

## ENDÜSTRİ 4.0 ÜRETİM SÜRECİNDE SÜREÇ DEĞİŞKENLİĞİNİN OPTİMİZASYONUNDA HEIJUNKA YÖNTEMİ

### HEIJUNKA METHOD FOR THE OPTIMIZATION OF PROCESS VARIANCE WITHIN THE FRAME OF INDUSTRY 4.0

Dr. Atakan Gerger<sup>1</sup>

#### Özet

Geleneksel firmalar müşteri talebini karşılamak ve üretim verimini arttırmak için genellikle yüksek adetli partiler halinde üretim yapmaktadırlar. Aynı üründen büyük miktarlarda üretmek belki daha az kalıp değişimine neden olmaktadır. Ancak; bu durum genellikle stokların şişmesine, büyük miktartlı hata olasılıklarının oluşmasına, değişkenliğin artmasına ve aşırı boş zamana ya da fazla mesaiye neden olabilmektedir. Rekabetin bu denli yoğun yaşandığı Endüstri 4.0 çağında firmanın bu üretim tarzı sadece para kaybetmek anlamına gelmeyip aynı zamanda ciddi pazar kaybı yaşamasına neden olmaktadır.

Bunun için firmalar, operasyonlarında esnekliği sağlamak ve müşteriye özgü üretim gerçekleştirebilmek için yönetim bilişim sistemlerinin de desteğiyle yeni yaklaşımlar kullanmaktadırlar. Bu yaklaşımlardan biri de Yalın Yönetim tekniklerinden biri olan ve ilk olarak Toyota'da kullanılmaya başlayan Heijunka'dır. Toyota üretim sisteminin köşe taşlarından biri olan Heijunka, aynı zamanda farklı müşteri taleplerini karşılamak ve değişkenliği azaltmak için kullanılır. Heijunka, değişkenliği azaltmak için sadece israfları (muda) değil aynı zamanda makine ve insanlar üzerindeki aşırı yükü (muri) ve düzensizliği de (mura) ortadan kaldırır. Böylece müşteri taleplerinden ve/veya planlama eksikliklerinden meydana gelebilecek talep dalgalanmalarının üretime daha dengeli bir şekilde yansımını sağlayarak, müşterinin istemiş olduğu ürünün istemiş olduğu zamanda üretilmesini sağlar.

Bu çalışmayla; Heijunka tekniğinin tüm yönleriyle ele alınarak endüstride ve akademide tanınması ve kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yalın Yönetim, Üretim Yönetim Optimizasyonu, Yönetim Bilişim Sistemleri, Heijunka, Endüstri 4.0 ve Endüstride Yeni Yaklaşımlar, Üretim Yönetimi

**JEL Sınıflandırması:** M11, M15, L23, L60

#### Abstract

Traditional companies usually manufacture high-quantity batches in order to meet the customer demand and increase production efficiency. Manufacturing with high-quantity batches may lead to fewer die change operations, but this causes on the other hand the inflation of stocks, the probability of defects in high quantities, increasing the variance and excessive idle time or overtime. In the age of Industry 4.0 where the competition is so fierce, this kind of a production approach does not only cause financial loss but also leads to a significant amount of market share.

<sup>1</sup>PFW Aerospace GmbH, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Doktora Programı Mezunu, atakangerger@gmail.com.

Therefore, companies today deploy new approaches with the support of management information technologies in order to achieve operational flexibility and perform custom-made production for customers. One of these approaches is Heijunka, which is among the lean management techniques and initially used at Toyota. Being one of the cornerstones of Toyota manufacturing system, Heijunka is utilized to meet varying customer demands in the same period of time and decrease the variance. In order to decrease the variance, Heijunka eliminates not only the waste (muda) but also the overload on machines and workforce (muri) and the irregularity (mura). This ensures that the product demanded by the customer is manufactured at the requested point of time, by assuring a more equal reflection of demand variations and/or deficiencies of planning to the production process.

The aim of this study is to familiarize both the industry and the academy with Heijunka by examining the technique with all of its traits and contribute to the dissemination of its use.

**Keywords:** Lean Management, Optimization of Production Management, Management Information System, Heijunka, Industry 4.0 and New Approach at Industry Management, Production Management.

**JEL Codes:** M11, M15, L23, L60

## 1. GİRİŞ

Firmalar öngörülebilir ve değişkenliğin en aza indirgenmiş olduğu bir talep doğrultusunda üretim yapmak isterler. Ancak bu durum pratikte pek mümkün olmamaktadır. Bunun nedeni; talebi belirleyen en önemli faktörün müşteri olmasıdır. Çünkü müşteri talepleri kararsızdır ve çok hızlı bir şekilde değişkenlik gösterebilmektedir.

Ürün akışı ve çekme sistemi yalın üretimin temel kavramlarıdır (Womack ve Jones, 1996). Ürün, müşteri tarafından tüketildiği oranda üretildiğinde stoklar ve iş süreçlerine bağlanmış olan maliyetler düşük seviyede tutulmuş olur ve bitmiş ürün stoku daha verimli olarak kullanılabilir. Eğer müşteri talebi tam olarak biliniyorsa ve üretim bu talebe eşit olarak ayarlanırsa; fabrika, olası ürün çeşitliliğini karşılamak için sadece küçük envanterlere ihtiyaç duyan bir üretim hattı gibi işlev görebilir. Bununla birlikte, talebin bilinen bazı sabit ortalamalar etrafında rasgele değiştiği ve üretim oranının bu ortalama orana ayarlandığı basit durumlarda bile, mamul stoku önemli ölçüde değişebilir (Swanson, 2008).

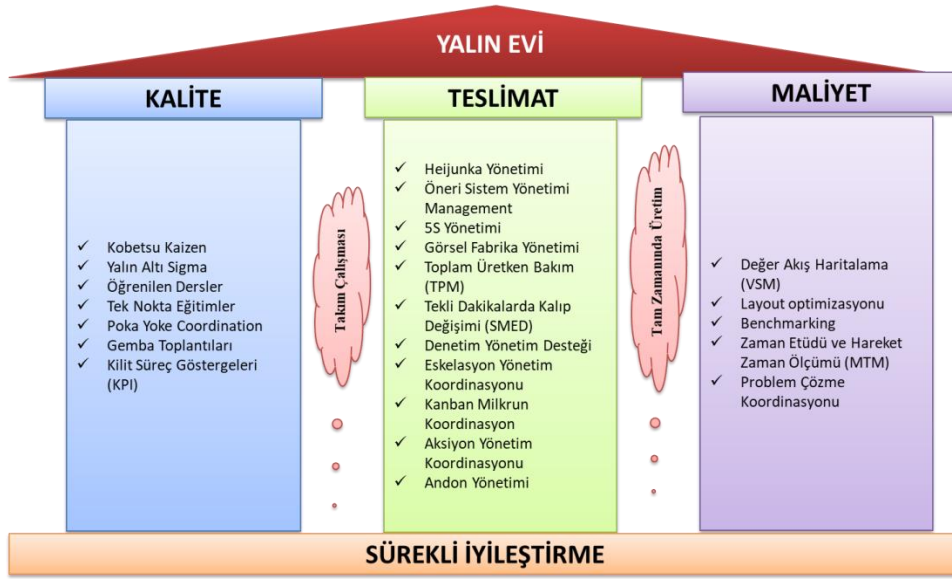
Firmalar, müşteri taleplerinde yaşanan aşırı değişimin üretime olan etkisini en aza indirmek ister. Bunun nedeni makinaların ve iş görenlerin boşa çıkmasını ya da aşırı yüklenmeyi önlemektir. Bunu sağlamanın yolu da müşteri taleplerinde yaşanan aşırı değişkenliğin üretim alanında dengelenmesini sağlamak için Yalın Üretim tekniklerinden biri olan iş yükü dengeleme ya da hat dengeleme anlamına gelen ve Japonca bir terim olan Heijunka yöntemi kullanılır (Liker, 2004). Akış temelli bu yaklaşım, iş planlamasından kaynaklı değişkenliği

## ENDÜSTRİ 4.0 ÜRETİM SÜRECİNDE SÜREÇ DEĞİŞKENLİĞİNİN OPTİMİZASYONUNDA HEIJUNKA YÖNTEMİ

ortadan kaldırmak için tam zamanında (TZÜ) üretimi gerçekleştirmeyi amaçlar (Ramekar vd., 2017).

Yalın Yönetim, üretimde ya da her hangi bir iş türünde israfları ortadan kaldırmaya odaklanan bir yönetim felsefesidir. Yalın Üretimin temelinde üretim hattını optimize etmek için iş akışını dengelemek ve tam zamanında üretmek yatmaktadır. Yalın felsefesi firmanın; teslimat, kalite ve maliyet performansının iyileştirmeyi amaçlar (Lippolt ve Furmans, 2008). Yalın konsepti firmadan firmaya değişkenlik göstermesine rağmen genellikle Şekil 1’de gösterilmiş olduğu gibidir ve kısaca aşağıdaki sorulara cevap arar. Bunlar:

- ✓ Kalite – Yeterince iyi mi?
- ✓ Maliyet – Doğru fiyat mı?
- ✓ Teslimat – İhtiyacım olduğunda alabilir miyim?



Şekil-1. Yalın evi

Heijunka tekniği, Yalın evinin teslimat safhasında yer alıp, Toyota üretim sisteminin kilit unsurlarından biridir. Tüm olası ürün tipleri üzerinde dengeli bir üretim akışı elde etmek için üretim kanbanlarının (kartlarının) hangi seviyelerde serbest bırakılması gerektiğini belirler. Kanban sistemi her bir süreçte üretim adetlerini kontrol eden bir bilgi sistemidir. Bu sistemin amacı gerektiğinde parçaları çekmek, süreçteki stokları görselleştirmek ve kontrol etmektir. Kanban, Japonca’da kart ya da etiket anlamında gelir ve ürün, taşıma ve geri çekme işlemleri hakkında bilgi taşır. Bu sistemde bir üretim hattı birkaç aşamaya ayrılabilir ve her aşamada sabit sayıda etiket bulunur. Her aşama tek bir makineden, bir dizi benzer makineden veya daha

karmaşık bir sistemden oluşabilir. Kanban'ların sayısı, bir ürünün maksimum stoğunu ifade eder, bu nedenle mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır (Matzka vd., 2012).

## **2. LİTERATÜR İNCELEMESİ**

Çalışma bilişim teknolojileri ve yapay zekânın şekillendirdiği Endüstri 4.0 sürecinde üretimde süreç değişkenliğini optimize etmede kullanılan Heijunka yönteminin teorik olarak anlatıldığı derleme niteliğindedir. Bu bölümde makalenin amacına uygun olarak Heijunka çalışmalarıyla ilgili olarak literatürde yer alan çalışmalar ele alınmıştır.

Swansons (2008) çalışmasında; Heijunka tekniğini kullanarak minimum stok ile doğru zamanda doğru ürünü üretmeyi amaçlamıştır. Bu yöntem ile planlama sürecini basitleştirerek üretimdeki değişkenliği dengeleyerek maliyetleri en aza indirmeyi hedeflemiştir.

Hakansson vd.ne (2008) göre çalışmasında farklı model düzenleri de dahil olmak üzere üretimde karma model montaj hattı dengeleme ve üretim sıralama problemlerine odaklanan bir literatür taraması yapmıştır.

Hüttmeir vd.ne (2009) göre BMW otomobil motor üretim fabrikasında Heijunka tekniği ile JIT'in (Just-in-time sistemi) kıyaslamasını yapmıştır.

Araujo ve Queiroz'e (2010) göre Heijunka yöntemi taktiksel ve operasyonlar seviyedeki büyük değişimlere odaklandığını ifade etmiştir. Bu çalışmada; seri üretime yönelik üretim seviyelendirmeye dayanan bir uygulama modeli sunulmaktadır.

Korytkowski'ye (2014) göre Heijunka uygulamalarının kalıp değişimi (SMED) ve operasyon süresindeki değişimleri daha dengeli hale getirdiğini gözlemlemiştir. Parti büyüklüğün seçilmesine dikkat edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bunun nedeni; çıktı kapasitesindeki değişimi güçlü bir şekilde etkilemektedir.

Ayçin (2016) çalışmasında; Heijunka, farklı üretim prosesleri arasında hat dengelemesini optimize edilmiş üretim miktarı ve üretim karmasının oluşturulması için belirlenen süre zarfında kullanıldığını ifade etmiştir.

## **3. HEIJUNKA**

Toyota Motor Kuzey Amerika başkanı ve CEO'su Atsushi Niimi, Şubat 2004'de Chicago'da gerçekleşen üretim haftası etkinliğinde Heijunka tekniğinin arka planını şu şekilde açıklamıştır. Heijunka yolculuğu, 1950'lerde Toyota'nın ABD'ye Kore Savaşı'nda kullanılmak üzere kamyon üretmesiyle başladı. Talebin karşılanması için üretim miktarının artırılması

## ***ENDÜSTRİ 4.0 ÜRETİM SÜRECİNDE SÜREÇ DEĞİŞKENLİĞİNİN OPTİMİZASYONUNDA HEIJUNKA YÖNTEMİ***

gerekmekteydi. Ayın iki haftası belirli bir sırada gelen malzemeleri toplamak için harcanıyordu ve gelecek iki hafta içinde üretim seviyeleri arttığında bu hiçbir işe yaramıyordu. Bu nedenle, Toyota Üretim Sisteminin (TÜS) diğer birçok bileşeni gibi Heijunka bu gereklilikten doğmuştur. En basit tanımıyla Heijunka üretim dengelemedir ve Toyota üretim sisteminin köşe taşlarından biridir. Toyota'nın

- ✓ en yüksek kalite,
- ✓ en düşük maliyet ve
- ✓ en kısa teslim süresi

elde etmesini sağlayan hayati bir parçasıdır. Hem ürün karmaşıklığı hem de parti büyüklüğüne odaklanarak mevcut iş yükünü ortadan kaldırır. (Hakansson vd., 2018).

Toyota, Heijunka'yı montaj sürecinde farklı kasa tiplerinin üretimini bir gün, bir hafta ve bir ay boyunca eşit olarak dağıtmak şeklinde tanımlamıştır (Coleman ve Reza, 1994).

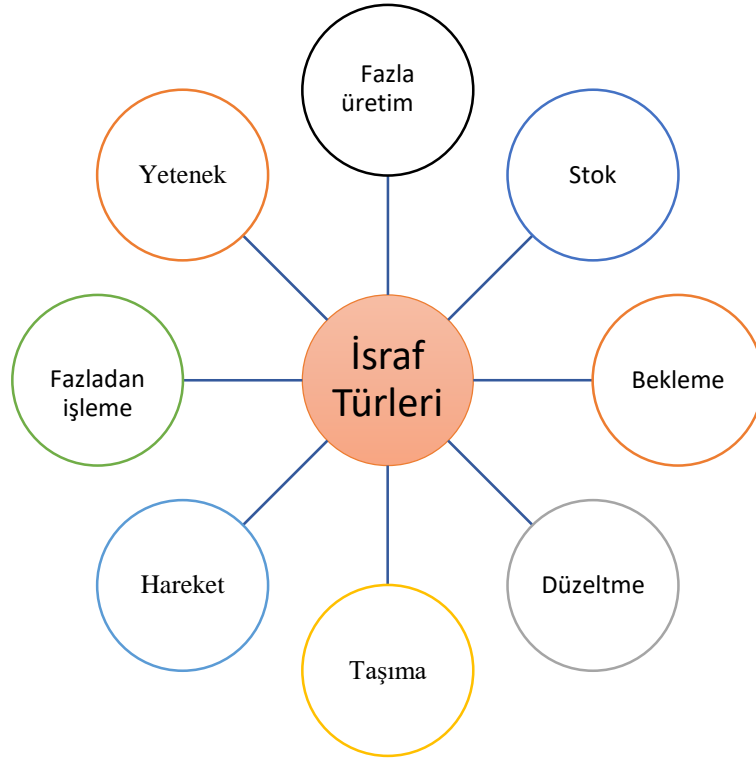
Heijunka'nın üç temel unsuru vardır. Bunlar (Sharma, [www.youtube.com](http://www.youtube.com), 01.09.2018):

- ✓ Dengeleme (Leveling): Çıktıdaki değişkenliği azaltmak için bir sürecin tümünün dengelenmesi.
- ✓ Sıralama (Sequencing): İşin işlendiği sırayı yönetmek
- ✓ Standart iş kararlılığı (Stability of standard work): Süreç değişkenliğini azaltmak.

Heijunka, hem iş yükü seviyelerini hem de hat dengelemeyi içeren bir Yalın Yönetim tekniğidir (Liker, 2004). Heijunka, üretkenliğin iyileştirilmesinde, ek kapasite sağlanmasında ya da maliyet azaltılmasında kullanılabilir (Rizvi, 2013).

Heijunka, üretim verimini geliştirmeye ve bir üretim sürecine istikrar getirmeye yardımcı olan temel bir kavramdır (Ramekar vd., 2017). Bunu sağlamak için Şekil 2'de gösterilmiş olan israfların ortadan kaldırılması ya da etkisinin azaltılması gerekir.

## ENDÜSTRİ 4.0 ÜRETİM SÜRECİNDE SÜREÇ DEĞİŞKENLİĞİNİN OPTİMİZASYONUNDA HEIJUNKA YÖNTEMİ



Şekil-2. İsraf türleri (Womack ve Jones, 2003)

Literatürde genelde yedi israftan söz edilmesine rağmen günümüzde “yetenek”te sekizinci israf kalemi olarak yerini almıştır. Şekil 2’de belirtilen sekiz israf türü kısaca aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

- ✓ **Fazla üretim:** İhtiyaçtan fazla veya müşterinin talep etmiş olduğu zamandan önce üretmeyi ifade etmektedir. Bir sonraki süreç adımının işleyemeyeceği kadar çok veya zamanından önce üretmekte bu kapsamda değerlendirilmektedir.
- ✓ **Stok:** Şuanda gerekli olmayan, değere dönüşmeyen ara stok, yarı mamul, hammadde ve bitmiş ürünlerin tümünü ifade etmektedir.
- ✓ **Bekleme:** Makinaların, ürünlerin ve insanların birbirlerini beklemesini ifade etmektedir. Enerji kesintisi, arızalar vb. konular da bu kapsamdadır.
- ✓ **Düzeltilme:** Bir işin ilk seferde doğru üretilmemesini ifade eder. Hatalı üretim nedeniyle gerçekleştirilen tamir, ayıklama, kontrol vb. konuları kapsar.
- ✓ **Taşıma:** Ürünlerin ya da malzemelerin bir noktadan diğer noktaya taşınmasını ifade ettiği gibi bilgilerin basılı doküman ya da elektronik olarak taşınmasını da kapsar.

## **ENDÜSTRİ 4.0 ÜRETİM SÜRECİNDE SÜREÇ DEĞİŞKENLİĞİNİN OPTİMİZASYONUNDA HEIJUNKA YÖNTEMİ**

- ✓ **Hareket:** Gereksiz ya da katma değer yaratmayan hareketleri kapsar. Yazılımlardaki gereksiz tıklamalar, yürüme mesafeleri, makinaya, alet dolabına vb. olan aktiviteleri kapsar.
- ✓ **Fazladan İşlem:** Müşterinin talep etmediği işlerin yapılması, ürün üzerinde gereğinden fazla işlem yapmak ya da özellik eklemeyi ifade eder.
- ✓ **Yetenek:** Çalışanların yetenek ve tecrübelerini kullanmamayı ifade eder. Çalışanların görüş ve önerilerinden yararlanmamak bu kapsamdadır. Kısacası; “iş en iyi yapan bilir”i ifade etmektedir.

Üretimdeki dalgalanmaları önlemek için son montaj hattındaki dalgalanmayı en aza indirmek gerekmektedir. Üretim ortamlarındaki değişkenliğin en yaygın nedenleri ise aşağıda belirtilmiş olduğu gibidir (Lippolt ve Furmans, 2008):

- ✓ Doğal değişkenlikler (operatör, makine ve malzeme farklılıklarından dolayı işlem süresindeki küçük dalgalanmalar - genel sebepler).
- ✓ Rastgele kesintiler
- ✓ Kurulum zamanları (setups).
- ✓ Operatör değişkenliği.
- ✓ Tamir, yeniden işleme ve hurdalar.

Bu değişkenliklerin Yalın Üretim üzerinde etkisi hurda, daha uzun çevrim süresi, aşırı stok, kapasite yetersizliği, dar boğazlar ve uzun teslim süreleri olarak görülmektedir.

### **3.1 Heijunka Tekniğinin Amacı**

Heijunka, tam zamanında üretim sistemlerinde kilit bir işletme konseptidir (Horn ve Cook, 1997). Heijunka'nın amacı israfların azaltılmasından çok daha fazlasıdır. Bu sistemin en belirgin avantajı firmada esneklik sağlayarak müşterinin talep etmiş olduğu ürünün tam zamanında üretilmesinin sağlanmasıdır. Bu garanti müşterinin tatmin edilmesini sağlayarak firmanın uzun vadeli finansal istikrarını sağlar. İhtiyaç duyulan miktardan fazla ürün üretilmeyeceğinden verimlilik artacaktır. Sistemin doğru bir şekilde uygulanması; talebin dengelenmesi, esnekliğin sağlanması, kalıp değişim süresinin azaltılması ve uzun vadede üretim hacim ve çeşidinin dengelenmesiyle sağlanır (Ramekar, 2017).

Coleman ve Vaghefi'ye (1994) göre Heijunka iki amaç taşır. Bunlar:

## **ENDÜSTRİ 4.0 ÜRETİM SÜRECİNDE SÜREÇ DEĞİŞKENLİĞİNİN OPTİMİZASYONUNDA HEIJUNKA YÖNTEMİ**

- ✓ Çok küçük miktarlardaki partilerde (Lot'larda) ve karma üretim sistemi sayesinde stokların azaltılmasıdır.
- ✓ Her bir üretim sürecindeki iş yüklerini birbirine ve kapasiteye göre eşitleme yeteneğidir.

Coleman ve Vaghefi (1994) Heijunka tekniğinin etkilerini aşağıdaki gibi belirtmişlerdir.

- ✓ Stoklarda genel bir azalma
- ✓ İhtiyaç duyulan üretim kapasitesinde azalma
- ✓ Müşteri için teslim süresinin (Lead Time) azaltılması

Jones (2006) çalışmasında; Heijunka uygulamasının üç ana avantajı olduğunu vurgulamıştır.

Bunlar:

- ✓ Çalışanlar - Artık aşırı yüklenmiyor.
- ✓ Müşteriler - Söz verilen tarihlerde daha iyi ürünler alırlar.
- ✓ Üreticiler - Muda, mura ve muri azaltıldığında tasarruf sağlarlar

İş dengelemesi, iş istasyonlarında iş gücü kullanımını ve malzeme talep dengelemesini sağlar.

İş dengelemesinin merkezinde aşağıda belirtilen iki hedef vardır (Boysen vd., 2007).

- ✓ Aşırı iş yükü: Aşırı iş yükü eğer bir operasyon adımıdaki değişkenlikten kaynaklanıyorsa, daha az iş yoğunluğu olan operasyon kapasite alternatifleriyle desteklenebilir.
- ✓ Tam Zamanında Üretim Hedefleri: Farklı modellerin ve seçeneklerin tam zamanında üretilmesidir.

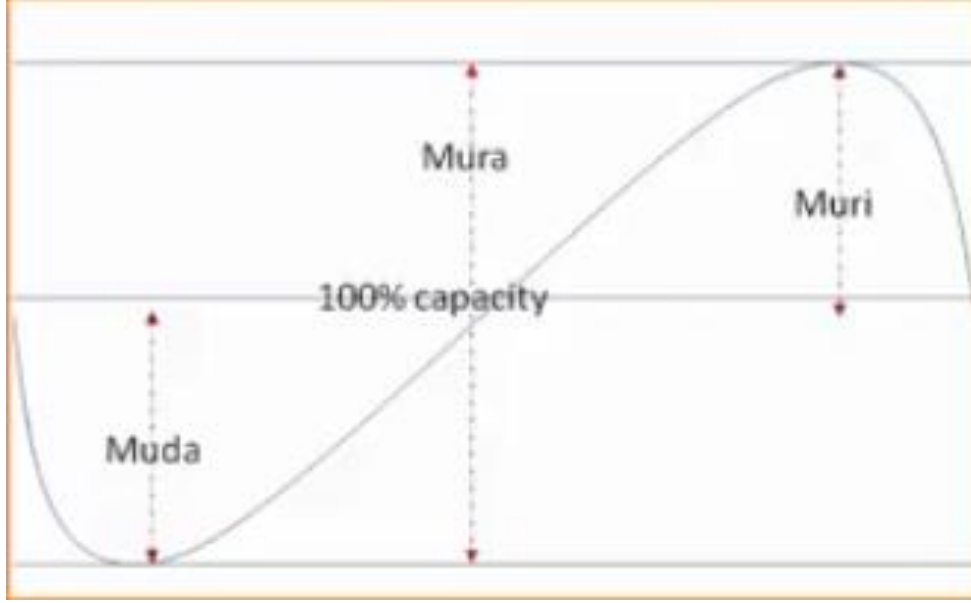
### **3.2 Heijunka Uygulama Yöntemleri**

Müşteri talebi sabit olduğunda üretim dengelemesi kolaydır. Ancak; müşteri talebinde dalgalanma varsa; talep dengeleme ve esnek üretim yoluyla üretim dengeleme olmak üzere iki yaklaşım kullanılır. Bugün birçok firma müşteri neyi talep ediyorsa onu üretmeyi istemektedir. Bu ortam çok büyük miktarlarda stok, gizlenmiş problemler ve düşük kalite gibi istenmeyen israfları yaratabilir. Bunu önlemek için Toyota'nın dengeli iş planlaması oluşturmada kullandığı Heijunka tekniği kullanılır. Heijunka hem hacim dengelemesi hem de ürün karışımı ile üretimin dengelenmesini sağlar. Bu sistem müşteri siparişlerinin gerçek akışına göre ürünleri üretmez. Bunun yerine toplam sipariş hacmini belli bir zaman periyodu içinde alır ve her gün aynı miktarda ve karışımda dengeleyerek üretir. Geleneksel üretim sisteminde genellikle tek bir



## ENDÜSTRİ 4.0 ÜRETİM SÜRECİNDE SÜREÇ DEĞİŞKENLİĞİNİN OPTİMİZASYONUNDA HEIJUNKA YÖNTEMİ

müşterinin talep sıralamasına göre üretim yapılır. Örneğin; A ve B ürünü müşteriden gelen sipariş sıralamasına göre A, B, A, A, A, B, B, A vb. şekilde üretilir. Ancak; diğer müşterilerinin siparişlerinde aksamalar yaşanmasına neden olur. Bu nedenle; firmalar, sürekli akışın yararlarını sağlamak için iş yükünü dengelemelidir. Heijunka, ürün miktarını ve karışımını dengeleyerek israfları ortadan kaldıracak fakat en önemlisi personelin, ekipmanların ve tedarikçilerin talebini dengeleyecektir (Ramekar vd., 2017).



Şekil-3. Dengelemenin önemi (Sharma, [www.youtube.com](http://www.youtube.com), 01.09.2018)

Heijunka, 3M ile ilişkilendirilir ve Şekil 3’de görselleştirilmiş olduğu gibidir. Bunlar:

- ✓ Muda - katma değersiz aktiviteler: Burada hat yeterince beslenemediğinden duruşlar meydana gelir. Personel ve makinalar boşa çıkar. Dur kalk şeklinde bir üretim gerçekleştiğinden uygunsuz ürünlerin oluşma olasılığı artmaktadır. Şekil 2’de gösterilen 8 israfın meydana gelmesine neden olur. Bu durum firma tarafından hiç istenmeyen bir durumdur ve firmanın ciddi para kaybetmesi anlamına gelmektedir.
- ✓ Muri - makinaların ya da çalışanların aşırı yüklenmesi: Bu durum genellikle hat dengelenmesinde yaşanan değişkenlikten dolayı ortaya çıkmaktadır. Bir önceki üretim prosesinde hattın yeterince beslenememesi ve sonucunda oluşan darboğaz dolayısıyla ya da müşteriden gelen sipariş miktarının hattın kapasitesinden fazla olmasından kaynaklanır. Böyle bir durumda personelin ve makinaların fazla yüklenmesi sonucunda çeşitli israflar meydana gelecektir.

## **ENDÜSTRİ 4.0 ÜRETİM SÜRECİNDE SÜREÇ DEĞİŞKENLİĞİNİN OPTİMİZASYONUNDA HEIJUNKA YÖNTEMİ**

- ✓ Mura - eşitsizlik ya da değişkenlik: Her üretim hattının bir kapasitesi vardır ve üretim miktarının bu kapasite çerçevesinde gerçekleştirilmesi amaçlanır. Ancak; müşteriden gelen talepteki değişim, ürün çeşidindeki farklılıklar, Lot miktarlarının büyüklüğü, darboğazlar, malzeme eksiklikleri, israflar vb. nedenler dolayısıyla pratikte bu şekilde bir üretim her zaman mümkün olmaz. Hatta gelen ürün miktarının kapasitenin altında ya da üstünde olması üretim veriminin minimize olmasına ve değişkenliğin artmasına neden olur.

Heijunka sabit bir parça akışı ve karma model üretim sistemine ulaşmak için parti işleme ve müşteri siparişi dalgalanmasının neden olduğu hacimdeki iniş ve çıkışları kaldırarak, bir üretim sistemini dengelemeye yönelik bir kavramdır. Bu yönüyle; talepte ve planlamada yaşanan değişkenliğin dengelenerek üretimde daha kararlı ve düzgün bir akışının oluşmasını destekler.

Toyota üretim sistemi veya benzeri üretim tekniklerini kullanan yalın firmalar, üretim hatlarında muda, muri ve mura kaynaklı performans kayıplarını önlemeyi amaçlar. Bunun için

- ✓ miktar dengeleme,
- ✓ ürün dengeleme ve
- ✓ talep dengeleme

yöntemlerinin tümünü ya da bir kısmını kullanırlar (Ramekar et al., 2017). Böylece üretim hattında oluşabilecek değişkenlikleri en aza indirirler. Bu üç yöntemde de üretim sistemlerinde esneklik son derece önemlidir. Bu esnekliğin sağlanması çeşitli yönetim bilişim sistemlerine ve yalın tekniklerine ihtiyaç duyar. Bu noktada bilginin kesintisiz ve doğru akışı önemlidir. Bilgi akışı dijital olarak gerçekleştirilebileceği gibi bir kâğıt üzerine yazılarak da gerçekleşebilir. Endüstri 4.0 çağında bilginin akışında SAP, Netsis vb. ERP yazılımlarının yanı sıra, makine öğrenimi (machine learning) aktif bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca; nesnelerin interneti (IoT – Internet of things) alanındaki gelişmeler de üretim sisteminin verimli çalışması için katkı sağlamaktadır. Nesnelerin interneti akıllı cihazların makineler arası (m2m – Machine to machine ) iletişimine dayalıdır. Elektronik akıllı cihazlar işlem ve verileri depolama kabiliyetlerine dayalı bir sistem ile kablosuz bağlantı üzerinden iletişim kurarlar (Çetin Gerger, 2019). Böylelikle; makine öğrenimi ve kurumsal kaynak yönetim yazılımlarında ürünlerin çevrim süreleri, teslim süreleri, kapasite miktarları, stok miktarları, ilk seferde kalite oranları, kalıp değişim süreleri vb. bilgiler yer almaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda hat dengeleme işlemleri yapılmaktadır. Yapay zekânın katkısıyla makineler her yaptığı işi kaydeder, yorumlar ve bir sonraki işte en uygun programı kullanarak üretir.

Heijunka tekniğinin başarısında SMED (Tekli dakikalarda kalıp değişimi) ya da hızlı kalıp değişimi olarak adlandırılan hızlı kalıp değişimi büyük öneme sahiptir. SMED yöntemi 1950'lerde Japonya'da Shigeo Shingo tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemle; çok maliyetli yatırımlara gereksinim duymadan iyi iş sonuçları almak mümkün olmuştur. Herhangi bir üretim tesisinde uygulanması son derece kolaydır. Saatler, hatta günler alan bazı kalıp değişimleri sadece dakikalar ile ifade edilebilecek zaman dilimlerinde gerçekleştirilebilmektedir (Shingo, 1985).

### **3.2.1 Miktar Dengeleme**

Eğer ürün ailesi benzer bir üretim süreci kullanıyorsa ya da seri üretim söz konusu ise bu yöntem kullanılır. Burada parti (Lot) büyüklüğü önemlidir. Müşteriden gelen talep sayıları en uygun parti büyüklüğüne göre haftanın günlerine eşit olarak dengelenerek dağıtılır. Heijunka yönteminde daha küçük partiler halinde üretim yapmak amaçlandığından, iş emirlerindeki üretim adetleri mümkün olduğunca küçük tutulur. Burada amaç müşteriden gelen talebin olduğu gibi üretime yansıtılması yerine, sipariş optimum partilere ayrılarak üretim bölümünde oluşabilecek üretim değişkenliklerini en aza indirmektir. Çünkü büyük partiler halinde üretim yapmak stok miktarını arttıracaktır. Stok miktarının mümkün olduğunca az olması nehirdeki su miktarının az olmasına benzer. Nehirde su seviyesi düşükken dipteki kayalar, devrilmiş ağaçlar vb. engelleyiciler görülebilir. Ancak su seviyesi yüksekken bunlar görünmez. Aynı şekilde firmadaki stok seviyesinin yüksek olması malzeme problemlerini, makine duruşlarını, kalite hatalarını vb. sorunların gizlenmesine neden olur. Bunun önüne geçmek ve üretimde yaşanabilecek sorunların tüm ürün serisine olan etkisini önlemek amacıyla daha küçük partiler halinde üretim yapmak, müşteriye sevkiyatın kesintisiz akışını sağlar.

### **3.2.2 Ürün Dengeleme**

Genellikle firmalar ürün hattında tek tip bir ürün değil birden fazla çeşitte ürün üretmektedirler. Bunun için en az sayıda setup yapmak için önce tek bir tip ürünün tümü üretilir daha sonra diğer ürün tiplerinin üretimi gerçekleştirilir. Örneğin; A, B ve C tipinde farklı ürünler olsun. Üretim bandı öncelikle A ürünü için hazırlanır ve A ürününden talep edilen tüm miktar üretilir. Daha sonra B ürünü için makine ve üretim bandı ayarları yapılır ve B ürününe ait tüm siparişlerin üretimi gerçekleştirilir. Daha sonra tüm bu ayarlar C ürünü içinde gerçekleştirilerek aynı süreçler yerine getirilir. Bu tür üretim belki setup sayılarını minimize etmek için uygun bir yöntemdir. Ancak; bu yöntem üretim hattında ciddi miktarda muda, muri ve mura'ya neden olacaktır. Örneğin; A ürünün bileşenlerinde yaşanabilecek en küçük bir olumsuzluk hattın

## ENDÜSTRİ 4.0 ÜRETİM SÜRECİNDE SÜREÇ DEĞİŞKENLİĞİNİN OPTİMİZASYONUNDA HEIJUNKA YÖNTEMİ

yavaşlamasına belki de durmasına neden olacaktır. Bu gecikme B ve C ürününe de yansıtacak, müşteri taleplerinin tümünde bir gecikmeye neden olacaktır. Ürün çeşitliliğine olan talebin artması, ürünlerin ömürlerinin azalması ve stokların önemli ölçüde azaltılma ihtiyacı dolayısıyla SMED ve hızlı değişim programları günümüzde her zamankinden daha popüler olmuştur (Dave ve Sohani, 2012). SMED yardımıyla setup sürelerinin tekli dakikalarda yapılıyor olması günlük üretim dengeleme yapılmasını kolaylaştırmakta ve birbirinden farklı ürünlerin birlikte üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bunun için öncelikle SMED çalışmaları yapılarak fabrikanın üretim hattı esnek bir hale getirilir. Üretim hattının esnek bir hale gelmesiyle üretim parti büyüklükleri küçültülerek karma tipte ürün üretilmesi sağlanır.

Klasik üretim sistemlerinde A, B ve C ürünlerin üretim şekli gelen sipariş miktarına bağlı olarak; AAAA, BBB, CCCCC vb. şekillerde yapılmaktadır. Burada her bir ürüne ait siparişin üretimi tamamen bittikten sonra diğer ürünlerin üretimine sırasıyla devam edilmektedir. Ancak; Toyota'nın Heijunka tekniğiyle üretim; ABCABCAACCB vb. türevlerinde yapılabilmektedir. Böylece; gün içinde dengeli bir şekilde her bir üründen üretmek mümkün hale gelmiştir. Tablo 1'de A, B, C ve D ürünlerinden oluşan günlük 40 adetlik bir siparişin olduğu varsayıldığında örnek bir Heijunka planı gösterilmiştir. Heijunka planında "x"ler her bir ürüne ait ikişer adetlik üretim miktarını göstermektedir. Tablo 'ya göre 40 adetlik siparişin üretim sıralaması ikişer adet olarak sırasıyla ACDBCDACDBACDBCDACDB olarak gerçekleşecektir.

**Tablo-1.** Örnek bir Heijunka üretim planı

Ürün Tipi	Üretim Miktarı																			
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
A	x						x				x						x			
B				x						x				x						x
C		x			x			x				x			x			x		
D			x			x			x				x			x			x	

Bu 40 adetlik sipariş Heijunka yöntemiyle değil de klasik yöntemle üretildiğinde üretim sıralaması AAAABBBBCCCCCDDDDDD şeklinde gerçekleşecektir.

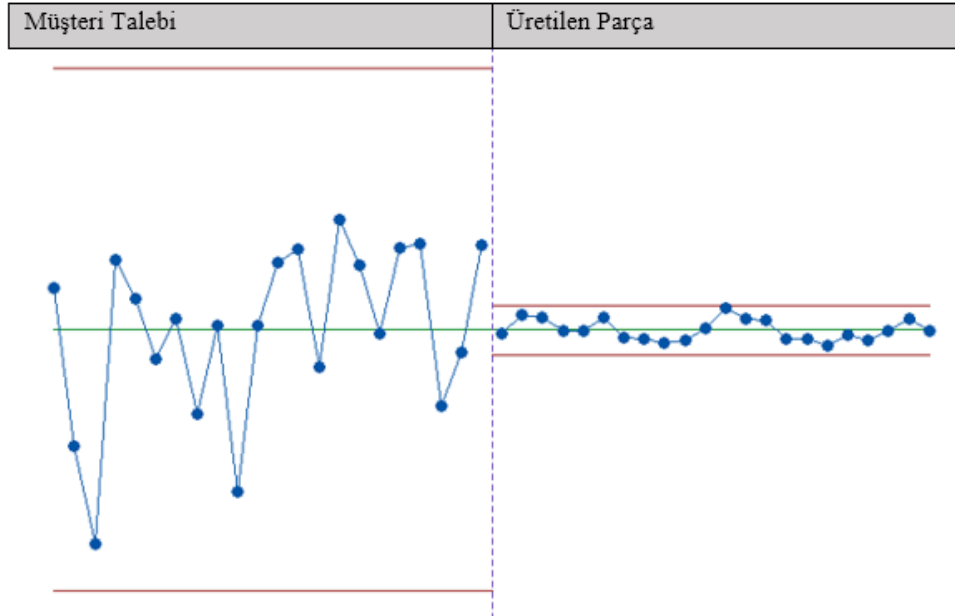
Ürün grubu karışımı ile gerçekleştirilen Heijunka üretim sisteminin en büyük avantajı herhangi bir ürün ailesinde yaşanan yarı mamul tedarik sıkıntısı, hata vb. duruşlarda üretimin tamamen

durmasının önüne geçmesidir. Herhangi bir sorun meydana gelmesi halinde diğer ürün aileleriyle üretime devam edilerek, sürekli akışın devamı sağlanabilmektedir.

### 3.2.3 Talep Dengeleme

Talep dengeleme, müşteri talebinin tahmin edilebilir bir modelinin oluşturulması temeline dayanır. Çünkü müşteri talepleri büyük oranlarda değişkenlik gösterir. Taleplerdeki değişimlerin izlenerek ve çeşitli ERP yazılımları yoluyla kapasite düzeylerine göre dengelenmesi gerekir. Bu dengelenme neticesinde üretimde yaşanabilecek aşırı değişkenliklerin önüne geçilmiş olunur.

Şekil 4’de bir örnek simülasyon verilmiştir. Bu örnekte müşteriden gelen aylık talepler görülmektedir. Bu talebin ortalaması 150 adettir. Ancak; değişkenliğin çok fazla olduğu görülmektedir. Bu taleplerin olduğu gibi üretime yansıtılması halinde ya kapasitenin çok altında ya da kapasitenin çok üstünde bir iş yükü oluşacaktır. Bu şekilde gerçekleştirilecek üretim şirketin performans göstergelerine (KPI – Key process indicator) olumsuz yansıyacaktır. Teslimatın zamanında ve istenilen kalitede gerçekleşmesinin önüne geçilecektir. Bu durumu önlemek için Heijunka talep dengeleme yönteminde talepler yine bir aylık bir zaman zarfında ERP yazılımları ya da yapay zekâ tarafından kapasite oranında eşit olarak dağıtılır. Böylece; ortalama adet yine 150’de sabit kalmasına rağmen değişkenlik önemli ölçüde azaltılır.



**Şekil-4.** Heijunka talep dengeleme yöntemiyle müşteri talebinin üretime kapasite oranında kararlı bir şekilde yansıtılması

## **ENDÜSTRİ 4.0 ÜRETİM SÜRECİNDE SÜREÇ DEĞİŞKENLİĞİNİN OPTİMİZASYONUNDA HEIJUNKA YÖNTEMİ**

Yalın Yönetim sisteminde kapasitenin yüzde yüz doldurulması istenen bir durum değildir. Üretime esneklik sağlanabilmesi için kapasitenin %90'lar civarında dolu olması istenir. Bunun nedeni; müşteriden gelen ani taleplerin ya da çeşitli nedenler dolayısıyla üretimi öne çekilen siparişlerin üretilmesi için esnekliğe duyulan ihtiyaçtır. Böylece; üretim bandında güvenlik kapasitesi bırakılarak, taleplerde yaşanan aşırı dalgalanmaların üretime olan etkisi azaltılır. Meydana gelebilecek muda, muri ve mura kayıpları en aza indirgenmiş olur.

### **4. HEIJUNKA'NIN BAŞARISIZ OLMA NEDENLERİ**

Diğer tüm iyileştirme çalışmalarında olduğu gibi Heijunka uygulamalarının tümü başarıyla sonuçlanmaz. Heijunka uygulamalarında da birçok olası başarısızlık nedeni vardır. Bunun pek çok olası nedeni bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda belirtilmiş olduğu gibi (Taleghani, 2010):

- ✓ Yönetimsel sorunlar.
- ✓ Kültürel sorunlar.
- ✓ Yönetim kaynaklı sorunlar
- ✓ Uygulama kaynaklı sorunlar.
- ✓ Teknik sorunlar.

Burada önemli olan başarısızlık nedenlerinin tanımlanması ve bertaraf edilmesidir (Gerger ve Firuzan, 2012). Birçok firma Heijunka'nın gerçek mantığını kavramamıştır. Bunun yerine kanban kartlarını kullanarak Heijunka yaptıklarını düşünmüşlerdir ve uygulama yapılacak bölüm öncelikli olarak doğru seçilmemiştir. Dolayısıyla pek çok uygulamada olduğu gibi bu girişimlerde başarısızlıkla sonuçlanmaktadır.

### **5. SONUÇ**

Günümüzde birçok Yalın Yönetim tekniği literatürde kendisine çok geniş bir yer bulmasına rağmen Heijunka yöntemi akademide ve endüstride kendisine hak ettiği bu yeri bulamamıştır. Bunun nedeni Toyota üretim sistemi mantığının tam olarak anlaşılabilmesi ve Heijunka'nın öneminin kavranmamasıdır. Çalışmanın ikinci bölümünde yer alan literatür araştırmasında Heijunka ile ilgili yazılan makalelerin 2008 ve sonrasında akademik alanda daha fazla dikkat çekmeye başladığı görülmektedir. Buna bağlı olarak bu alanda yapılan yayınların sayısının her geçen gün daha da artmakta olduğu görülmektedir. Akademik alandaki bu artış yavaş yavaş endüstri uygulamalarına da yansımaya başlamıştır. Heijunka tekniğinin uygulanması sonucu

firmanın; genel verimliliğinde artış, israflarında azalma, ürünün istenilen zamanda ve miktarda üretilmesi sağlanacaktır.

Heijunka tekniğinin uygulanması fazla mesai ile çalışma gereksinimini ortadan kaldırmıştır. Üstelik Heijunka ürün stoğunu arttırmadan ve fabrika kullanım alanında azalma sağlayarak üretimde değişen taleplerin karşılanmasını sağlamaktadır (İşler ve Güner, 2014).

Yapay zekâya sahip sistemler 2011 yılında gerçekleşen dördüncü endüstri çağında (Endüstri 4.0) aktif hale gelmiştir (Gerger, 2017). Çok büyük miktarlardaki verilerin depolanması, analiz edilmesi ve yönetilmesi bilişim sistemlerine olan ihtiyacı arttırmıştır. Bu nedenle; bu miktarlardaki verilerin ayrıştırılması ve anlamlı olanların kullanılmasında bilişim sistemlerine önemli görevler düşmüştür. Dördüncü endüstri çağında 3D yazıcılarda elde edilen ilerlemeler sayesinde müşterilerin marka bağımlılığı azalmaya başlamış onun yerine kişisel ihtiyaçlara bağlı müşteriye özgü ürünlerin talebi artmaya başlamıştır. Bu nedenle; değişen müşteri beklentileri firmaları üretim sistemlerini gözden geçirmeye teşvik etmiştir.

Heijunka yönteminin en önemli bileşenlerinden olan SMED’de Endüstri 4.0 ile birlikte yerini yavaş yavaş Tek dokunuşta kalıp değişimine (OTED – One-Touch Exchange of Die) bırakmaya başlamıştır. Artık kalıp değişimleri SMED’te olduğu gibi tekli dakikalarda değil; yapay zekâ ve yönetim bilişim sistemlerinin daha da gelişimiyle birlikte tek dokunuşla yani saniyenin onda biri seviyelerinde gerçekleştirilecektir. Bu ilerleme hiç şüphesiz ki Heijunka yönteminin endüstride daha da aktif olarak kullanılmasını sağlayacaktır.

## 6. KAYNAKÇA

Ayçin, E. (2016). Yalın Üretim Uygulamalarında İsrafin Azaltılması İle Performans Ölçütleri Arasındaki İlişkilerin Ve Etkile-Şimin Dematel Yöntemiyle Analizi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Yıl: 4, Sayı: 35, Aralık 2016, s. 325-353

Boysen, N., Fliedner, M. and Scholl, A. (2007). Sequencing mixed-model assembly lines: survey, classification and model critique. *European journal of operational research*, [In Press, Corrected Proof].

Çetin Gerger, G. (2019). *Tax Services and Tax Service Providers’ Changing Role in the IoT and AmI Environment*. In: Mahmood Z. (eds) *Guide to Ambient Intelligence in the IoT Environment*. Computer Communications and Networks. Cham: Springer.

## **ENDÜSTRİ 4.0 ÜRETİM SÜRECİNDE SÜREÇ DEĞİŞKENLİĞİNİN OPTİMİZASYONUNDA HEIJUNKA YÖNTEMİ**

Coleman, B. Jay and Vaghefi, M. Reza (1994). Heijunka: A key to the Toyota production system. *Production and Inventory Management Journal; Fourth Quarter 1994; 35, 4; ProQuest Central*, pg. 31-35.

Dave, Y. and Sohani, N. (2012). Single Minute Exchange of Dies: Literature Review. *International Journal of Lean Thinking, Volume 3, Issues 2 (December 2012)*.

Gerger, A. (2017). *Use of Six Sigma Method as A Process Improvement Technique* (Unpublished undergraduate dissertation). Dokuz Eylül University, Izmir.

Gerger, A. and Firuzan, A. R. (2012). Reasons of Failure in Lean Six Sigma Projects. *International Journal of Multidisciplinary Thought, 2 (3), 123–130*.

Hakansson, J., Skoog, E. and Eriksson, K. (2018). A review of assembly line balancing and sequencing including line layouts. *University west Department of Engineering Science 461 86 Trollhattan*.

Horn, G. S. and Cook, R.L. (1997). Heijunka transportation measure: Development and application. *Production and Inventory Management Journal; Fourth Quarter, 38 (4), ProQuest Central, 32-38*.

Hüttmeir, A., Treville, S. Ackere, A. Monnier, L. and Prenninger, J. (2009). Trading off between heijunka and just-in-sequence. *Int. J. Production Economics 118 (2009) 501–507*

İşler, M. and Güner, M. (2014). Heijunka Technique from Lean Production Tools and Its Apparel Applications. *8th International Izmir Textile and Apparel Symposium, April 2-5, 353-356*.

Jones, D. T. (2006). Heijunka: Leveling production. *Manufacturing engineering, 37(2), 29-36*.

Korytkowski, P. (2014). *Global Sensitivity Analysis of Heijunka Controlled Assembly Line*. Springer International Publishing: Switzerland. DOI:10.1007/978-3-319-07347-7

L.F. de Araujo and A.A. de Queiroz (2010). *A Conceptual Model for Production Leveling (Heijunka): Implementation in Batch Production Systems*. Springer: Germany

Liker, J. K. (2004). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. NY: McGraw-Hill.

Lippolt, C.R. and Furmans, K. (2008). Sizing of Heijunka-controlled Production Systems with Unreliable Production Processes. *IFIP International Federation for Information Processing*,



**ENDÜSTRİ 4.0 ÜRETİM SÜRECİNDE SÜREÇ DEĞİŞKENLİĞİNİN  
OPTİMİZASYONUNDA HEIJUNKA YÖNTEMİ**

*Volume 257, Lean Business Systems and Beyond, Tomasz Koch, ed.; (Boston: Springer), pp. 11–19.*

Matzka, J., Mascolo, M.D. and Furmans, K. (2012). Buffer sizing of a Heijunka Kanban system. *J Intell Manuf* (2012) 23:49–60, DOI 10.1007/s10845-009-0317-3

Ramekar, A. M., Muneshwar, V.D., Kute, A.S. and Choube, A.M. (2017). Concept of Heijunka. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology, Vol. 4, Special Issue 3, January 2017, DOI 10.17148/IARJSET.*

Rizvi, H. R. (2013). Application of Lean-Six Sigma Approach in a Laboratory Experimental Case Study. *International Journal of Lean Thinking, Volume 4, Issue 2 (December 2013).*

Sharma, M. (2018). *What is Heijunka and what are Muda Muri & Mura?*. Çevrimiçi [https://www.youtube.com/watch?v=sRbG\\_zjsrPs&t=141s](https://www.youtube.com/watch?v=sRbG_zjsrPs&t=141s)

Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Portland: Productivity Press Inc.

Swanson, R. E. (2008). A Generalized Approach to Demand Buffering and Production Levelling for JIT Make- to-Stock Applications. *The Canadian Journal of Chemical Engineering, Volume 86, October 2008, DOI 10.1002/cjce.20093.*

Taleghani, M. (2010). Key factors for implementing the lean manufacturing system. *Journal of American Science, 6 (7), 287-291.*

Womack, J. P. and Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. NY: Simon & Schuster.

Womack, J.P. & Jones, D.T. (2003). *Lean Thinking*. London: Simon & Schuster.