır.

3.2.2 Ürün Ailesinin Seçimi

Ürün ailesi, benzer üretim süreçlerine, benzer bileşenlere ya da benzer son ürün özelliklerine sahip ürün gruplarından oluşmaktadır. DAH için uygun bir ürün ailesinin seçilmesi, yalın üretim ilkelerinin etkili bir şekilde uygulanabilmesi ve israfların azaltılabilmesi açısından önemlidir. Doğru ürün ailesinin belirlenmesi, yalın prensiplerin etkili bir şekilde uygulanmasını ve israfların en aza indirilmesini sağlamaktadır. Ürün ailesi seçilirken işletmedeki en problemliler (israf kaynağı) prosesleri ekip tarafından beyin fırtınası toplantıları ile belirlenebilir. Değer akışı süreçlerinde israf unsurlarının belirlenmesi amacıyla, mevcut durum haritalaması gerçekleştirilmeden önce ekip üyelerinin katılımıyla beyin fırtınası oturumları düzenlenmesi önem arz etmektedir. Bu oturumlar, ekip üyelerinin süreçle ilgili algıladıkları problemler, darboğazlar ve israf noktaları üzerinde sistematik bir şekilde fikir alışverişinde bulunmalarına olanak tanır. Farklı bakış açılarını ortaya çıkararak kolektif bir anlayış geliştirilmesini sağlayan bu yöntem, süreçle ilgili önyargıların ve varsayımların sorgulanmasına da katkı sunar. Bu bağlamda, beyin fırtınası oturumları aracılığıyla elde edilen bulgular, mevcut durumun daha bütüncül bir yaklaşımla analiz edilmesine zemin hazırlar ve sonraki iyileştirme faaliyetlerinin etkinliğini artırır. Pareto analizi, 5 neden analizi ya da balık kılıçığı diyagramı problemlerin saptanmasında kullanılan metodolojilerdendir. Problemler saptandıktan sonra ve harita çizilmeden önce toplanması gereken verilerin listesi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. DAH veri listesi**Müşteri Verileri**

Müşteri kimdir?

Müşterinin talebi nedir? (Hangi ürün ailesi, sipariş miktarı)

Harita hangi ürün için çizilecek? Ürünün birden çok müşterisi varmı?

Müşteri ne sıklıkla sipariş veriyor?

Müşteri tahmini sipariş miktarını gönderiyormu? (1 aylık kesin, 3 aylık tahmini vb.)

Müşteri teslimat aralığı nedir?

Tedarikçi Verileri

Tedarikçi kimdir?

Ne sıklıkla sipariş veriliyor?

Sipariş tahmini vermeniz gerekiyor mu? (1 aylık kesin, 3 aylık tahmini vb.)

Tedarikçi ne sıklıkla teslimat yapıyor?

Değer Akışı Verileri

Kaç vardiya çalışıyor?

Günlük mola süreleri ne kadar?

Vardiya sırasında temizlik ya da bakım yapılıyor mu? Süreleri belli mi?

Değer Akışı Kontrol Verileri

Üretimi kim kontrol ediyor?

Üretimi kontrol eden otomatik sistemler var mı?

ERP sistem kullanılıyor mu?

Kontrol raporları doğrulaması yapılıyor mu?

Kontroller hangi periyotlarda yapılıyor?

Tablo 5’te verilen liste, değer akışını haritalamadan önce yanıtlanması gereken, kategorilere ayrılmış tipik veri gereksinimlerinin örnek bir kümesini sağlamaktadır (Nash ve Poling, 2011).

3.2.3 Mevcut Durum Haritasının Oluşturulması

Bu aşamada, tedarikçiden nihai müşteriye kadar olan tüm süreçler detaylı olarak DAH’ın evrensel sembolleri ile çizilmektedir. Malzeme ve bilgi akışının mevcut durumu, israfların ve darboğazların tespit edilmesi açısından kritik önem taşımaktadır. Mevcut durum haritasının çizilmesi ile tedarikçiden müşteriye mevcut durumdaki bilgi akışı, malzeme akışı, stok, çalışan ve makine

vb. proseslerin temsili olarak nasıl gerçekleştirildiğine dair anlık bir görüntü alınmış olunur (Singh ve Sharma, 2009). Bu adımda prosesdeki değer oluşturan-oluşturmayan tüm faaliyetler tespit edilerek hem proses analizi hem de israf takibi yapılmış olmaktadır (Barber ve Tietje, 2008). Ekibin mevcut durumu çizmeden önce toplanması gereken verilerin listesi Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Mevcut durum haritası veri listesi

Proses ile İlgili Sorular

Prosesin başlangıcı ve bitiş noktası nedir?

Proses adımları nelerden oluşuyor?

Proses adımları arasında bilgi ve malzeme nasıl akıyor?

İş akışında herhangi bir bekleme, gecikme veya yavaşlama yaşanıyor mu?

Proses adımları arasında veriler, belgeler veya dijital araçlar kullanılıyor?

Zamanla İlgili Sorular

Her bir proses adımı ne kadar sürüyor? (Çevrim süresi)

Bekleme süreleri ne kadar?

Katma değer yaratan ve yaratmayan işlemler nelerdir?

Proseste darboğaz oluşturan noktalar nerelerdir?

İsraf Belirleme Soruları

Proseste gereksiz adımlar veya tekrar eden işler var mı?

Fazla üretim, bekleme, gereksiz taşıma gibi israflar nerelerde görülüyor?

Hangi adımlar müşteri için doğrudan bir değer yaratmıyor?

Proseste hatalara, ek işçiliğe veya kalite sorunlarına yol açan faktörler neler?

Operatörlerle İlgili Sorular

Proseste kimler çalışıyor?

Sorumlular kim?

Çalışanlar prosesle ilgili ne tür zorluklar yaşıyor?

Bilgi ve iletişim akışında sorun yaşanıyor mu?

İş yükü dengeli mi, yoksa bazı operatörlerin iş yükü fazla mı?

Müşteri ve Değer ile İlgili Sorular

Müşterinin bu prosesten beklediği temel değer nedir?

Müşteri talebi ne sıklıkla değişiyor ve proses buna nasıl uyum sağlıyor?

Proses müşteri beklentilerini karşılamakta ne kadar başarılı?

Hangi adımlar müşteri memnuniyetine doğrudan katkı sağlıyor?

Verimlilik ile İlgili Sorular

Proses performansını ölçmek için hangi ölçüler kullanılıyor?
 Performans verileri düzenli olarak toplanıyor ve analiz ediliyor mu?
 Proseste verimlilik, kalite ve teslimat süreleri nasıl takip ediliyor?

Tablo 6’da verilen liste, mevcut durum değer akışı haritası çizilmeden önce yanıtlanması gereken örnek sorular verilmiştir.

3.2.4 Gelecek Durum Haritasının Oluşturulması

Bu adımda mevcut durum haritasından elde edilen bulgular doğrultusunda, iyileştirmelerin nereye ve nasıl yapıp israfların ortadan kaldırıldığı yalın bir sistem tasarlanmaktadır. Bu aşamada, çekme sistemi, sürekli akış, tüketici taleplerine dayalı üretim gibi yalın prensipler uygulanarak gelecekteki ideal durum oluşturulur (Hines vd., 2004). Gelecek durum haritası, faaliyetlerin nasıl gerçekleştirilmesi gerektiğini, değer nasıl artırılabilirliğini ve operasyonlardaki israfların nasıl ortadan kaldırılacağını ortaya koyan bir strateji dokümanı niteliğindedir. Bu adımın sonuna gelindiğinde mevcut ve gelecek durum haritası olmak üzere birer sayfalık iki adet görüntü elde edilecektir (Lin, 2004). Bu iki görüntü arasındaki farklılık iyileştirme oranını göstermektedir. Gelecek durum haritası çizilmeden önce toplanması gereken verilerin listesi Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Gelecek durum haritası veri listesi

Değer ve Müşteri ile İlgili Sorular

Bu proseste müşteriye gerçekten değer katan adımlar hangileridir?

Müşterinin beklentileri, ihtiyaçları ve talepleri nelerdir?

Proses, müşteri talebine daha hızlı ve etkili nasıl yanıt verebilir?

Müşteri için kritik olan kalite unsurları nelerdir?

Proses Akışı ile İlgili Sorular

Proses daha akıcı ve kesintisiz hale nasıl getirilebilir?

Hangi adımlar birleştirilebilir veya ortadan kaldırılabilir?

Akışın tıkanmasına neden olan darboğazlar nasıl giderilir?

Bilgi ve malzeme akışı nasıl senkronize hale getirilebilir?

Zaman ve Verimlilik Soruları

Bekleme süreleri nasıl minimize edilebilir?

Çevrim süresi nasıl kısaltılabilir?

Prosesteki gereksiz hareketler/taşımalar ve ek işçilikler nasıl ortadan kaldırılır?

Teslim süresini azaltmak için neler yapılabilir?

İsrafın Azaltılması İle İlgili Sorular

Prosesteki değer katmayan faaliyetler hangileridir?

Prosesteki değer katmayan faaliyetler nasıl ortadan kaldırılabilir?

Fazla üretim, fazla stoku, bekleme, ek işçilik gibi israflar nasıl engellenebilir?

Prosesteki hata oranlarını düşürmek için hangi önlemler alınabilir?

Ek işçilik ve kalite problemleri nasıl ortadan kaldırılabilir?

İnsan ve Kaynak Yönetimi Soruları

İş gücü daha etkin nasıl kullanılabilir?

Ekipler arası iş birliği ve iletişim nasıl geliştirilebilir?

Çalışanların yetkinlikleri prosesin verimliliğini artırmak için nasıl desteklenebilir?

Performans ve Sürekli İyileştirme Soruları

Süreç performansını izlemek için hangi ölçümler ve göstergeler (KPI'lar) kullanılmalıdır?

Sürekli iyileştirme kültürü nasıl teşvik edilebilir?

Gelecek durumun haritası tasarımı nasıl olmalıdır?

Gelecek durum haritasında ideal durum yakalandı mı?

Gelecek durum haritasında hala iyileştirilmesi gereken kaizen flaş kaldı mı?

Mevcut kaynaklarla bu iyileştirmeleri nasıl uygulayabiliriz?

Gelecek durum haritasında öncelikli olarak hangi değişiklikler yapılmalıdır?

Tablo 7’de verilen liste, gelecek durum değer akışı haritası çizilmeden önce yanıtlanması gereken, kategorilere ayrılmış örnek listedir.

3.2.5 Uygulama ve Sürekli İyileştirme

Gelecek durum haritasını gerçeğe dönüştürmek için adım adım bir uygulama planı hazırlanmalıdır. Plan uygulamaya konulduktan sonra, sürekli iyileştirme yaklaşımı ile gelişim sürekli izlenmeli ve yeni israflar ortaya çıktıkça iyileştirme çalışmaları devam ettirilmeli gerekirse DAH süreci yeniden başlatılmalıdır.

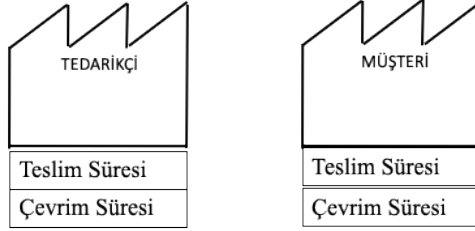
Adımları tamamlanan, üretim proseslerinin mevcut ve gelecekteki durumunu görsel olarak sunan DAH, üretimin yalınlaşmasında, israfların ve iyileştirmelerin görüntülenmesinde etkili yöntemlerden birisidir (Duggan, 2002).

3.3 Değer Akış Haritası Çizimi

DAH'ın süreç boyunca yürüyerek ve gözlemler doğrultusunda bir not defterine çizilerek oluşturulması önerilmektedir. Ancak, işletmelerde bu yöntemin uygulanması pratik zorluklar içerebileceğinden, DAH çiziminin bir ekip tarafından gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Rother ve Shook, 1999). Üretimdeki operatörler, mühendisler, kalite personeli, bakım ya da lojistik çalışanlarından oluşan bir ekip ilk olarak haritanın malzeme akış taslağını elle çizilebilecek yüzeye asarak A3 boyutunda bir kâğıda oluşturmalıdır. Daha sonra genel prosesin bilgi akışının taslağı eklenmeli ve son olarak süreç sembolleri çizilerek mevcut durum haritalanmak üzere taslak hazırlanmalıdır. Ekip toplantıları sonucu gelen verilerin yoğunluğuna göre elle çizilen taslaklar-yazılar çok özensiz ve okunması zor olabilir. Bu yüzden üstünde mutabakat sağlanan haritalar okunaklı ve güvenli olması için elektronik ortamda çizilmelidir.

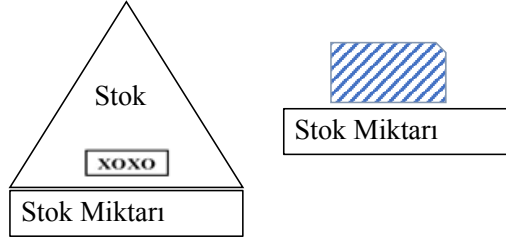
DAH çizilirken semboller aşağıdaki örnekteki gibi doldurulur;

- *Tedarikçi – müşteri sembolü*; bu sembolün çizimi basit ve kolaydır. Kâğıdın sol tarafına tedarikçi sembolü, sağ tarafına müşteri sembolü eklenir. Teslim süreleri ve çevrim süreleri Şekil 14'deki gibi yazılıp, vardiya sayısı, çalışan operatör sayıları eklenebilir.



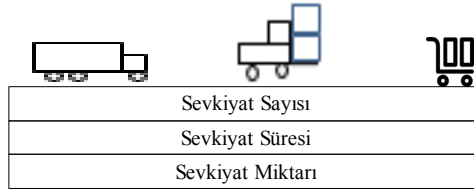
Şekil 14. *Tedarikçi-müşteri sembolü*

- *Stok üçgeni sembolü*; en önemli israf kaynaklarından biri olduğu için görünür bir şekilde sunumu önemlidir. FIFO stok giriş çıkışını ifade ettiği için, emniyet stoku bir stok maliyeti olduğu için, süpermarket stok besleme olduğu için birlikte çizilebilir. Stok üçgeni hammadde, yar-mamul ve nihai ürün için kullanılabilir. Bu sembol proseste malzeme akışında her yerde görünebilir. Stok üçgeni görünümü Şekil 15'de verilmiştir.



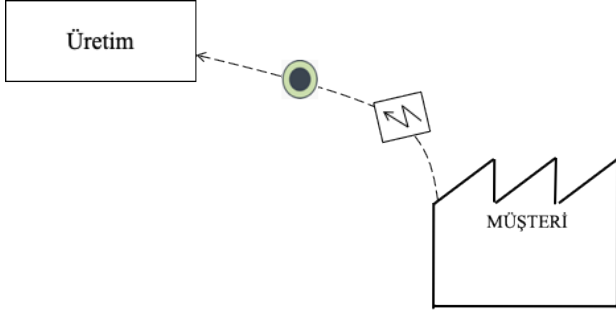
Şekil 15. Stok üçgeni sembolü

- *Sevkiyat sembolleri*; hammaddelerin tedarikçilerinden sevkiyatından, depolara teslimatına, dağıtım merkezlerine ve müşterilere yapılan teslimatlarına kadar tüm taşıma adımları için DAH’da Şekil 16’da verilen semboller kullanılır.



Şekil 16. Sevkiyat sembolleri

- *JIS sembolü*, çekme sistemine dayalı üretim yönetimi içinde önemli bir stok ve malzeme akış stratejisi olduğu için müşteriden gelen, ya da yazılım sistemlerinden gelen bir sinyal olarak geçerli olduğu yere entegre edilebilir.
- *Elektronik bilgi akışı ve manuel bilgi akışı sembolü*, ERP sistemleri veya e-posta gibi dijital sistemler aracılığıyla gerçekleşen bilgi aktarımını gösteren ok sembol Şekil 17’deki gibi gösterilebilir. *Yazılım sembolü* de elektronik bilgi akışı sembolüyle birlikte kullanılarak nerede yazılım programı kullanıldığını gösterebilir.



Şekil 17. Elektronik-manuel bilgi akışı sembolleri

- *Fiziksel çekme sistemi sembolü*, müşteriden tedarikçiye akışı gösteren her yere çizilebilir.
- *Tedarikçi – müşteri programı sembolü*, haftalık, aylık, yıllık üretim planlaması Şekil 18’deki gibi gösterilir. Tedarikçi ve müşteri sembollerinin üstüne başka bir deyişle sayfanın soluna ve sağına çizilmesi uygundur.



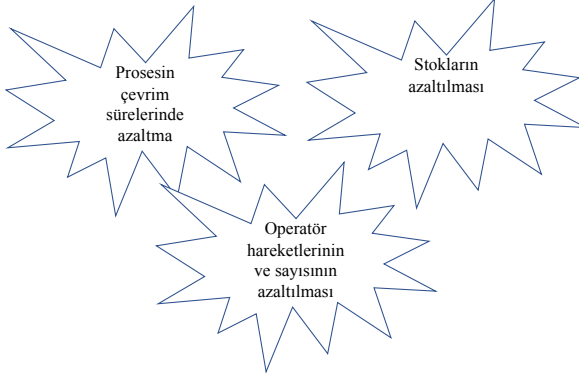
Şekil 18. Tedarikçi-müşteri programı sembolü

- *Proses bilgi kutusu sembolü*, bir operasyonun veya iş istasyonunun varlığını gösteren bu sembol haritanın prosesiyle ilgili tüm verileri vermektedir. Şekil 19’daki gibi gösterilmektedir.

Proses Adı
Toplam Süre
Çevrim Süresi
Vardiya Sayısı
Operatör Sayısı 

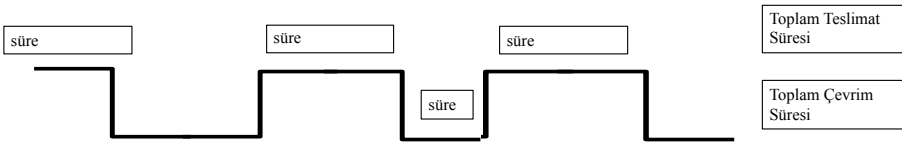
Şekil 19. Proses bilgi kutusu sembolü

- *Kaizen flaş sembolü*, iyileştirme gerektiren süreçleri, israfları ya da darboğaz noktalarını gösteren sembol ne kadar az ise işletme o kadar yalındır denebilir. Kaizen flaş sembolü israfın olduğu yere çizilir ve örnekleri Şekil 20'deki gibidir.



Şekil 20. Kaizen flaş sembolü

- *Operatör sembolü*, genellikle temsil ettiği işlem bloğunun alt kısmına yerleştirilerek operatör sayısı yazılır.
- *Zaman eksenı sembolü*, üretim sürecinde geçen toplam süreyi görselleştirmek için kullanılır. Mevcut durumla, gelecek durum haritasının zaman eksenindeki toplam süre ve/veya çevrim süresi farkı iyileştirme oranını göstermektedir. Şekil 21'deki gibi haritanın en altında görüntülenir.



Şekil 21. Zaman eksenı sembolü

DAH'ın pratik uygulamasını daha iyi anlamak için bir örnek çizim sunulacaktır. Söz konusu örnek, üretim süreçlerinde karşılaşılan tipik darboğazları, gereksiz bekleme ve iyileştirme alanlarını tespit etmeye yönelik olarak hazırlanmış olup Şekil 22'de verilmiştir.

Şekil 22’de sunulan mevcut durum haritası örneği, yalnızca bir görsel temsil olmanın ötesinde, veri odaklı bir analiz ve karar verme aracı olarak da ele alınmalıdır. Örnek çizimde, belirlenen süreç için mevcut durum haritası çıkarılmış olup Kaizen flaşlarda yazılı olan israflar yok edildiğinde gelecek durum haritası Kaizen flaşların olmadığı hali olarak çizilmelidir. Ardından, iki harita arasındaki fark iyileştirmeleri gösterecektir.

4. DEĞER AKIŞ HARİTALAMANIN DİJİTALLEŞMESİ

Günümüz üretim endüstrisi, son derece rekabetçi pazar koşullarında sürdürülebilirliğini sağlamak ve üretim süreçlerinde etkin kaynak kullanımıyla rekabet avantajı elde etmek adına hızla gelişmektedir. Modern işletmeler, teknolojik yeniliklerin sunduğu avantajları benimseyerek, kaynakların verimli kullanımını artırmayı ve operasyonel standartlarını yükseltmeyi amaçlamaktadır. Küçük ölçekli sanayi işletmeleri ise üretim kapasitelerini ve verimliliklerini artırarak, daha geniş bir müşteri kitlesine hizmet sunan büyük organizasyonlara dönüşmektedir. Endüstriyel süreçlerdeki sürekli değişim, üretim verimliliğinin ölçülmesi için yeni yaklaşımların benimsenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, üretim sistemlerinin performansını değerlendirmek için makinelerin etkinliği, insan bilişsel süreçleri, doğrulama sürecinde harcanan zaman ile proje ve iletişim sistemlerinin uygulanmasına yönelik süre gibi unsurlar dikkate alınmaktadır. Bu unsurların ölçülmesi ve iyileştirilmesi, üretim süreçlerinin daha verimli ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasına katkı sağlamaktadır.

Endüstri 4.0, üretim süreçlerinde dijitalleşme ve akıllı teknolojilerin entegrasyonu yoluyla verimlilik, üretkenlik, dayanıklılık ve sürdürülebilirliği önemli ölçüde artırmaktadır. Akıllı fabrikalar ve tedarik zincirleri, gelişmiş bağlantı teknolojileri sayesinde üretkenliği artırırken, maliyetleri düşürmek, kârlılığını yükseltmek ve operasyonel kesinti sürelerini minimize etmek mümkün hale gelmektedir. Bu dönüşüm, üretim sistemlerinin daha esnek ve özelleştirilebilir hale gelmesini sağlarken, karar alma süreçlerinde merkezi olmayan bir yaklaşım benimsenmesine de olanak tanımaktadır. Endüstri 4.0'ın sunduğu temel avantajlardan biri, yüksek seviyede otomasyon ve bilgi teknolojisi entegrasyonu sayesinde üretim süreçlerinin kendi kendini yapılandırabilme yeteneğini kazanmasıdır. Bu süreçte, robotik sistemler, yapay zekâ (Artificial Intelligence – AI) destekli karar mekanizmaları, nesnelerin interneti (Internet of Things - IoT) ve büyük veri analitiği gibi yenilikçi teknolojiler kritik bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla, Endüstri 4.0'ın temel misyonuna ulaşabilmek için üretim sistemlerinin otomasyon, çeşitli ileri teknolojiler ve üretim bileşenleriyle bütünleşik bir yapıya sahip olması gerekmektedir (Stock ve Seliger, 2016). Bu bağlamda, üretim süreçlerinde etkinliği artırmaya yönelik yalın üretim teknikleri önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle DAH, üretim hatlarında israfı en aza indirerek daha verimli sistemlerin oluşturulmasına katkı

sağlayan etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. DAH, üretim süreçlerinin tüm aşamalarını detaylı bir şekilde analiz ederek darboğazları belirlemekte ve bu süreçlerin optimize edilmesini sağlamaktadır. Böylece, üretim hatlarında daha etkin bir kaynak yönetimi sağlanarak süreçlerin sürekliliği ve sürdürülebilirliği artırılabilir.

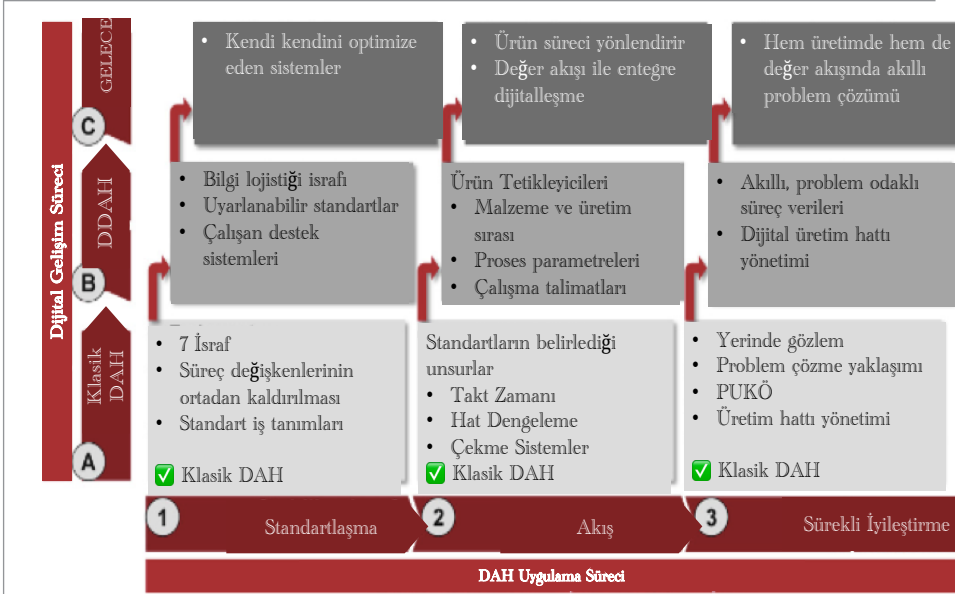
Geleneksel DAH, belirli bir zaman dilimi içerisinde üretim sürecinin görselleştirilmesine olanak tanıyan bir yöntemdir. Ancak bu yaklaşım, üretim hattındaki anlık değişiklikleri gerçek zamanlı olarak yansıtamaz ve süreç içerisinde meydana gelen dalgalanmaları dinamik bir şekilde takip edemez. DAH, statik bir analiz aracı olarak işlev görmekte ve üretim sürecine dair yalnızca belirli bir zaman aralığında toplanan veriler üzerinden değerlendirme yapılmasına imkân tanımaktadır. Bu durum, üretimdeki ani değişimlere hızlı yanıt verme yeteneğini sınırlamakta ve operasyonel verimliliğin artırılmasına yönelik iyileştirme çalışmalarında gecikmelere neden olabilmektedir. Günümüzde, üretim ortamlarının karmaşıklığının ve değişkenliğinin artması, geleneksel DAH'ın bu sınırlamalarını ortadan kaldıracak yeni yaklaşımların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Endüstri 4.0 çerçevesinde ortaya çıkan akıllı üretim sistemleri, bu ihtiyaca yönelik yenilikçi çözümler sunmaktadır. Özellikle IoT, büyük veri analitiği ve yapay zekâ destekli veri işleme teknolojileri, üretim süreçlerinin daha esnek ve gerçek zamanlı olarak yönetilmesine katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, Endüstri 4.0 ile entegre edilen DAH, akıllı sensörler ve gelişmiş veri toplama sistemleri aracılığıyla üretim sürecinin dinamik bir görünümünü sağlayabilmektedir. Gerçek zamanlı veri işleme kapasitesi, üretim hattındaki darboğazların, israfın ve performans düşüklüğünün anlık olarak tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Böylece, işletmeler üretim süreçlerine yönelik anlık kararlar alabilir, sistemdeki verimsizlikleri hızla giderebilir ve süreç iyileştirme çalışmalarını daha verimli bir şekilde sürdürebilirler.

Endüstri 4.0 ile entegre bir DAH sistemi, işletmelere yalnızca üretim süreçlerini görselleştirmekten öte, gerçek zamanlı performans analizi ve veri odaklı karar mekanizmaları geliştirme fırsatı sunmaktadır (Ramadan vd., 2017). Bu dönüşüm, üretim süreçlerinin daha verimli, esnek ve sürdürülebilir hale gelmesini sağlarken, işletmelerin rekabet gücünü artırarak Endüstri 4.0'ın temel hedefleri doğrultusunda gelişmelerine katkıda bulunmaktadır.

4.1 Dijital Değer Akış Haritalama

Geleneksel DAH yönteminin uygulanması, büyük ölçüde manuel veri toplama ve analiz süreçlerine dayanmaktadır. Bu durum hem zaman alıcı hem de yüksek maliyetli bir süreç oluşturmakta ve aynı zamanda çalışanların giderek daha karmaşık ve dinamik üretim ortamlarında deneyimli olmasını zorunlu kılmaktadır (Longo vd., 2017). Ancak manuel yöntemlerin sınırlamaları, karar alma süreçlerinde farkındalığın azalmasına, yanıt sürelerinin uzamasına ve iyileştirme fırsatlarının kaçırılmasına yol açabilmektedir. Son yıllarda, IoT, akıllı sensörler ve büyük veri analitiği gibi bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, üretim sektöründe dijitalleşme sürecini hızlandırmıştır. Bu teknolojiler, üreticilere üretim süreçlerini daha akıllı ve esnek hale getirme imkânı sunarken, karar alma mekanizmalarının da daha veri odaklı hale gelmesini sağlamaktadır.

Dijitalleşmenin DAH üzerindeki etkileri yalnızca anlık veri izleme ile sınırlı kalmayıp, merkezi olmayan karar alma mekanizmaları ve öngörücü analiz yetenekleri gibi ileri düzey teknolojileri de kapsamaktadır. Özellikle yapay zekâ ve makine öğrenmesi algoritmaları, geçmiş verilerden elde edilen bilgiler doğrultusunda üretim süreçlerini optimize etmekte ve karar alma süreçlerini daha öngörülebilir hale getirmektedir. Dijitalleşme sayesinde, üretim süreçlerindeki aksaklıklar daha hızlı tespit edilerek anlık müdahaleler gerçekleştirilebilmekte ve operasyonel verimlilik önemli ölçüde artırılabilir. Bu dönüşüm, yalın üretim araçlarının uygulanmasına yönelik yeni yaklaşımlar geliştirilmesine de olanak tanımaktadır. Özellikle DAH gibi süreç analiz araçlarının dijitalleşme ile birleşmesi, başka bir deyişle dijital değer akış haritalama (DDAH) üretim hatlarının daha bütüncül ve gerçek zamanlı olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. DDAH, geleneksel DAH yönteminin dijital araç ve akıllı teknolojiler ile entegrasyonu sonucunda geliştirilmiş, üretim süreçlerinin dijitalleşmesine katkı sağlayan yenilikçi bir yaklaşımdır (Sullivan vd., 2022). Böylece, işletmeler kaynaklarını daha etkin yöneterek üretim süreçlerinde sürdürülebilirliği artırabilir ve küresel rekabet avantajı elde edebilir. Şekil 23'te DAH'ın dijital gelişim süreci verilmiştir.



Şekil 23. DAH'ın dijitalleşmesi

Kaynak: Meudt vd., 2017

Bu model, yalın üretim ile dijital dönüşümün entegrasyonunu sağlamaya yönelik bir model sunmaktadır. Geleneksel yalın üretim ilkeleri ile dijital destek sistemleri bir araya getirilerek kendi kendini optimize eden üretim sistemlerine geçiş yapılması amaçlanmaktadır. Böylece, üretim süreçlerinde esneklik, verimlilik ve sürekli iyileştirme sağlanarak rekabet avantajı elde edilmektedir.

DAH, üretim süreçlerinde teslim süresi, çevrim süresi, takt süresi, stoklar ve verimlilik gibi kritik performans göstergelerinin değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır (Wang vd., 2020). Ancak, DAH'ın etkin bir şekilde uygulanması, israf ve darboğazları tespit etmesine rağmen, kök nedenlerin belirlenmesi açısından bazı sınırlamalara sahiptir. Geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen analizler, yerinde incelemeler ve manuel veri değerlendirme gerektirdiğinden, özellikle dinamik ve karmaşık üretim ortamlarında karar alma süreçlerinin verimliliğini düşürebilmektedir. Dijital teknolojiler, bu sınırlamaların aşılmasına katkı sağlayarak üretim sistemlerinde daha akıllı ve esnek yaklaşımlar geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Endüstri 4.0'ın sunduğu dijitalleşme ve otomasyon olanakları, DAH'ın daha etkin kullanılmasını mümkün kılmakta ve manuel süreçlere duyulan ihtiyacı azaltmaktadır. Bu bağlamda, yalın üre-

tim süreçlerinde karar almak, verimliliği artırmak ve akış verilerini daha etkin kullanmak amacıyla, DDAH'ın sistematik bir çerçevesinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çerçeve, IoT, büyük veri analitiği ve yapay zekâ destekli analizler gibi yenilikçi teknolojiler ile desteklendiğinde, üretim sistemlerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesine, darboğazların anlık olarak tespit edilmesine ve süreçlerin sürekli iyileştirilmesine olanak tanıyacaktır. Böylece, işletmeler daha hızlı ve veri odaklı kararlar alarak küresel rekabet avantajı elde edebilir ve sürdürülebilir üretim modellerini hayata geçirebilir. Bundan yola çıkarak yalın üretim, Endüstri 4.0 için bir temel oluşturmakta buna karşılık Endüstri 4.0'da yalın üretimin etkinliğini artırmaktadır denebilir (Rosin, 2020).

DDAH'ın başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için işletmelerin güçlü bir veri altyapısına, entegre sistemlere ve Endüstri 4.0 teknolojilerine uygun üretim ekipmanlarına sahip olması gerekmektedir. Ayrıca, işletmelerin büyük veri yönetimi ve analitiği konularında yetkinlik kazanması, bu sistemlerin sağlıklı bir şekilde çalışmasını destekleyecektir. DDAH, geleneksel DAH'ın eksikliklerini gidermek ve akıllı teknolojilerle üretim süreçlerini daha verimli, esnek ve sürdürülebilir hale getirmek için geliştirilmiş yenilikçi bir yaklaşımdır (Ramadan vd., 2017). DDAH'ın sunduğu gerçek zamanlı veri izleme ve analitik destekli karar alma mekanizmaları, işletmelere daha hızlı ve bilinçli stratejik hamleler yapma imkânı sunarak küresel rekabet avantajı kazanmalarına katkı sağlamaktadır.

4.2 Akıllı Araçlarla DAH Entegrasyonu

Endüstri 4.0'ın sunduğu akıllı araçlar ve bağlantılı teknolojiler, DAH'ı gerçek zamanlı, dinamik ve veri odaklı bir hale getirerek sınırlılıklarının aşılmasını sağlamaktadır (Zhong vd., 2017). Akıllı araçlarla entegre edilen DAH sistemleri, otomatik veri toplama, yapay zekâ destekli analizler ve karar alma süreçleriyle üretim süreçlerini daha esnek ve verimli hale getirmektedir. DAH çeşitli Endüstri 4.0 araçlarıyla desteklenebilir:

Radyo Frekanslı ile Tanımlama Tabanlı DAH

RFID (Radio Frequency Identification - Radyo Frekansı ile Tanımlama) teknolojisi, DAH süreçlerinde otomatik veri toplama ve gerçek zamanlı malzeme takibi sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Wang vd., 2020). Geleneksel DAH yöntemlerinde malzeme akışları manuel olarak gözlemlenip hari-

talandırılırken, RFID sensörleri malzemelerin hareketini anlık olarak takip ederek DAH'ın güncellenmesini sağlamaktadır (Moeuf vd., 2018). Özellikle otonom lojistik araçları ve akıllı depo sistemleri, RFID ile entegre edildiğinde, malzeme akışı gecikmeler ve darboğazlar açısından sürekli izlenebilir ve süreçlerdeki verimsizlikler anında tespit edilebilir (Kumar vd., 2021).

RFID ile entegre edilen DAH sistemleri, şu avantajları sağlamaktadır (Ramadan vd., 2017):

- **Gelişmiş Veri Doğrulama ve Kimlik Tanıma:** RFID teknolojisi, benzersiz kimlik tanımlama yeteneği sayesinde, DAH sistemlerinde hızlı ve doğru kimlik doğrulama işlemleri sağlar. Bu, özellikle güvenlik kontrol noktalarında ve erişim yetkilendirme sistemlerinde hata payını minimuma indirir.
- **Gerçek Zamanlı Takip ve Algılama:** RFID etiketleri, hareketli nesnelerin veya bireylerin anlık olarak izlenmesine olanak tanır. DAH sistemleriyle entegre edildiğinde, bu yetenek lojistik ve depo yönetimi gibi alanlarda operasyonel verimliliği artırır.
- **Otomasyon ve Operasyonel Verimlilik:** RFID tabanlı DAH sistemleri, manuel müdahale ihtiyacını azaltarak süreçleri otomatikleştirir. Bu durum, insan hatasının azalmasına ve iş sürekliliğinin artmasına katkı sağlar.
- **Gelişmiş Güvenlik ve Risk Yönetimi:** RFID destekli DAH sistemleri, yetkisiz erişimleri anında algılayabilir ve otomatik olarak alarm sistemlerini tetikleyebilir. Bu hem fiziksel güvenlik hem de bilgi güvenliği açısından önemli bir avantaj sağlar.
- **Veri Analitiği ve Karar Destek Sistemleri:** RFID sistemlerinden elde edilen büyük veri, DAH sistemleri aracılığıyla analiz edilerek stratejik karar alma süreçlerine katkı sağlar. Bu analizler, kaynak yönetimi, performans ölçümü ve geleceğe yönelik tahmin modelleri geliştirilmesinde kullanılabilir.

Nesnelerin İnterneti ile DAH

Nesnelerin interneti (Internet of Things - IoT), üretim süreçlerinde yer alan tüm bileşenlerin sensörler ve akıllı cihazlar aracılığıyla birbirine bağlanmasını sağlayarak DAH'ın dinamik hale getirilmesine yardımcı olmaktadır (Lee vd., 2017). Örneğin, üretim hattında kullanılan akıllı araçlar olan AGV'ler (Auto-

mated Guided Vehicle – Otomatik Yönlendirmeli Araç), otonom forkliftler ve mobil robotlar, IoT destekli sistemlerle donatıldığında, taşınan malzemelerin konumu, hızları ve taşıma süreleri gerçek zamanlı olarak izlenebilir ve değer akış haritaları anlık olarak güncellenebilir (Zhang vd., 2024).

IoT ile entegre edilen DAH sistemleri, şu avantajları sağlamaktadır:

- **Gerçek zamanlı izleme: Üretim süreçlerinde malzeme akışları anlık olarak takip edilerek darboğazlar tespit edilebilir.**
- **Öngörücü bakım:** Akıllı araçların IoT sensörleri ile donatılması, ekipman arızalarının önceden tahmin edilmesine olanak tanır (Tao vd., 2017).
- **Veri bazlı karar alma:** IoT destekli DAH sistemleri, büyük veri analitiği ile entegre edildiğinde optimum üretim planlaması ve süreç iyileştirilmesi sağlanabilir (Kusiak, 2017).

Büyük Veri ve Yapay Zekâ Destekli DAH

Endüstri 4.0 ile birlikte büyük veri (big data) ve yapay zekâ destekli analizler, DAH süreçlerini daha etkili hale getirmektedir (Chien vd., 2022). Geleneksel DAH yöntemleri geçmiş verilere dayalı manuel analizler gerektirirken, büyük veri sistemleri anlık üretim verilerini işleyerek süreç analizlerini otomatikleştirmektedir (Wang vd., 2020).

Özellikle yapay zekâ tabanlı karar destek sistemleri, akıllı araçlardan toplanan verileri analiz ederek şu katkıları sağlamaktadır:

- **Tahminleme ve simülasyon:** Yapay zekâ, üretim sürecindeki olası darboğazları önceden tahmin ederek alternatif akış senaryoları oluşturabilir (Ivanov vd., 2019).
- **Adaptif süreç iyileştirme:** DAH, makine öğrenmesi algoritmaları ile desteklendiğinde, üretim süreçleri otomatik olarak optimize edilebilir ve karar alma süreçleri hızlandırılabilir (Tripathi vd., 2022).

Otonom Araçlarla DAH

AGV'ler, insansız hava araçları ve akıllı forkliftler, üretim süreçlerinde malzeme taşıma süreçlerini optimize ederek DAH'ın güncellenmesini sağlamaktadır (Montoya-Torres vd., 2021). Örneğin;

- AGV'ler, en kısa rotayı belirleyerek malzeme taşıma süresini minimize edebilir ve darboğazları önceden tespit edebilir.

- Akıllı forkliftler, depo yönetimi süreçlerinde envanter hareketlerini takip ederek gerçek zamanlı DAH güncellemeleri sağlar.
- İnsansız hava araçları, geniş üretim sahalarında malzeme akışlarını gözlemleyerek veri toplayabilir ve süreç iyileştirmesine katkı sunabilir (Barbosa vd., 2017).

Siber-Fiziksel Sistemler ile DAH

Siber-Fiziksel Sistemler (Cyber-Physical System - CPS), fiziksel üretim süreçlerinin dijital sistemlerle entegre edilerek sensörler, veri analitiği ve yapay zekâ tabanlı sistemlerle kontrol edilmesini sağlayan bir Endüstri 4.0 konseptidir (Lee vd., 2017). DAH, üretim hattındaki süreçleri manuel olarak belgeleyip analiz ederken, CPS destekli DAH anlık veri toplama, analiz ve otomatik optimizasyon mekanizmalarına sahiptir (Tao vd., 2017). CPS'in DAH'a entegrasyonu şu avantajları sağlamaktadır:

- **Gerçek zamanlı veri akışı:** CPS sayesinde üretim süreçlerindeki hata oranları, darboğazlar ve malzeme hareketleri anlık olarak izlenebilir.
- **Öngörücü analizler:** Büyük veri ve yapay zekâ algoritmalarıyla CPS, üretim hatlarında gelecekte oluşabilecek sorunları tahmin edebilir ve DAH güncellemelerini bu tahminlere dayalı olarak yapabilir.
- **Otonom süreç yönetimi:** CPS destekli sistemler, değişen üretim koşullarına dinamik olarak adapte olabilir ve böylece DAH, manuel müdahaleye ihtiyaç duymadan sürekli güncellenebilir (Wang vd., 2020).

Artırılmış Gerçeklik ile DAH

Artırılmış gerçeklik (Augmented Reality – AR) fiziksel üretim ortamlarına dijital katmanlar ekleyerek bilgi sunan ve operatörlerin karar alma süreçlerini iyileştiren bir teknolojidir (Azuma, 2001). DAH, çoğunlukla kâğıt tabanlı veya dijital statik diyagramlar ile temsil edilirken, AR tabanlı DAH etkileşimli ve görsel olarak zenginleştirilmiş bir veri sunumu sağlamaktadır (Paelke, 2014). AR tabanlı DAH'ın avantajları şunlardır:

- **Gerçek zamanlı üretim akışı görselleştirme:** AR teknolojisi ile DAH, üretim alanında çalışan operatörlere malzeme akışlarını, darboğazları ve süreç verilerini anlık olarak gösterebilir (Krause, 2024).
- **Operatör destek sistemleri:** AR gözlükleri veya akıllı cihazlarla, çalışanlar üretim süreçlerinde daha hızlı ve doğru kararlar alabilir ve DAH süreçlerine anında müdahale edebilir (Butt, 2020).

- **Etkileşimli eğitim süreçleri:** Yeni çalışanların DAH temelli süreçleri daha hızlı öğrenmesine yardımcı olabilir, böylece yalnız üretim metodolojilerinin daha hızlı benimsenmesini sağlar (Mourtzis vd., 2018).

Simülasyon ile DAH

Üretim simülasyonları, süreçlerin gerçek dünyada uygulanmadan önce sanal ortamda test edilmesini sağlayan bir yaklaşımdır (Zhang vd., 2019). DAH geçmiş verilere dayalı statik bir analiz sunarken, simülasyon ile desteklenen DAH geleceğe yönelik senaryolar üreterek süreç optimizasyonuna katkı sunmaktadır (Negahban ve Smith, 2014). Simülasyon destekli DAH'ın faydaları şunlardır:

- **Farklı üretim senaryolarının test edilmesi:** Alternatif değer akışı modelleri oluşturularak en verimli süreçlerin belirlenmesini sağlar.
- **Üretim darboğazlarının önceden tahmin edilmesi:** Simülasyonlar, farklı üretim hızları ve talep değişimleri karşısında DAH'ın nasıl değişmesi gerektiğini analiz eder (Jahangirian vd., 2010).
- **Üretim sürecinde maliyet düşürme:** Potansiyel verimsizliklerin sanal ortamda belirlenmesi, saha uygulamalarından önce optimizasyon yapılmasını sağlayarak maliyetleri düşürür (Dufflou vd., 2012).

Dijital İkizler ile DAH

Dijital ikizler (Digital Twins – DT) fiziksel üretim süreçlerinin gerçek zamanlı dijital bir kopyasının oluşturulması ve sanal ortamda sürekli izlenmesi anlamına gelir (Grieves, 2022). DAH belirli bir zaman dilimine ait üretim süreçlerini belgelendirirken, DT ile entegre DAH dinamik, sürekli güncellenebilir ve veri odaklı bir sistem sunmaktadır (Tao vd., 2017). DT destekli DAH'ın sunduğu avantajlar:

- **Gerçek zamanlı üretim süreci analizi:** DT sistemleri sayesinde üretim süreçleri anlık olarak izlenebilir, darboğazlar tespit edilebilir ve DAH otomatik olarak güncellenebilir (Uhlemann vd., 2017).
- **Öngörücü bakım ve kestirimci analizler:** Dijital ikizler, makinelerin ve üretim süreçlerinin gelecekteki davranışlarını tahmin edebilir ve DAH süreçlerinin bu tahminlere göre adapte edilmesini sağlar (Rosen, 2019).
- **Tam entegre üretim optimizasyonu:** DT ile çalışan DAH sistemleri, gerçek zamanlı üretim verilerini analiz ederek karar alma süreçlerini

hızlandırabilir ve üretim hatlarını otonom olarak iyileştirebilir (Kritzinger vd., 2018).

Akıllı araçlar entegrasyonu, geleneksel DAH yöntemlerinin statik doğasını ortadan kaldırarak, üretim süreçlerinin gerçek zamanlı, esnek ve otomatik olarak optimize edilmesini sağlamaktadır. RFID, IoT, büyük veri analitiği, yapay zekâ, otonom araçlar, siber-fiziksel sistemler, artırılmış gerçeklik, simülasyon ve dijital ikizlerle desteklenen DAH sistemleri, üretim süreçlerinde darboğazları anlık olarak tespit edebilme, israfı azaltma ve verimliliği artırma gibi önemli avantajlar sunmaktadır. Gelecekte, bu sistemlerin daha fazla yaygınlaşmasıyla birlikte üretim süreçlerinde tam otomasyon ve gerçek zamanlı DAH uygulamalarının yaygınlaşması beklenmektedir.

SONUÇ

Yalın üretim, israfın azaltılması, süreçlerin optimize edilmesi ve müşteri değerinin maksimize edilmesi amacıyla geliştirilen bir felsefedir. DAH ise bu süreçlerin görselleştirilerek daha etkin bir şekilde yönetilmesine katkı sağlamaktadır. Yalın üretim araç ve teknikleri arasında yer alan Kaizen, 5S, Kanban, JIT, JIS, Altı Sigma, SMED, Heijunka ve Hoshin Kanri gibi uygulamalar, işletmelerin sürekli iyileştirme kültürünü benimsemelerini ve operasyonel mükemmelliği sürdürmelerini sağlamaktadır. Bu tekniklerin her biri, yalın üretimin farklı yönlerini destekleyerek daha etkin ve esnek üretim sistemlerinin kurulmasına katkıda bulunmaktadır. Ancak DAH, daha detaylı bir yalın üretim tekniği olduğu ve Kaizen, 5S, Kanban vb. teknikleri kapsadığı için, günümüz rekabetçi iş dünyasında işletmelerin sürdürülebilir başarı elde etmelerinde kritik öneme sahiptir. Bu çalışma yalın üretim felsefesi, yalın araçları ve tekniklerini, DAH yöntemini, DAH'ın uygulanmasında yol haritasını ve DAH'ın dijitalleşmesi süreci sistematikliğini aktarmaktadır.

Yalın üretim ilkeleri olan değer, değer akışı, akış, çekme ve mükemmellik kavramlarının işletmelerde operasyonel mükemmeliyetin sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle DAH, mevcut durum analizlerinin yapılması, darboğazların belirlenmesi ve gelecekteki iyileştirme fırsatlarının ortaya çıkarılması açısından stratejik bir araç olarak değerlendirilmektedir. DAH uygulamaları, işletmelerin üretim süreçlerinde verimlilik artışı, maliyet düşürme, kalite iyileştirme ve müşteri memnuniyetini artırma konusunda önemli avantajlar sunmaktadır. Bu bağlamda, işletmelerin rekabet avantajı elde edebilmeleri için DAH'ın sunduğu sistematik yaklaşım büyük önem taşımaktadır.

DAH, yalın dönüşüm sürecinde karşılaşılan zorlukları aşmak için bir kılavuz niteliği taşımakta ve işletmelere sürekli iyileştirme kültürünü benimsemeleri için pratik çözümler sunmaktadır. DAH, yalın üretimin görselleştirilmesi ve süreç iyileştirme çalışmalarının planlanmasında etkili bir araçtır. Bu çalışma DAH'ın yalnızca bir analiz aracı değil, aynı zamanda yalın üretim felsefesine dayanan bir yol haritası ve rehber olarak nasıl işlev görebileceğini ortaya koymaktadır. DAH'ın sunduğu metodolojik yapı, işletmelerin mevcut

durumlarını kapsamlı bir şekilde değerlendirmelerine ve geleceğe yönelik stratejik planlar geliştirmelerine imkân tanımaktadır. Bu bağlamda, çalışma, DAH uygulamalarının aşamalarını sistematik bir şekilde açıklayarak işletmelerin süreç iyileştirme çabalarında izleyebilecekleri adımları belirlemede rehberlik etmektedir.

Dijitalleşme ve akıllı üretim sistemleriyle entegrasyonu DAH'a yeni bir boyut kazandırmıştır. DDAH, üretim süreçlerinde gerçek zamanlı veri toplama, analiz ve izleme imkânı sunarak karar alma süreçlerini daha etkin hale getirmektedir. IoT, büyük veri, yapay zekâ, siber-fiziksel sistemler ve dijital ikizler gibi teknolojiler, üretim süreçlerinin daha esnek, sürdürülebilir ve müşteri odaklı bir yapıya dönüşmesine katkı sağlamaktadır. Bu teknolojiler sayesinde üretim süreçlerinde karşılaşılan darboğazlar hızlı bir şekilde tespit edilmekte, israf en aza indirilmekte ve kaynak kullanımı optimize edilmektedir. Ayrıca, veri odaklı karar alma süreçleri, işletmelerin hızlı değişen pazar koşullarına daha kolay adapte olmalarını sağlamaktadır. DDAH işletmelere rekabet avantajı sağlamakta, süreç verimliliğini artırmakta ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli katkılar sunmaktadır. İşletmelerin bu dönüşüm sürecinde başarılı olabilmeleri için teknoloji yatırımlarının yanı sıra, organizasyonel kültürde köklü değişiklikler yapmaları ve dijital yetkinliklerini geliştirmeleri gerekmektedir.

DAH'ın dijital dönüşümle evrilerek tam otomasyonlu ve gerçek zamanlı üretim sistemlerinin temel bileşeni haline gelmesi beklenmektedir. Bu doğrultuda, organizasyonların DAH süreçlerine dijitalleşme stratejilerini entegre etmeleri, çalışanları bu yeni teknolojilere uyum sağlayacak şekilde eğitmeleri ve sürekli iyileştirme kültürünü desteklemeleri gerekmektedir. Özellikle, dijitalleşmenin getirdiği yeni fırsatların etkin bir şekilde değerlendirilmesi, işletmelerin sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmesinde belirleyici olacaktır. Bu bağlamda, liderlik desteği, çalışan katılımı ve sürekli eğitim gibi faktörler, başarılı bir dönüşüm sürecinin temel unsurlarını oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abdulmalek, F.A. & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107, 223-236.
- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2007). An evaluation of TPM implementation initiatives in an Indian manufacturing enterprise. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 13(4), 338-352.
- Akao, Y. (1991). *Hoshin kanri: Policy deployment for successful TQM*. Productivity Press, UK.
- Ali, R. M., & Deif, A. M. (2014). Dynamic lean assessment for takt time implementation. *Procedia Cirp*, 17, 577-581.
- Antony, J. (2006). Six sigma for service processes. *Business Process Management Journal*, 12(2), 234-248.
- Arslandere, M. (2017). *Yalın üretime geçiş çalışmaları; değer akış haritalama, bireysel öneri sistemi, kaizen çalışmaları: büyük ölçekli firmalarda uygulamalar*. Yayımlanmamış doktora tezi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Azuma, R. T. (2001). *Augmented reality: Approaches and technical challenges*. In *Fundamentals of wearable computers and augmented reality*. CRC Press, Florida.
- Baker, B. (2003). Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality With Lean Speed. *Quality Progress*, 36(10), 96.
- Barber, C. S., & Tietje, B. C. (2008). A research agenda for value stream mapping the sales process. *Journal of Personal Selling & Sales Management*, 28(2), 155-165.
- Barbosa, G. F., Hernandez, A. C., Luz, S., Batista, J., Nunes, V. A., Becker, M., & Arruda, M. (2017). A conceptual study towards delivery of consumable materials to aircraft assembly stations performed by mobile robots based on industry 4.0 principles. *Journal of Aeronautics & Aerospace Engineering*, 6(2), 1-11.

- Başak, E. E., Yılmaz, İ. S., & Deniz, N. (2019). Endüstriyel ürün imalatı yapan bir işletmede yalın üretim uygulaması. *Endüstri Mühendisliği*, 30(3), 157-172.
- Belekoukias, I., Garza-Reyes, J.A. & Kumar, V. (2014). The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. *International Journal of production research*, 52(18), 5346-5366.
- Botti, L., Mora, C. & Regattieri, A. (2017). Integrating ergonomics and lean manufacturing principles in a hybrid assembly lines. *Computers and Industrial Engineering*, 111, 481-491.
- Butt, J. (2020). A strategic roadmap for the manufacturing industry to implement industry 4.0. *Designs*, 4(2), 11.
- Chan, F. T. S., Lau, H. C. W., Ip, R. W. L., Chan, H. K., & Kong, S. (2005). Implementation of total productive maintenance: a case study. *International Journal Production Economics*, 95(1), 71-94.
- Chiarini, A., Baccarani, C., & Mascherpa, V. (2018). Lean production, Toyota Production System and Kaizen philosophy: A conceptual analysis from the perspective of Zen Buddhism. *The TQM Journal*, 30(4), 425-438.
- Chien, C. F., Hung, W. T., Pan, C. W., & Van Nguyen, T. H. (2022). Decision-based virtual metrology for advanced process control to empower smart production and an empirical study for semiconductor manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108245.
- Chopra S. & Meindl P. (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*. Pearson, Londra.
- Coleman, B. J. & Vaghefi M. R. (1994). Heijunka: A key to the Toyota production system. *Production and Inventory Management Journal*. 35, 4, 31-35.
- Çakır, E. (2011). *Yalın altı sigma ve bir uygulama*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Çanakçıoğlu, M. (2019). Yalın düşünce felsefesinde israfla mücadele araçları. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 8(3), 270-282.
- Çelik, H. (2020). Süreç hatalarının önlenmesi ile toplam ekipman etkinliğinin artırılması: poka yoke metodolojisi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 7(5), 544-565.
- Dahlgaard, J.J. & Dahlgaard-Park, S.M. (2006). Lean production, six sigma quality, TQM and company culture. *The TQM Magazine*, Vol. 18, Issue 3, 263-281.

- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. MIT Press, USA.
- Dennis, P. (2007). *Lean Production Simplified*. Productivity Press, UK.
- Dirgo, R.T. (2006). *Look forward? beyond lean and six sigma*. Aircraft Braking Systems Corporation, USA.
- Duflou, J. R., Sutherland, J. W., Dornfeld, D., Herrmann, C., Jeswiet, J., Kara, S., ... & Kellens, K. (2012). Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach. *CIRP annals*, 61(2), 587-609.
- Duggan, K. J. (2002). *Creating mixed model in value streams*. Productivity Press, New York.
- Eckes, G. (2001). *The six sigma revolution*. John Wiley & Sons, Canada.
- Elrhanimi, S., El Abbadi, L., & Bouabdellah, A. (2016). *What is the relationship between the tools of Lean manufacturing and the global performance of the company?* 3rd International Conference on Logistics Operations Management (GOL) (pp. 1-6). IEEE.
- Esrock, Y., (1985). The impact of reduced set-up time. *Production and Inventory Management*, 26, 94- 101
- Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2010). *Managing for quality and performance excellence*. Delmar Learning, UK.
- Fullerton, R. R., & McWatters, C. S. (2001). The production performance benefits from JIT implementation. *Journal of Operations Management*, 19(1), 81-96.
- Gapp, R., Fisher, R., & Kobayashi, K. (2008). Implementing 5S within a Japanese context: an integrated management system. *Management Decision*, 46(4), 565-579.
- García-Alcaraz, J. L., & Maldonado-Macías, A. A. (2016). *Just-in-time elements and benefits*. Springer International Publishing, London.
- Ghodrati, A., & Zulkifli, N. (2013). The impact of 5s implementation on industrial organizations' performance. *International Journal of Business and Management Invention*, 2(3), 43-49.
- Göpfert, I. (2022). *Logistik der Zukunft: Logistics for the future*. I. Göpfert (Ed.). Springer Gabler, Germany.
- Grieves, M. (2022). Intelligent digital twins and the development and management of complex systems. *Digital Twin*, 2, 8.

- Groenevelt, H. (1993). The just-in-time system. *Handbooks in operations research and management science*, 4, 629-670.
- Gupta, M., & Snyder, D. (2009). Comparing TOC with MRP and JIT: a literature review. *International Journal of Production Research*, 47(13), 3705-3739.
- Harmon, P. (2007). *Business process change: A guide for business managers and bpm and six sigma professionals*. Second Edition. Morgan Kaufmann Publishers, USA.
- Harry, M. & Schroeder, R. (1999). *Six sigma: the breakthrough strategy revolutionizing the world's top corporations*. Doubleday, USA.
- Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. (2004). Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994-1011.
- Hirano, H. (1995). *5 pillars of the visual workplace: The sourcebook for 5S implementation* CRC Press, Florida.
- Ho, Y. C., Chang, O. C., & Wang, W. B. (2008). An empirical study of key success factors for Six Sigma Green Belt projects at an Asian MRO company. *Journal of Air Transport Management*, 14(5), 263-269.
- Hoerl R. & Snee R.D. (2002). *Statistical thinking - improving business performance*. Pacific Grove, CA, Duxbury.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2004). *Factory Physics*. McGraw-Hill, UK.
- Im, J. H., & Schonberger, R. J. (1988). The pull of Kanban. *Production and Inventory Management Journal*, 29(4), 54-58.
- Imai, M. (2004). *Gemba Kaizen: Sürekli iyileştirme ve sağduyulu bir yaklaşım*. Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Imai, M. (2014). *Kaizen: Japonya'nın rekabetteki başarısının anahtarı*. Elma Teknik Basım Matbaacılık, Ankara.
- Ivanov, D., Dolgui, A., Das, A., & Sokolov, B. (2019). Digital supply chain twins: Managing the ripple effect, resilience, and disruption risks by data-driven optimization, simulation, and visibility. *Handbook of ripple effects in the supply chain*, 309-332.
- Jahangirian, M., Eldabi, T., Naseer, A., Stergioulas, L. K., & Young, T. (2010). Simulation in manufacturing and business: A review. *European journal of operational research*, 203(1), 1-13.

- Jolayemi, J. K. (2008). Hoshin kanri and hoshin process: A review and literature survey. *Total Quality Management*, 19(3), 295-320.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's Quality Handbook*. McGraw-Hill, UK.
- Karkoszka, T. & Szewieczek, D. (2007). Risk of the processes in the aspect of quality, natural environment and occupational safety. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 20, 539-542.
- King, P.L. & King, J.S. (2015). *Value stream mapping for the process Industries*. CRC Press, Boca Raton.
- Krafcik JF. (1988). Triumph of the lean production system. *Sloan Manage Rev*, 30, 41-52.
- Krause, T. (2024). *Augmented Reality und Journalismus: Zwischen Innovation, Spielerei und digitaler Zukunft*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnline*, 51(11), 1016-1022.
- Kumar, R., Dwivedi, R. K. & Verma, A. (2016). Poka Yoke technique, methodology & design. *Indian Journal of Engineering*. 13(33), 362-370.
- Kumar, P., Bhadu, J., Singh, D., & Bhamu, J. (2021). Integration between lean, six sigma and Industry 4.0 technologies. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 13(1-3), 19-37.
- Kurhade, A. J. (2015). Review On "Poka Yoke: Technique To Prevent Defects". *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*. 4(11), 652- 659.
- Kusiak, A. (2017). Smart manufacturing must embrace big data. *Nature*, 544(7648), 23-25.
- Lachajczyk, H., & Dudek-Burlikowska, M. (2006). Quality continuous improvement of company with usage the Poka-Yoke methods. *PSKN*, 7(1), 57.
- Lee, J., Jin, C., & Bagheri, B. (2017). Cyber physical systems for predictive production systems. *Production Engineering*, 11(2), 155-165.
- Liker, J. K. (2004). *Toyota Tarzi*. Optimist Yayın Grubu, İstanbul.
- Lin, T. (2004). Study and analysis of value stream for yesco production. Unpublished Master Thesis, Master of Science Degree in Mechanical Engineering, Nevada, USA.

- Linderman, K., Schroeder, R. G., Zaheer, S., & Choo, A. S. (2003). Six Sigma: a goal-theoretic perspective. *Journal of Operations management*, 21(2), 193-203.
- Longo F, Nicoletti L & Padovano A, 2017. Smart operators in industry 4.0: a human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. *Computers & Industrial Engineering*, 113:144-159.
- Manos, A. (2007). The benefits of Kaizen and Kaizen events. *Quality progress*, 40(2), 47.
- Marcum, J. W. (1994). A New American TQM: Four Practical Revolutions in Management. *National Productivity Review*, 13(2), 316-317.
- Marudhamuthu, R., Krishnaswamy, M. & Pillai, D.M., (2011). The development and implementation of lean manufacturing techniques in Indian garment industry. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 5(6), 527-532.
- Mast, J.D. (2006). Six sigma and competitive advantage. *Total Quality Management*, 17(4), 455-464.
- McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (2000). A critical evaluation of Shingo's' SMED' (Single Minute Exchange of Die) methodology. *International journal of production research*, 38(11), 2377-2395.
- Meudt, T., Metternich, J., & Abele, E. (2017). Value stream mapping 4.0: Holistic examination of value stream and information logistics in production. *Cirp Annals*, 66(1), 413-416.
- Meyr, H. (2009). Supply chain planning in the German automotive industry. Supply Chain Planning. *Quantitative Decision Support and Advanced Planning Solutions*, 343-365.
- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International journal of production research*, 56(3), 1118-1136.
- Monden, Y. (2012). *Toyota production system: An integrated approach to just in time*. CRC Press, Boca Raton.
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to statistical quality control*. John wiley & sons, UK.
- Montoya-Torres, J. R., Moreno, S., Guerrero, W. J., & Mejía, G. (2021). Big data analytics and intelligent transportation systems. *IFAC-PapersOnLine*, 54(2), 216-220.

- Mourtzis, D., Fotia, S., Vlachou, E., & Koutoupes, A. (2018). A Lean PSS design and evaluation framework supported by KPI monitoring and context sensitivity tools. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, 1623-1637.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM*. Portland: Productivity Press, UK.
- Nash, M. A., & Poling, S. R. (2011). *Mapping the total value stream: a comprehensive guide for production and transactional processes*. CRC Press, Boca Raton.
- Näslund, D. (2013). Lean and six sigma – critical success factors revisited. *International Journal of Quality and Service Sciences*, Vol. 5, No. 1, 86-100.
- Negahban, A. & Smith J. S. 2014. Simulation for Manufacturing System Design and Operation: Literature Review and Analysis. *Journal of Manufacturing Systems* 33(2):241-261.
- Oakland, J. S. (2014). *Total quality management and operational excellence: text with cases*. Routledge.
- Ohno, T. (2017). *Toyota ruhu: Toyota üretim sisteminin doğuşu ve evrimi*. Scala Yayıncılık, İstanbul.
- Okur, A.S. (1997). *Yalın üretim: 2000'li yıllara doğru Türkiye sanayii için yapılanma modeli*. Söz Yayın, İstanbul.
- Osada, T. (1991). *The 5S's: Five Keys to a Total Quality Environment*. Asian Productivity Organization, China.
- Paelke, V. (2014). *Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. Springer, UK.
- Pande R., Neuman R., & Cavanagh R. (2003). *The six sigma way*. McGraw Hill, New York.
- Patel S., Dale SG.& Shaw P. (2001). Set-up time reduction and mistake proofing methods: an examination in precision component manufacturing, *The TQM Magazine*, 13/3 (2001) 175-179.
- Paul Brunet, A., New, S. (2003). Kaizen in Japan: An Empirical Study. *International Journal of Operations & Production Management*, 23(12), 1426-1446.
- Plotkin, H. (1999). *Six sigma: What it is? and how to use it*. Harvard Business Review. Management Herald, London.
- Pyzdek, T. (2003). *Six sigma handbook: A complete guide for greenbelts, blackbelts and managers at all levels*. McGraw Hill, New York.

- Pyzdek, T., & Keller, P. (2014). *The Six Sigma handbook*. McGraw-Hill, UK.
- Ramadan M, Al-Maimani H. & Noche B. (2017). RFID-enabled smart real-time manufacturing cost tracking system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89(1-4): 969-985.
- Ramekar, A. M., Muneshwar, V.D., Kute, A.S. & Choube, A.M. (2017). Concept of Heijunka. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*. 4, Special Issue 3.
- Rosen, D. W. (2019). Thoughts on design for intelligent manufacturing. *Engineering*, 5(4), 609-614.
- Rosin F., Forget P., Lamouri S. & Pellerin R. (2020). Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. *International Journal of Production Research*, 58(6):1644–1661.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda*. Lean enterprise institute, UK.
- Sangameshwaran, P. & Jagannathan, R. (2002), HLL's manufacturing renaissance. *Indian Management*, 30-35.
- Schonberger, R. J. (1983). Applications of single-card and dual-card kanban. *Interfaces*, 13(4), 56-67.
- Shah, R. & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4), 785-805.
- Shingo, S. (1983). *A revolution in manufacturing: The SMED system*. Productivity Press, Cambridge.
- Simchi-Levi, David, Philip Kaminski, & Edith Simchi-Levi (2008). *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies*. McGraw-Hill/Irwin, New York.
- Singh, B. & Sharma, S.K. (2009). Value stream mapping as a versatile tool for lean implementation: An Indian case study of a manufacturing firm. *Measuring Business Excellence*, 13(3), 58-68.
- Sipper, D., Bulfin Jr.R.L., (1997). *Production: Planning, Control, and Integration*. Mcgraw-Hill, New York
- Smith, S. (2014). Muda, Muri and Mura. *In Six Sigma Forum*, Vol. 13, No. 2.
- Snee, R. D. (2010). Lean Six Sigma—getting better all the time. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(1), 9-29.

- Soliman, M. H. A. (2020). *Takt Time: A Guide to the Very Basic Lean Calculation*. Personel lean.org publishing.
- Sordan, J. E., & Chiabert, P. (2024). *From Jidoka to Jidoka 4.0. In Lean Manufacturing in Latin America: Concepts, Methodologies and Applications*. Springer Nature Switzerland.
- Spear, S., & Bowen, H. K. (1999). Decoding the DNA of the Toyota production system. *Harvard Business Review*, 77(5), 96.
- Spearman, M. L., & Zazanis, M. A. (1992). Push and pull production systems: issues and comparisons. *Operations Research*, 40(3), 521-532.
- Stock T & Seliger G (2016) Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40: 536–541
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F. & Uchikawa, S., (1977). Toyota Production System and Kanban system: materialization of just-in time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research* 15 (6), 553–564.
- Sullivan, BP., Yazdi PG., Suresh A. & Thiede S. (2022). Digital value stream mapping: Application of UWB real time location systems. *Procedia CIRP*, 107, 1186-1191.
- Taghizadegan, S. (2006). *Essentials of lean six sigma*. Elsevier Academic Press, USA.
- Taguchi, G., El Sayed, E. A., & Hsiang, T. (1989). *Quality Engineering in Production Systems*, Mc Graw Hill, New York.
- Tao, F., Cheng, J., & Qi, Q. (2017). IIHub: An industrial Internet-of-Things hub toward smart manufacturing based on cyber-physical system. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(5), 2271-2280.
- Tapping, D., & Shuker, T. (2003). *Value Stream Management for the Lean Office: eight steps to planning, mapping, & sustaining lean improvements in administrative areas*. CRC Press, Boca Raton.
- Taş, Ü. (2022). *Maliyet performansında yalın altı sigma*. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Tekin, M., Arslandere, M., Etlilioğlu, M., & Tekin, E. (2019). *An application of Kaizen in a large-scale business*. In Proceedings of the International Symposium for Production Research. Springer International Publishing.
- Tennant, C., & Roberts, P. (2001). Hoshin kanri: Implementing the catchball process. *International Journal of Production Economics*, 72(2), 123-134.
- Tripathi, V., Saraswat, S., & Gautam, G. D. (2022). Improvement in shop floor ma-

- agement using ANN coupled with VSM: A case study. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 236(10), 5651-5662.
- Uhlemann, T. H. J., Schock, C., Lehmann, C., Freiberger, S., & Steinhilper, R. (2017). The digital twin: demonstrating the potential of real time data acquisition in production systems. *Procedia Manufacturing*, 9, 113-120.
- Vento, M. O., Alcaraz, J. L. G., Macías, A. A. M., & Loya, V. M. (2016). The impact of managerial commitment and Kaizen benefits on companies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(5), 692-712.
- Wagner, S. M., & Silveira-Camargos, V. (2010). Managing risks in just-in-sequence supply networks: Exploratory evidence from automakers. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 59(1), 52-64.
- Wang, P., Wu, P., Chi, H. L., & Li, X. (2020). Adopting lean thinking in virtual reality-based personalized operation training using value stream mapping. *Automation in Construction*, 119, 103355.
- Wee, H.M. & Wu, S., (2009). Lean supply chain and its effect on product cost and quality: A case study on Ford Motor Company. *Supply Chain Management: An International Journal*, 14 (5), 335-341.
- Witcher, B. J., & Butterworth, R. (2001). Hoshin Kanri: policy management in Japanese-owned UK subsidiaries. *Journal of Management Studies*, 38(5), 651-674.
- Womack, J.P., Jones, D.T. & Roos, D. (2024). *Dünyayı değiştiren makine: Otomobilin geleceği üzerine*. Stabil Kitap Yayın, İstanbul.
- Womack, J.P. & Jones, D.T. (2003). *Yalın Düşünce*. Optimist Yayın Grubu, İstanbul.
- Zhang, L., Zhou, L., Ren, L., & Laili, Y. (2019). Modeling and simulation in intelligent manufacturing. *Computers in Industry*, 112, 103123.
- Zhang, L., Yang, C., Yan, Y., Cai, Z., & Hu, Y. (2024). Automated guided vehicle dispatching and routing integration via digital twin with deep reinforcement learning. *Journal of Manufacturing Systems*, 72, 492-503.
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: A review. *Engineering*, 3(5), 616-630.