

# Ayar sürelerinin azaltılmasına yönelik yeni yaklaşım: SMED Taguchi yöntemi

Hakan ÇELİK<sup>a</sup>

<sup>a\*</sup> Endüstri Yüksek Mühendisi, e posta: hakan.celik@outlook.com.tr, Orcid: 0000-0003-4123-6725

## MAKALE BİLGİLERİ

Araştırma Makalesi  
Geliş Tarihi 19 Mart 2020  
Revizyon 9 Mayıs 2020  
Revizyon 15 Mayıs 2020  
Revizyon 23 Mayıs 2020  
Kabul Tarihi: 23 Mayıs 2020

## Özet

Üretim işletmeleri için önemli kayıp türlerinden birisi ayar kayıplarıdır. Ayar kayıplarının azaltılmasına yönelik SMED metodolojisi sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, çalışmalarda faktör etkilerinin dikkate alınmaması, çalışma sonuçlarındaki etkinliği kısıtlamaktadır. Çalışmanın amacı, ayar süresine etki eden faktörlerin şiddet düzeylerini de azaltılmasına katkı sağlayacak bir yöntem belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda, bir üretim hattında SMED metodolojisi uygulanarak birim ayar süreleri iyileştirilmiştir. SMED uygulamasının devamında, faktör etkilerinin belirlenmesi için, Taguchi Deney Tasarımı kullanılmıştır. Belirlenen faktörlerin etkilerinin azaltılması yönelik iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Çalışmanın etkinliği bir aylık üretim planına göre SMED Taguchi esaslı bir yöntem ile geleneksel SMED uygulaması karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, önerilen metotla toplam ayar süresinde 216 dakika daha fazla iyileşme sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** SMED, Taguchi, SMED Taguchi, OEE

## A new approach to shorten changeover times: SMED Taguchi methodology

### ARTICLE INFO

Research Article  
Received 19 March 2020  
Received in revised form 9 May 2020  
Received in revised form 15 May 2020  
Received in revised form 23 May 2020  
Accepted 23 May 2020

### Abstract

Changeover times are the most important loss type for manufacturing companies. SMED methodology is often used to reduce the loss of setup. However, due to the fact that factor effects are not taken into account in the studies, it limits the effectiveness of the study results. The aim of the study is to determine a method that will decrease the intensity levels of the factors affecting the changeover time. For this purpose, unit setup times have been improved by applying SMED methodology in a production line. In the continuation of SMED application, Taguchi Experimental Design was used to determine factor effects. Improvement studies have been carried out to reduce the effects of the identified factors. The effectiveness of the study was compared with SMED Taguchi based method and traditional SMED application according to one month production plan. According to the results, a further 216 minutes improvement was achieved with the proposed method.

**Key Words:** SMED, Taguchi, SMED Taguchi, OEE

## Giriş

Değişen ve daralan tolerans değerlerindeki müşteri spesifikasyonlarını karşılayabilme gereksinimi işletmelerin üretim kabiliyetlerini artırabilmek üzere yeni üretim teknolojilerine yönelmiştir. Bu yönelim, işletmelerin maliyet kalemlerinde değişikliğe sebep olduğu gibi indirekt maliyetlerin artmasına neden olmuştur. Azalan kar marjı ve artan maliyetler, üretim faaliyetlerinin daha etkin gerçekleştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Üretim etkinliğinin artırılması için gerçekleştirilen çalışmalar sonrası birçok yöntem ve yönetim prensibi ortaya atılmıştır. Bu yönetim prensiplerinden en önemlisi yalın üretim prensibidir. Yalın üretim prensibi, ürün dönüşümüne katkısı olmayan ve işletme kaynaklarını harcayan, israf niteliğindeki işlemlerin ortadan kaldırılarak optimum kaynak tüketimi ile faaliyetlerin gerçekleştirilmesine olanak tanıyan yönetim anlayışını (Brito vd., 2017).

Müşteri isteklerindeki ve beklentilerindeki sürekli değişim, üretim işletmelerinin tek tip üretim anlayışını, müşteri gereksinimlerine uyan çeşitlendirilmiş ve az miktarda partilerde üretim anlayışına dönüştürmüştür. Bunun sonucunda, başta ayar kayıpları olmak üzere faaliyetlerdeki kayıp miktarları artış göstermiştir. Yalın üretim prensibinin temel tekniklerinden birisi olan SMED (Single Minute Exchange of Die) metodolojisi, ayar veya hazırlık faaliyetlerinin iyileştirilmesi ve standartlaştırılması amacı ile sıklıkla kullanılmaktadır (Godina vd., 2018).

SMED metodolojisi, ayar sürecindeki adımları elimine edilmesi, sürelerinin azaltılarak olabildiğince üretim hattı veya makine duruyorken yapılmasına odaklanmaktadır (Çelik & Kamil, 2019). Ayar sürecine etki eden faktörler ve faktör etkilerinin incelenerek analiz edilmesi, çoğu zaman yöntemin geleneksel adımlarına odaklanıldığı için göz ardı edilmektedir. Oysaki ayar süresine etki eden faktörlerin analiz edilerek, etkin faktörlerin şiddetlerini azaltıcı önlemler alınmaması ayar sürelerinde dalgalanmaların devam etmesine neden olacaktır. Bunun sonucunda ise, temel amacı standartlaşmış ayar prosesini elde etmek olan uygulayıcıların değişkenlikleri kontrol edememesinden dolayı çalışmalarının etkinlik düzeyi kısıtlı kalacaktır.

Çalışmanın amacı, ayar sürelerinin iyileştirilmesinde SMED metodolojisine ilave olarak Taguchi Deney Tasarımı yöntemini uygulayarak çalışma etkinliğinin artırılmasını araştırmaktır. Diğer bir ifadeyle, ideal ayar sürelerinin elde edilmesi çalışmalarında SMED Taguchi yaklaşımının, geleneksel SMED uygulamalarına oranla katkılarını ortaya çıkarmaktır.

## Literatür Taraması

Üretim süreçlerindeki ayar kayıplarının en küçülenmesi problemi, birçok işletmenin temel problemlerinden birisidir. Öyle ki, toplam süreç kayıpları arasında ilk iki sıralamada genellikle ayar kayıpları ile arıza kayıpları yer almaktadır. Bu nedenle, birçok işletme ve akademik çalışmanın odak noktası, bu kayıpların azaltılması olmuştur.

Bu çalışmanın odak noktasında, ayar kayıpları söz konusu olduğu için arıza kayıplarının iyileştirilmesine yönelik temel prensip olan Toplam Üretken Bakım (TPM) metodolojisi üzerinde durulmamıştır. Ancak, çalışmada öncelikli iyileştirilmesi gereken kayıp türü, ayar kaybı olduğu için literatür taramasında da SMED ve Taguchi metodolojisi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu bölümde, SMED ve Taguchi üzerine son yıllarda yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Yapılan çalışmalar, kronolojik olarak sıralanarak özetlenmiş ve bu kısmın sonunda değerlendirilmiştir.

### Taguchi ile ilgili Literatür Taraması

Üretim makine ve ekipmanlarına ait parametreler, elde edilen ürünlerin kalite düzeyine etki ettiği gibi söz konusu makinaların etkinliğini de etkilemektedir. Özellikle, optimum hız parametrelerinin doğru ayarlanamaması gibi birim zamanda çıktı miktarını etkileyen parametre türlerinin, olağan değerinin altında çalıştırılması makinaların hız kaybı olarak etkinlik performansını düşürecektir. Sürece etki eden parametrelerin belirlenmesi ve her bir parametrenin seviyelerine bağlı olarak deneylere bağlı olarak, optimum seviyede parametre seviyelerinin tespit edilmesi ve mevcut durumdan optimum düzeye doğru iyileştirilmesi çalışması yürütülmesi ile verimlilik düzeyi artırılabilir. Ancak özellikle parametre ve seviyelerinin fazla olması deney sayısını artırmaktadır.

Ortogonal dizileri kullanan Taguchi deney tasarımı, söz konusu deney sayılarının azaltılması ve optimum parametre seviyelerinin belirlenmesinde etkin kalite araçlarından biridir.

Taguchi deney tasarımının, benzer uygulamalarda sağlamış olduğu başarılı sonuçlar ve süreç içerisinde deneysel işlem sayısının azaltılmasını sağlamasına bağlı olarak birçok uygulamada tercih edilen yöntem olmuştur. Bu kısımda, Taguchi deney tasarımını ele alarak uygulanan çalışmalar incelenmiştir. 2011 ile 2019 yılları arasında Taguchi deney tasarımını yöntem olarak ele alan çalışmalar kronolojik olarak sıralanarak Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Taguchi deney tasarımı ile ilgili çalışmalar

Yazar	Yıl	Yöntemler	Amaç
Taylan	2011	Taguchi	(90MnCrV8) malzemesinin işlenebilirlik performansının artırılması
Karagöz	2014	Taguchi	Kanat tasarımı sürecinde çalışma hassasiyetinin artırılması
Güneş	2015	Taguchi	Honlama prosesinde yüzey kalitesinin optimizasyonu
Şirin vd.	2015	Taguchi	AISI D2 takım çeliğinin frezelenmesi işleminde yüzey pürüzlülüğünün azaltılması
Sağlam	2016	Taguchi	Teğetsel silindirik taşlama operasyonunda kesme parametrelerinin belirlenmesi
Sünkür	2016	Taguchi	Ekstrüzyon işleminde proses parametrelerinin belirlenmesi
Ekincioglu	2016	SMED, Taguchi	Ayar süresinin azaltılması
Küçük	2017	Taguchi	Tornalama ve frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğüne azaltılması
Güvercin	2018	Taguchi	AISI 1040 imalat çeliğinin CNC torna tezgâhında işlenmesi sonucu elde edilecek yüzey pürüzlülüğü en küçüklenmesi
Rıdvanoğulları	2018	Taguchi	Tren tekerleği imalatında sonucu ideal yüzey pürüzlülüğünün elde edilebilmesi
Öz	2018	Taguchi	Doğal taşların işlenmesi sonrası elde edilen yüzey değerlerinin iyileştirilmesi
Şah	2018	Taguchi	SAE 4140 çeliğinin CNC freze tezgâhında işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün ve harcanan enerji miktarının azaltılması
Nancharaiah ve Satyanarayana	2018	Taguchi	Silindirik taşlama makinasında, yüzey pürüzlülüğü ve metal kaldırma orana etki eden sertlik, hız ve kesme derinliğine değerlerinin optimal değerlerinin belirlenmesi
Samtaş & Korucu	2019	Taguchi	Tepelenmiş Alüminyum 5754 alaşımının frezeleme işleminde kesme faktörlerinin optimizasyonu
Abe vd.	2019	Taguchi	Ti-6Al-4V/h-BN ikili kompozit malzemenin mikrosertlik ve bağli yoğunluk değerlerini etkileyen proses parametrelerinin ideal değerlerinin tespit edilmesi.
Charan vd.	2019	Taguchi	Hayali parametreler kullanarak, kaynak noktalarında optimum gerilme mukavemetinin elde edilmesi için gerekli parametre aralıklarının belirlenmesi.

#### SMED ile ilgili Literatür Taraması

SMED metodolojisinin yöntem olarak seçilerek ayar sürelerinin azaltılmasına yönelik akademik çalışmalarda, başta otomotiv sanayi olmak üzere, mobilya, kimya, kozmetik ve imalat sanayi gibi önde gelen sektörlerde çeşitli işletmelerin farklı üretim makine ve ekipmanları pilot çalışma prosesi olarak seçilmiştir.

Bu kısımda, son dönemlerde (2010-2019) SMED metodolojisi kullanarak odaklanılan üretim proseslerinin iyileştirmesini ele alan çalışmalar incelenmiş ve çalışmaların odak noktası, kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçları kronolojik sıralamaya göre Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. SMED metodolojisi ile ilgili çalışmalar

Yazar	Yıl	Yöntemler	Amaç
Mcintosh vd.	2010	SMED	SMED yöntemin kavramsal çerçevesini ve bir uygulama çalışması
Wang vd.	2010	Modelleme	Ayar Sürelerinde iyileştirme ve nispi maliyeti en aza indirecek model oluşturmak
Joshi & Naik	2012	SMED	Otomotiv sektöründe bir işletmede birim ayar süresinin azaltılması
Sundar vd.	2014	SMED	SMED'in yalın üretimin diğer araçları için gerekliliğini ortaya koymak
Karasu vd.	2014	SMED, Taguchi	Taguchi Deneylemleri ile parametreleri belirleyerek ayar süreleri azaltmak
Dhake vd.	2014	SMED	Pres hattında birim ayar süresinin azaltılması
Azizi & Manoharan	2015	SMED, FVSM	İç stok miktarının ve ayar süresinin indirgenmesi
Esa vd.	2015	SMED, SOP	İyileştirilmiş ve standartlaştırılmış ayar prosesi elde etmek
Chowdhury vd	2015	SMED, GEMBA, OEE	Birim ayar süresi ve hatalı parça miktarının azaltılması
Sarı	2017	SMED	Bağli elemanı üreten bir makinada birim ayar sürelerinde iyileştirmek
Brito vd.	2017	SMED	Torna tezgâhında birim ayar süresinin azaltılması
Karam vd.	2017	SMED	İlaç sektöründe bir işletmede ayar süresinin azaltılması
Deshmukh & Shete	2018	SMED	SMED metodolojisinin kavramsal yönünü incelemek
Otur vd.	2018	SMED	Kozmetik sektöründe bir işletmede birim ayar süresinin azaltılmasını sağlamak
Godina vd.	2018	SMED	SMED çalışması ile ilgili literatür incelemesi
Amrina vd.	2018	SMED	Enjeksiyon hattında ayar sürelerinin iyileştirilmesi
Kholil vd.	2018	SMED, Network/Pert	Ayar süresinin optimizasyonu ve birim ayar sürelerinin azaltılması
Martins vd.	2018	SMED	Elektron ışını makinasında ayar prosesinin iyileştirilmesi
Sarı	2018	TPM, SMED, 5S, Kaizen	Cıvata ve somun imalatı yapan bir işletmede verimliliğin artırılması
Tekin vd.	2019	SMED, JIDOKA	Taşlama tezgâhındaki vals silindiri değiştirme süresinin azaltılması
Çelik & Taşkın	2019	SMED, FTM, OEE	SMED'in üretim sürelerine ve birim maliyetine olan etkisini araştırmak
Çelik	2019	SMED, 5S, OEE	5S uygulamalarının ayar sürelerine ve ekipman etkinliğine olan etkisini belirlemek

#### Literatür Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Ayar süresinin azaltılması yönelik çalışmalarda, genel olarak birim ayar sürelerinin iyileştirilmesine odaklanılmış ve bu SMED metodolojisinin temel uygulamasını gerçekleştirmiştir. Diğer taraftan Taguchi yöntemi iki çalışma dışında bağımsız örnek çalışmalar üzerinden, sonucu en iyi hale getirecek parametrelerin belirlenmesi ve değerlendirilmesine odaklanmıştır.

Taguchi'nin SMED ile ilişkilendirildiği Karasu vd. (2014) çalışmasında, ele alınan makinadaki ayar sürecindeki en önemli duruş sebebi, parametre kaynaklı deneme ve seriye alma aşamasıdır. Bundan dolayı, parametrelerin belirlenmesi amacı ile Taguchi deney tasarımından faydalanmıştır. Bir diğer çalışma da

Ekincioglu (2016) ise, SMED metodolojisine ergonomik risk değerlendirmesini ve gri-esaslı taguchi yöntemini ilave ederek toplam ayar süresinin azaltılmasını sağlamıştır. Ekincioglu (2016), Taguchi uygulamasını ayar sürecin adımlarının bir tanesi üzerine uygulamıştır.

Literatür çalışmalarındaki değerlendirmeye bağlı olarak, bu çalışmanın farklı yönleri aşağıdaki gibidir.

- SMED uygulaması, bir makine veya ekipman üzerinde değil, birden fazla makine ve ekipmandan meydana gelen üretim hattının incelenmesi,
- Taguchi deneyleri, sadece parametre veya bir ayar adımından daha ötesinde, süreç adımlarının tamamına uygulanarak bütünsel olarak iyileştirmenin sağlanması,
- Sürece etki eden faktörlerin farklı olması,

Yalın üretim çalışmalarında ayar sürelerinin azaltılması kadar ayar sürecinin standartlaştırılması konusu da büyük önem taşımaktadır. Ayar sürecinin iyileştirme çalışmalarında SMED uygulamalarında, faktör analizlerine yer verilerek etkin faktörlerin iyileştirilmemesi, ayar sürelerinde dalgalanmalara neden olacağından ayar sürecin standartlaştırılmamasına neden olacaktır. Ayrıca, faktör etkilerinden dolayı en ideal koşullara ulaşamama durumu söz konusu olduğundan iyileştirme miktarı kısıtlı kalacaktır. Açıklamalara bağlı olarak, ayar sürelerinin iyileştirilmesinde ayar adımlarına etki eden farklı faktörlerin analiz edilerek toplamda birim ayar süresinin daha fazla azaltılmasını sağlamaya yönelik SMED Taguchi yaklaşımı ile literatüre katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

## Materyal ve Metod

Üretim işletmelerinde ayar sürelerinin azaltılmasına yönelik çalışma için bir vasıflı çelik üreticisinin soğuk çekme hattında uygulama gerçekleştirilmiştir.

Soğuk çekme hattının mevcut performansının belirlenmesi ve çalışma sonucunda etkinliğin ölçülebilmesi amacı ile OEE (Toplam Ekipman Etkinliği) kavramından faydalanılmıştır. Ayar sürelerinin iyileştirilmesi aşaması iki fazda incelenmiştir. Birinci fazda birim ayar süresinin iyileştirilmesinde SMED metodolojisinden faydalanılmış; ikinci fazda ise ayar süresine etki eden faktörlerin analizinde Taguchi Deney Tasarımı kullanılmıştır.

Bu bölümde, çalışmada kullanılan yöntemler incelenerek, uygulamanın kolay anlaşılabilir hale getirilmesi hedeflenmektedir.

### SMED (Single Minute Exchange of Die)

Ayar veya hazırlık süreleri, üretimin durduğu ve katma değer oluşturulmayan; bunun sonucunda planlanan üretim süresinin etkin kullanılmasına engel olan kayıp türlerinden birisidir (Esa, Rahman & Jamaludin, 2015).

Ayar sürecinin düzenlenmesi ve standartlaştırılması, sürelerin azaltılması amacı ile SMED yöntemi geliştirilmiştir. İlk olarak Mazda firmasındaki preslerde kalıp değişim sürelerinin azaltılması amacı ile Shigeo Shingo tarafından, işlem adımlarının iç ve dış işlem adımı olarak ayrıştırılması, dış hazırlık işlem sürelerinin toplam hazırlık sürelerinden düşürülmesi ile oluşturulmuştur (Sarı, 2017).

SMED yaklaşımında, ayar süreci iç ayar süreci ve dış ayar süreci olarak ikiye ayrılmaktadır. İç ayar süreci, makine ve ekipmanın mevcut üretim faaliyeti tamamlandıktan sonra bir sonraki üretimin seri imalata geçiş anına kadar geçen sürede gerçekleşen işlemlerde oluşmaktadır (Amrina, Junaedi & Prasetyo, 2018; Martins vd., 2018). İç ayar faaliyetleri, yalın üretim sürecinde israf kaynaklarından birisi olarak tanımlanmakta olup, azaltılması ve dış faaliyete dönüştürülmesi için çalışmalar yapılması gerekliliğini ortaya koyar (Deshmukh & Shete, 2018). Dış ayar süreci ise, mevcut üretim faaliyeti devam ederken sıradaki üretime geçiş yapılmadan önce yapılması gereken ayar faaliyetlerini ifade etmektedir. Ayar sürecinde tüm iç ayar faaliyetlerinin olabildiğinde azaltılması veya dış ayar sürecine dönüştürülmesi hedeflendiği kadar, dış ayar faaliyetlerinin de azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

Temel olarak iç ayar faaliyetlerinin azaltılarak en az sürede makine ve ekipmanların durmasını sağlamak olmak ile birlikte, yöntemin uygulanması aşamasında genel anlamda aşağıdaki aşamalar sırası ile uygulanmaktadır.

- Tesis Etkinlik Düzeyinin ve Çalışma Alanının Belirlenmesi
- Makine Mevcut Durumunun Analiz Edilmesi
- İç ve Dış Ayar Adımlarının Ayrıştırılması
- İç Ayar Faaliyetlerin Dış Ayara Dönüştürülmesi
- Ayar Adımlarının İyileştirilmesi
- Etkinliğin ölçülmesi

**Tesis Etkinlik Düzeyinin ve Çalışma Alanının Belirlenmesi:** İşletme yöneticileri ve çalışanlarının, iyileştirme çalışmalarına günlük çalışma temposu ve yoğunluğu içerisinde önemli kısmını ayıramaması çoğu zaman pratikte uygulanabilir ve sürdürülebilir çok sayıda projenin gerçekleşmesinin önüne geçmektedir. Bu nedenle çalışma katılımcılarının, zaman ve çaba gereksinimlerine oranla işletmeye en fazla katkı sağlayacak çalışma konularını belirlemesi ve sürdürülebilir şekilde, işletme ve organizasyon yapısına uygun sayıda projeyi önem sırasına göre uygulamaya almalıdır.

Önceliklendirme yapılacak zaman, ilk olarak tesisin tüm makine ve ekipmanlarının mevcut durumu, bütünsel olarak ele alınması gerekir. Mevcut durumlarda, tüm makine ve ekipmanların verimlilik düzeyinin belirlenmesi gerekir. Makinaların verimlilik düzeyini belirlemenin ve kıyaslanmanın en etkin yollarından birisi OEE oranına göre değerlendirme yaparak, en düşük seviyeli makine ve ekipmana önceliklendirme yapılmalıdır. Eğer çalışmanın odak noktasında ayar süreleri var ise, planlanan toplam üretim süresi içerisindeki ayar süresi payı en fazla olan üretim makinaları öncelikli olarak proje çalışmalarına dâhil edilmelidir.

**Makine Mevcut Durumunun Analiz Edilmesi:** Çalışma alanının veya iyileştirme çalışmalarının odağındaki makine ve ekipmanlarının mevcut durumunun başlangıç aşamasında belirlenmesi, gerek kullanılacak yöntemlerin belirlenmesi gerekse de alınacak aksiyonların belirlenmesi açısından önemlidir. Diğer taraftan mevcut durumun belirlenmesi, sürecin gelişimi ve çalışmanın etkinliğinin ölçülmesi konusunda kıyaslama olanağı sağlayacaktır.

Süreç iyileştirme çalışmalarında mevcut durumun analizinin iki fonksiyonu vardır. Birinci fonksiyonu, işletmenin veya sürecin genel kayıp ağırlığını ortaya çıkartarak süreçlerin veya süreçlere ait kayıp türlerinin öncelikli sıralamasının elde edilmesini sağlamaktır. İkinci fonksiyonu ise, kayıp türlerine etki eden faktörleri ve ağırlıklarını ortaya çıkartılarak iyileştirme yöntemlerinin ve aksiyonlarının belirlenmesine olanak tanımaktır.

**İç ve Dış Ayar Adımlarının Ayrıştırılması:** Üretim ayar faaliyetlerinin gerçekleşme süresi kadar gerçekleştiği zaman diliminin makinanın çalışma durumuna göre zamansal konumu makine verimliliği açısından kritik öneme sahiptir. Ayar faaliyetlerinin makinanın çalışma durumuna göre zamansal konumu, daha önceki kısımlarda iç ve dış ayar faaliyet olarak tanımlanmıştır.

Shingo 'ya göre (1985), ayar prosesi işlemlerinin %30 ile %50 arasındaki payı dış ayar prosesi olarak gerçekleştirilebileceği olanağı vardır (Tanık, 2010). Bu yargı, iç ve dış ayar adımlarının ayrıştırılmasının, üretim sahasında ayar prosesinde herhangi bir adımda iyileştirici faaliyetlerde bulunmadan, sadece organizasyonel düzenleme ve çalışma sistematiği ile belirtilen oranda birim ayar süresinin azaltılabileceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

İç ve dış ayar adımlarının ayrıştırılması aşaması incelendiğinde, üretim işletmelerinde kronik olarak arama, temizleme ve stoklama faaliyetlerinin iç ayar adımı olarak gerçekleştirildiği sonucuna ulaşılmıştır. Örneğin, bir pres hattında sıradaki üretime ait kalıpların, bir önceki üretim bittiğinde aranması, eksiklerinin giderilmeye çalışılması, makinanın yanına taşınması ve değişim sonrası eski kalıbın benzer faaliyetlerle rafına kaldırılması işlemi büyük oranda iç ayar adımı olarak gerçekleşmektedir.

**İç Ayar Faaliyetlerinin Dış Ayara Dönüştürülmesi:** Ayar adımlarının zamansal konumunun, dış ayar işlemlerinin gerçekleştirildiği makine çalışırken yapılabilmemesine yönelik çalışmalarda, ilk olarak iç ve dış ayar adımlarının ayrıştırılmasından sonra geriye kalan iç ayar adımlarının zamansal konumunun değiştirilmesi için ikincil olarak iç ayar faaliyetlerinin dış ayara dönüştürülmesi çalışmaları gerçekleştirilmelidir.

**Ayar Adımlarının İyileştirilmesi:** SMED metodolojisinin saha uygulamasının son aşaması ayar adımlarının iyileştirilmesi aşamasıdır. Bu kısım, çalışma sonuçlarının şekillendirildiği ve ayar adımlarının zamansal konumunun ve işlem süresinin belirlendiği aşamadır.

Ayar adımlarının iyileştirilmesi, kendisinden önceki aşamalardan birikimli olarak düzenlenmiş ve dönüştürülmüş olarak gelen iç ve dış ayar adımlarının işlem sürelerinin azaltılması ve mümkünse ortadan kaldırılmasına yönelik sürekli iyileştirme faaliyetlerinden oluşmaktadır. Bu nedenle, ayar adımlarının iyileştirilmesi aşaması dögüsel olarak kabul edilebilmektedir. Bu çıkarsamanın nedeni ise, yalın üretim felsefesi altında yatan sürekli iyileştirme. Her bir

adımın sonsuza kadar iyileşebileceği düşüncesinden yola çıkarak, bu adımın döngüsel olarak uygulanması gerekliliği savunulmuştur. Her döngünün sonu, çalışma etkinliğinin değerlendirilmesi ile tamamlanmalıdır.

**Çalışmanın Etkinliğinin Ölçülmesi:** Çalışma ekibi, çalışma sürecinin sonucunda elde edilen iyileştirme oranlarını değerlendirerek, çalışma öncesi belirlenen hedef değere ulaşıp ulaşılmadığını belirlemek ister. Çalışma etkinliğini belirlemek için genel anlamda performans anahtarlarından faydalanılmaktadır.

Etkinlik değerlendirme aşamasında performans anahtarı seçimi, daha çok çalışma ekibinin belirleyeceği ve hedeflenen değer hakkında bilgi veren ve açıklayan bir gösterge olmalıdır. Bu nedenle, her bir SMED uygulamasında benzer performans anahtarları kullanılabilirliği gibi farklı performans anahtarları da tercih edilebilmektedir. Genel anlamda etkinliğin ölçülmesi amacı ile sıklıkla % ayar süresinde azalma, ekipman uygunluğunun artırılma oranı, ayar süresinin iş gücü tasarrufuna etkisi, birim maliyete etkisi ve OEE performans anahtarları kullanılmaktadır. Söz konusu makine etkinliği ve verimlilik kayıpları olduğunda, belirtilen performans anahtarları içerisinde en sık kullanılan performans anahtarı OEE'dir (Chen & Meng, 2010).

### OEE (Toplam Ekipman Etkinliği)

İşletme yönetiminin, üretim etkinliğinin izlenebilirliği kolaylaştırmak amacıyla başvurduğu özet üretim sonuçlarına performans göstergeleri adı verilmektedir. Performans göstergeleri, her bir faaliyet için farklı olabildiği gibi paydaşların beklentilerine göre değişiklik göstermektedir. Üretim işletmelerinde, makine ve ekipmanların etkinlik düzeyini gösteren en önemli göstergelerinden birisi OEE'dir.

Yalın üretim tekniklerinden TPM (Toplam Üretken Bakım) yapısının temel ve en önemli göstergelerinden birisi olan OEE kavramı, toplam ekipman etkinliği, genel ekipman etkinliği, tesis ekipman etkinliği olarak da tanımlanmaktadır (Çelik, 2018). OEE kavramı, ekipmanların genel etkinlik düzeylerini kullanılabilirlik, performans ve kalite alt göstergeleri yardımı ile göstermektedir (Koçak, 2015).

Kullanılabilirlik, planlanan üretim süresi içerisindeki reel çalışma payıdır. Diğer bir ifade ile planlanan üretim süresi içerisinde plansız duruşların çıkartılması ile elde edilen değer, planlanan üretim süresine oranıdır (Denklem 1)

$$Kullanılabilirlik = \frac{Reel Çalışma Zamanı}{Planlı Çalışma Zamanı} \quad (1)$$

Performans, reel üretim süresi içerisinde gerçekleşen üretim miktarının, gerçekleşmesi gereken üretim miktarına oranı olarak ifade edilmektedir. Performans kayıpları, genel anlamda hız kayıpları ve küçük duruşlar nedeniyle oluşmaktadır. Yapılan tanımlamaya bağlı olarak, performans Denklem 2 ile hesaplanmaktadır:

$$Performans = \frac{Reel Üretim Miktarı}{Yapılabilir Üretim Miktarı} \quad (2)$$

Kalite ise, gerçekleşen üretim miktarı içerisinde, müşteri spesifikasyonu sağlayan ürün oranıdır (Dökme & Taner, 13). Kalite oranı, Denklem 3 ile hesaplanabilmektedir.

$$Kalite = \frac{İyi Parça Miktarı}{Toplam Parça Miktarı} \quad (3)$$

Kullanılabilirlik, performans ve kalite tanımlarına bağlı olarak OEE oranı Denklem 4 ile ifade edilebilir:

$$OEE = Kullanılabilirlik * Performans * Kalite \quad (4)$$

Kavramsal yapısını uygun olarak kurulan bir OEE sisteminde, elde edilen değerlendirmesi amacı ile beklenen bir dünya standardı oluşturulmuştur. Buna göre, makine ve ekipmanlar için beklenen OEE verimlilik düzeyinin %85 ve üzerinde olması hedeflenmektedir (Gupta & Garg, 2012).

### Taguchi Deney Tasarımı

Taguchi yönteminin temeli ve çıkış noktası olarak kabul edilen deney tasarımı, İngiliz bilim adamı R. Fisher tarafından ilk olarak tarım alanında uygulanmaya başlamıştır. Özellikle tarım alanında elde edilen başarılar ve uygulamanın Amerika'nın tarım sektöründe elde ettiği başarıları katkı sağlaması, yöntemin kimya ve ilaç gibi farklı sanayilerde de uygulanmasını sağlamıştır. 1970 yıllarına kadar üretim ve imalat sektöründe uygulama alanı bulamayan deney tasarımı, Japon bilim adamı Genichi Taguchi tarafından kuramsal yapıda önemli değişiklik yapılmayıp, üretim uygulama için yenilikler yapması ile kullanım oranı artmış ve devam eden dönemde Taguchi deney tasarımı olarak adlandırılmıştır (Karagöz, 2014).

Taguchi deneyinin temel amacı, müşteri gereksinimlerinin ve işletme hedeflerini karşılayabilecek yeterlilikte çıktılar (ürün, proses yeterliği vb.) elde edilebilmesine etki eden faktörlerin ve faktör seviyelerinin belirlenmesidir. Bu sayede, çıktılara etki eden faktörler üzerine yoğunlaşarak ve çıktı üzerindeki etkilerinin azaltılmasına yönelik çalışma yapılarak hedef değer etrafındaki değişkenliğin azaltılmasını sağlamaktır (Ekincioğlu, 2016; Sağlam, 2016).

Taguchi deneyinin metodoloji dikkate alındığında uygulama adımları genel olarak altı bölüme ayrılmıştır (Sünkür, 2016; Küçük, 2017):

- Problemin belirlenmesi
- Probleme etki eden faktörlerin ve seviyelerinin tespit edilmesi
- Ortogonal dizinin seçilmesi
- Deneyin gerçekleştirilmesi ve deney sonuçlarının alınması (S/N grafiği ya da yanıt Tablosu)
- Anova Varyans Analizi

**Problemin Belirlenmesi:** Çalışma alanında gerçekleştirilen faaliyetlerin genel anlamda performansına etki eden kusurların, eksikliklerin veya diğer bir ifade ile problemin ortaya çıkarılması aşamasıdır.

Bu aşamada, eğer odaklanılan proses veyahut çalışma alanı içerisinde problem sayısı birden fazla ise, işletme ve müşteriye olan etkisi en fazla olan problem çalışma konusu olarak öncelikli olarak incelenmelidir.

**Faktör ve Faktör Seviyelerinin Tespit Edilmesi:** Taguchi deneyinde yer alacak faktörler ve faktör seviyeleri, problemin türüne, çalışma ve işletme koşullarına bağlı olarak değişecektir. Bu nedenle, aynı fabrikanın farklı tesislerinde aynı problem üzerinde odaklanılsa bile, probleme etki edecek faktörler ve seviyeler değişkenlik gösterebilmektedir.

Faktör ve seviyelerinin belirlenmesi konusu, çalışmanın önemli bir spesifikasyonu olduğu için çalışma alanına ya da sürece etki eden, dâhil olan tüm gerekli çalışanların faktör ve seviyelerinin belirlenmesi aşamasına katılması gereklidir. Bu aşamada, genel anlamda beyin fırtınası, ishakawa diyagramı gibi problem çözüme metodlarından faydalanılarak, probleme etki eden faktörler belirlenmektedir. Faktör seviyeleri ise, yine katılımcı görüşlerine, çalışma konusu üzerine elde edilmiş mevcut durum analizine bağlı olarak belirlenir ve kategorize edilmektedir (Taylan, 2011).

**Ortogonal Dizinin Seçilmesi:** Ortogonal dizi, deney sayısını önemli ölçüde azaltan dengelenmiş dizi anlamına gelmektedir. Ortogonal dizi seçimi, deney probleme etki eden faktörlerinin seviyelerine bağlı olarak hesaplanan toplam serbestlik derecesine göre belirlenmelidir. Hesaplanan toplam serbestlik derecesinden daha büyük değere sahip olan ortogonal dizi uygun dizi olarak seçilmektedir (Ekincioğlu, 2016).

Bir faktör için serbestlik derecesi kavramı, söz konusu faktöre ait seviye sayısının bir eksiğine eşit olan değer olarak tanımlanabilir. Diğer taraftan, iki faktör arasından bir etkileşim söz konusu ise etkileşime ait serbestlik derecesi, iki faktörün serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir [18].

Toplam serbestlik derecesi  $V_T$ , faktörlere ait serbestlik dereceleri  $V_A$  ve  $V_B$ , hata serbestlik derecesi  $V_0$ , faktörlerin etkileşimi serbestlik derecesi  $V_{A*B}$ , faktör seviyesi  $k_A$  ve dizideki deney sayısı  $N$  olarak tanımlanmak üzere, toplam serbestlik derecesi Denklem 5, A faktörünün serbestlik derecesi Denklem 6, A ile B denkleminin etkileşiminin serbestlik derecesi Denklem 7 ve hata serbestlik derecesi Denklem 8 ile hesaplanabilir:

$$V_T = N - 1 \quad (5)$$

$$V_A = k_A - 1 \quad (6)$$

$$V_{A*B} = V_A * V_B \quad (7)$$

$$V_0 = V_T - (V_A + V_B + V_{A*B}) \quad (8)$$

Hesaplanan serbestlik derecesi hangi dizinin deneme sayısına uygun ise o dizi seçilmelidir. Hesaplanan toplam serbestlik derecesinin değeri, dizinin deneme sayısından en fazla bir eksik olabilir. Eşit olması durumunda bir üst dizi tercih edilmelidir. Taguchi deneylerinde sıklıkla 2 seviyelilerde L4, L8, L12 ve L32; 3 seviyelilerde ise L9, L18 ve L27 dizileri kullanılmaktadır (Küçük, 2017).

**Deneyin Gerçekleştirilmesi ve Sonuçların Alınması:** Ortogonal dizide belirtilen her bir satırın, her bir sütunda yer alan faktöre ait seviye kriterine bağlı olarak uygun çalışma koşulları altında deney gerçekleştirilir. Yapılan deney sayısının artması, çalışmada elde edilecek sonuçların doğruluğunun ve hassasiyetini arttıracaktır. Bu nedenle deneyler birkaç kez tekrarlanmalıdır.

Deney sonucunda elde edilen değerlerine bağlı olarak tolerans tasarımı yapılırken en büyük en iyi, en küçük en iyi ve hedef değer en iyi olmak üzere üç kalite değişkeninden faydalanılır.

En büyük en iyi kavramı; kalite değişkeni olan  $Y$ 'nin hedef değeri sonsuzdur. Diğer bir ifade ile üst sınır değeri yoktur. En büyük en iyi kalite değişkenine göre çalışma devam ettirileceğinde S/N oranının hesaplanması Denklem 9'a göre yapılmalıdır.

$$S/N = -10 \left( \log \left( \sum \frac{1}{Y^2} \right) / n \right) \quad (9)$$

En küçük en iyi kavramı; kalite değişkeni  $Y$ 'nin hedef değeri sıfırdır ve negatif yönde bir sapma göstermemektedir (Güneş, 2015). En küçük en iyi kalite değişkenine göre çalışma devam ettirileceğinde S/N oranının hesaplanması Denklem 10'a göre yapılmalıdır.

$$S/N = -10 \left( \log \left( \sum Y^2 \right) / n \right) \quad (10)$$

Hedef değer en iyi kavramı; toleransın iki yönlü durumu söz konusudur. Makine ve makine parçası imalatlarına yönelik toleranslarda iki yönlü tolerans kullanılması örnek olarak gösterilebilir. Hedef değer en iyi değişkenine göre çalışma devam ettirileceğinde S/N oranının hesaplanması Denklem 11'e göre yapılmalıdır.

$$S/N = 10 \left( \log(Y^2) / s^2 \right) \quad (11)$$

Hedef değer en iyi kavramı için tanımlanan bu formül, standart sapmanın ve ortalamanın belirli bir hedef değerde olması istendiği durumlarda tercih edilmelidir.

**Anova Varyans Analizi:** ANOVA testi, deney yapılan parça gruplarının ortalama performansları arasındaki farklılığı belirlemek amacı ile kullanılan istatistiksel değerlendirme aracıdır. Varyans analizi ise, deneyde bulunan tüm varyasyonları bileşenlerine ayırıştırarak matematiksel bir tekniktir ve serbestlik derecesi, kareler toplamı ve varyans gibi niceliksel değerlerin hesaplanmasına katkı sağlamaktadır. Varyans analizinde genel olarak kareler toplamı, serbestlik derecesi hesaplanması, varyans değerinin bulunması, F değerinin bulunması, % dağılımın bulunması ve F değerlerinin Tablo F değerleri ile karşılaştırılması ve yorumlanması işlemlerinden oluşmaktadır.

Analiz içerisindeki toplam kareler toplamı ( $SS_T$ ), deneylerde elde edilen gözlem sonuçlarının ( $y_i$ ) kareleri toplamı ile tüm verilerin aritmetik ortalamasının karesinin ( $T$ ) ortalaması arasındaki farka eşittir. Diğer bir ifade ile kareler toplamı Denklem 12 ile ifade edilebilir.

$$SS_T = \left[ \sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N}; N \equiv \text{Toplam veri sayısı} \quad (12)$$

Bir faktöre ait kareler toplamı ( $SS_x$ ), söz konusu faktörün her bir seviyesi için ayrı ayrı S/N oranları toplamının karesi ortalama değerleri hesaplanarak toplanır. Sonrasında tüm verilerin aritmetik ortalamasının karesinin ortalamasından çıkartılır. Bu ifadeye bağlı olarak; örneğin A faktörünün kareler ortalaması Denklem 13 ile hesaplanmalıdır.

$$SS_A = \left[ \sum_{i=1}^{k_A} \frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right] - \frac{T^2}{N}; k_A \equiv A \text{ faktörü kademe sayısı} \quad (13)$$

Hata kareler ortalaması ise, tüm değerlerin kareler toplamından, tüm faktörlerin kareler toplamı arasındaki farka eşittir.

Varyans analizi içerisinde hesaplanan ikinci değer, serbestlik derecesidir. Faktörlerin serbestlik derecesi değerlerine bağlı olarak ise, hatanın serbestlik derecesi belirlenmektedir. Hatanın serbestlik derecesi, toplam serbestlik derecesi ile faktör ve faktör etkileşimi serbestlik dereceleri toplamı arasındaki farka eşittir. Üçüncü hesaplama değeri olan varyans değeri, faktörlerin kareler toplamının o faktörün serbestlik derecesine oranı ile hesaplanmaktadır. Örneğin A faktörü için varyans değeri Denklem 14'deki gibi tanımlanabilir.

$$W_A = SS_A / V_A \quad (14)$$

Taguchi deneyinde belirlenen faktörlerin birbirlerine kıyasla önem derecesinin belirlenmesi amacı ile F-testi uygulanmalıdır. Faktörlerin F değeri, faktörün hesaplanan varyans değerinin hata varyansına oranı Denklem 15 ile elde edilmektedir.

$$F_A = \frac{W_A}{W_B} \quad (15)$$

Hesaplanan F değeri ile belirlenen güven seviyesindeki F Tablo oranı karşılaştırılır. Elde edilen Tabloda, faktörler arası kıyasla F değeri daha büyük olan faktör daha etkin olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

## Uygulama

Standartlaştırmış ayar sürecinin elde edilmesi ve işlem sürelerinin azaltılması amacı ile SMED ve Taguchi Deney Tasarımı metodları birlikte kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, vasıflı çelik üreticisi bir işletmenin soğuk çekme hattında gerçekleştirilen uygulama çalışması bu bölümde incelenmiştir.

### SMED ile Ayar Sürecinin İyileştirilmesi

Bu kısımda, ayar süreci adımlarının iyileştirilmesi amacı ile SMED metodolojisi uygulanmıştır. Amaç doğrultusunda, uygulama yapılan soğuk çekme hattı hakkında bilgi verildikten sonra, iç ve dış ayarların ayrıştırılması, iç ayarın dış ayara dönüştürülmesi ve ayar adımlarının iyileştirilmesi adımları uygulanmıştır. Çalışma etkinliğinin ölçümü aşaması, bir sonrası uygulama metodu olan Taguchi Deneyi sonucu elde edilen sonuçlar ile birlikte farklı "Çalışma Etkinliğinin Değerlendirilmesi" başlığı altında incelenecektir.

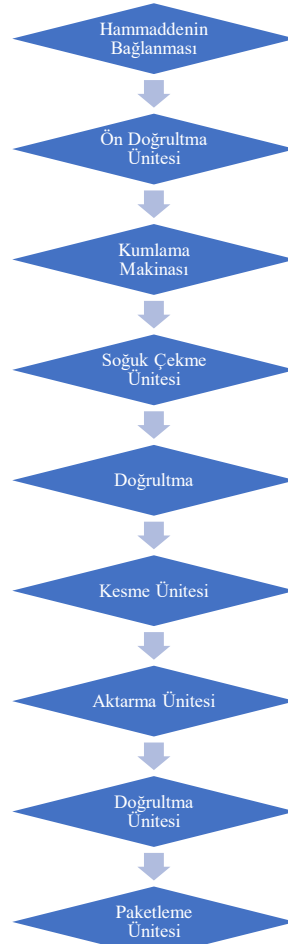
Çalışma bütünlüğünün korunması için, her bir uygulama adımı sonrası azaltılan işlem süreleri bu kısmın sonunda Tablo 7’de özetlenmiştir.

**Üretim Prosesi Hakkında Bilgi:** Parlak çelik, sıcak haddeleme prosesleri sonrası elde edilmiş bobin ya da çubuk haldeki hammaddelerin soğuk çekme (cold drawing) veya kabuk soyma (peeling) operasyonlarında işlem görmesi sonrası oluşan hassas çap, boy ve yüzey toleranslarındaki ürünlere verilen isimdir. Genel olarak karbonlu çelikler, düşük alaşımlı çelikler, semestasyon, ıslah, otomat ve yay çelikleri gibi hammaddeler parlak çelik imalatlarında kullanılmaktadır.

Parlak çelik imalatı yöntemlerinden birisi olan soğuk çekme işlemi, herhangi bir ön ısıtma işlemine tabi tutulmadan yüzey temizleme işlemi yapılmış olan hammaddelerin soğuk çekme kalıplarından çekme esasına bağlı olarak geçmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Soğuk çekme işleminden önce, hammadde ön doğrultma ve yüzey temizleme işlemlerinden geçmelidir. Özellikle yüzey temizleme işlemi, soğuk çekme sırasında akışın kolaylaştırılması ve kalıbın ömrünün artırılması açısından önemlidir. Soğuk çekme işlemi aynı zamanda, malzemenin mekanik özelliklerini iyileştiren bir işlem türüdür.

Soğuk çekilmiş ürünler, hammadde türüne bağlı olarak kangaldan soğuk çekme ve çubuktan kargal soğuk çekme olmak üzere iki farklı tip üretim hatlarında imal edilebilmektedir. Soğuk çekme hatları, üzerinde birden fazla makine veya üniteyi bulunduran sistemlerdir. Buna bağlı olarak her makine ve istasyonda farklı ayar adımları ve kuralları geçerli olduğundan, ayar sürelerinde çeşitlilik oluşmaktadır.

Çalışmada ele alınan soğuk çekme hattında, dokuz makine ve üniteden oluşmaktadır. Hat üzerinde, makinaların dizilimi Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Soğuk Çekme Prosesi

Şekil 1’de akışı tanımlanan soğuk çekme hattı  $\phi 16$  mm ile  $\phi 45$  mm arasında malzeme üretim kapasitesine sahiptir. Bu geniş aralık ve ünitelerin ayar bağımsızlığından dolayı, ayar sürelerinde iki sipariş arası ayar süresinde çaplara göre değişim söz konusu olacaktır. Örneğin;  $\phi 16$  mm olan bir siparişin ardından  $\phi 27$  mm bir siparişe geçiş süresi ile  $\phi 43$  mm geçiş süresi arasında farklılık olması prosesin yapısı gereği doğaldır. Prosesin doğası gereği, iyileştirme çalışmalarında diğer çalışmalardan farklı olarak ayar süreci bütünsel olarak değil, ayar adımlarının iyileştirilmesi üzerinden değerlendirilecektir.

**Makine Mevcut Durumunun Belirlenmesi:** İyileştirme noktalarında detaylarının belirlenmesi ve çalışma öncesi mevcut durumun ortaya konması, gerek iyileştirme aksiyonlarının önceliklendirilmesi gerekse çalışma sonrası çalışma etkinliğinin ölçülmesi açısından önemlidir.

Ayar sürelerinin iyileştirilmesi çalışmalarında öncelikli olarak üretim hattının performans düzeyinin, ayar prosesi adımlarının ve bu adımlara ait uygulama sürelerinin belirlenmesi gerekmektedir. İlave olarak, SMED uygulamasının temel kavramlarından olan iç ve dış ayar kavramlarına uygun olarak ayar işlemlerinin hangi kategori içerisinde gerçekleştiği belirlenmelidir. Üretim makine ve ekipmanlarının, verimlilik düzeyinin değerlendirilmesi amacı ile sıklıkla OEE faydalanılmaktadır.

Soğuk çekme hattının etkinlik düzeyinin belirlenebilmesi için, üretim takip sistemden on iki aylık verileri değerlendirilmiş ve incelenen boyunda elde edilen ortalama performans verileri Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Soğuk çekme hattı yıllık OEE verileri

Kullanılabilirlik	Performans	Kalite	OEE
% 53,40	%70,05	%99,57	%37,03

Kayıp analizi açısından OEE’in en önemli alt unsuru olan Kullanılabilirlik, planlanan üretim süresi ve toplam duruş süreleri içerisindeki kayıp türlerinin miktarını ve oranını belirlenmesi ve izlenmesi aşamasında önemli katkı sağlamaktadır. İncelenen dönem içerisinde, soğuk çekme hattındaki kullanılabilirlik verileri göre, toplam ayar süresinin miktarı ve oranı Tablo 4’de özetlenmiştir.

Tablo 4. Toplam ayar süresi ve oranı

Zaman Tipi	Süre (dk)	Toplam Duruş Payı (%)	Planlanan Üretim Payı (%)
Planlanan Üretim Süresi	152184	-	-
Toplam Duruş Süresi	74466	-	%48,93
Toplam Ayar Süresi	30054	%40,35	%19,75

Tablo 4'e göre, planlanan 152184 dakikalık işlem süresinin % 48,93'de duruşlar meydana gelmektedir. Bu duruşlar içerisinde en fazla pay 40.35% oranı ile toplam ayar süreleridir. Toplam ayar sürelerinin, planlanmış üretim süresi içerisindeki payı 19.75%'dir.

Ayar işlemlerine ait mevcut durumun belirlenmesi için, üretim sahasında ayar esnasında alınan video kayıtları kullanılmıştır. Kayıtlar alındığında herhangi bir iyileştirme çalışması gerçekleştirilmemiş ve mevcut durum ortaya konulmuştur. Video incelemeleri sonucunda belirlenen ayar işlemlerine ait süreler ve söz konusu ayar işlemlerinin iç ve dış ayara kategorisinden hangisinde gerçekleştiği Tablo 5'de gösterilmiştir.

Tablo 5. Soğuk çekme hattı mevcut durum özeti

Üretim Hattı Ünitesi	Ayar İşlemi	Ortalama Ayar Süresi (sn)	Mevcut Durum (İç/Dış)
Hammadde Bağlama Bölgesi	Bir Sonraki Siparişe Ait Hammaddenin Hazırlanması	182	İç
Ön Doğrultma Ünitesi	Ön Doğrultma Makara Ayarı	176	İç
	Altköşe Makara Değişimi	273	İç
Kumlama ve Temizleme Makinası	Kumlama Kanalının Malzeme Çapına Göre Ayarlanması	43	İç
	Malzeme İtme Çenesi Değişimi	210	İç
Soğuk Çekme Ünitesi	Soğuk Çekme Kalıbı (Mühre) Değişimi	208	İç
	Kovan Değişimi	157	İç
	Çekme Çenesi ve İtme Çenesi Temizleme	259	İç
	Çekme Çenesi Değişimi	112	İç
Soğuk Çekme Sonrası Doğrultma Ünitesi	Doğrultma Ünitesi Makara Ayarı	262	İç
	Kesme Öncesi Aktarma Borusu Değişimi	72	İç
Kesme Ünitesi	Kesme Burcu Değişimi	138	İç
	Kesme Sonrası Aktarma Borusu Değişimi	72	İç
	Kesme Ünitesi Makara Ayarı	47	İç
	Aktarma Ünitesi Öncesi Aktarma Borusu Değişimi	76	İç
Aktarma Ünitesi	φ18 ve altı Aktarma Ünitesi Ayarı	612	İç
	Aktarma Ünitesi Ayarı	46	İç
	Doğrultma Ünitesi Öncesi Aktarma Borusu Değişimi	180	İç
Doğrultma Ünitesi	Doğrultma Ünitesi İçi Boru Değişimi	108	İç
	Doğrultma Ünitesi Kestamid Ayarı	196	İç
	Doğrultma Ünitesi Panel Ayarı	104	İç
	Doğrultma Sonrası Aktarma Borusu Değişimi	104	İç
	Paketleme Ünitesi	Paketleme Öncesi Makara Ayarları	49
	Paketleme Öncesi Aktarma Borusu Değişimi	97	İç
Hat Ayarı	Malzemenin Üretim Hattına Alınması	114	İç
	Mühre Ayarı	173	İç
	Doğrusallık Ayarı	872	İç

Tablo 5'e göre, ayar işlemlerinin tamamı iç ayar olarak gerçekleşmektedir. Bu durumun temel sebepleri, mevcut proses yetersizliği ve alışlagelmiş personel davranışlarıdır. Mevcut proses yetersizlikleri, prosesin yapısı gereği değişiklik, revizyon ve ilave ekipmanlar destekleri ile iyileştirme olasılıklarının dışında standart görev tanımlamaları ile önemli iyileştirmeler elde edilemeyeceğini ifade etmektedir. Personel davranışları ise, "usta-çırak" ilişkisi içerisinde zaman içerisinde sorgulanmadan öğrenilen ve yapılaş tarzı kişinin kendisi veya amirleri tarafından sorgulanmayan çalışma alışkanlıklarıdır.

**İç ve Dış Ayar Adımlarının Ayrıştırılması:** Makine etkinliğinin sağlanabilmesi, yapılacak her türlü işlem adımının veya işlemin tamamının makine çalışırken yani dış ayar işlemlerde gerçekleştirilmesi gereklidir.

Bu adımda, iç ve dış ayar adımı olarak ayrılmasında yalın üretim tekniklerinden 5S metodolojisi uygulanarak, gerekli ekipmanların arama, bulma, temizleme, kontrol ve transfer faaliyetlerinin ortadan kaldırılması sağlanmıştır. Elde edilen süre iyileştirmelerinin tamamı, bu faaliyetlerden kaynaklanan kayıplardır. Genel anlamda, mühre arama, mühre sonrası kovan arama, çekme çenesi temizleme gibi işlemler iç ayar prosesinde gerçekleşmektedir. Ancak, yapılan çalışma ile birlikte bu tür faaliyetlerin tamamı ayar prosesi öncesinde ve sonrasında gerçekleştirilecek hale getirilmiştir.

Ayar prosesi için gerekli olan tüm ekipman ve teçhizatlar, ilgili ünitenin değişiklik yapılacak kısmında hazır bulundurulması esasına dayalı olarak sistem kurulmuştur. Söz konusu teçhizatın uygunluk kontrolü ve kullanılabilirliği, mevcut siparişin üretimi devam ederken gerçekleştirilecek şekilde düzenlenmiştir.

SMED metodolojisinin birinci uygulama adımı olarak, mevcut durumdan farklı olarak olması gereken ideal iç ve dış ayar adımları belirlenmiştir. Örneğin; iki sipariş arasında gerçekleşen "Çekme Çenesi ve İtme Çenesi Temizleme" işlemi iç ayar prosesi için dış ayar prosesi olarak düzenlenmiştir. Üretim sahasından alınan video kayıtları, uzman görüşleri ve yerinde incelemeler sonrası, soğuk çekme ünitesi ekipmanlarının değişimi esnasında bir sonraki iş emrine ait itme ve çekme çenelerinin bağlanmadan önce temizlendiği tespit edilmiştir. Bu uygulamada, "her bir siparişte kullanılan itme ve çekme çeneleri, kullanım sonrası yüzey kontrolü yapıldıktan ve gerekli temizleme işlemleri yapıldıktan sonra rafına kaldırılacaktır." uygulama disiplini sağlandıktan sonra, dış ayar işlemi olarak uygulanmaya başlamıştır.

Bu aşamada "Çekme Çenesi ve İtme Çenesi Temizleme" işleminin dışında "Bir Sonraki Siparişe ait Hammaddenin Hazırlanması" ve "Kumlama Kanalının Malzeme Çapına Göre Ayarlanması" işlemleri de dış ayar olarak ayrıştırılmıştır.

**İç Ayar Faaliyetinin Dış Ayar Faaliyetine Dönüştürülmesi:** Birinci aşama sonucunda elde edilen sonuçların ardından, iç ayarların dış ayarlara dönüştürülmesi için bir yatırım ya da revizyon ihtiyacı oluşabilir. Makine ya da ekipmanın yapısı gereği iç ayar olarak gerçekleşmek zorunda olan adımların dış ayara dönüştürülmesi için bu ihtiyaçlar zorunlu hale gelebilmektedir. Çalışma hattında yapılan incelemelerde, direkt olarak dönüşüm sağlanamayıp, üretim hattı üzerinde revizyon ile iyileştirme elde edilmiştir.

Bu aşamada, soğuk çekme hattı-1'in ayar adımlarından "φ18 mm ve altı aktarma ünitesi ayarı" gerçekleşmesi süreci dış ayar sürecine dönüştürülmüştür. Mevcut halinde, aktarma ünitesi içerisinde dört adet aktarma sistemine sahip olan üretim hattında, φ18 ve altı çap değerindeki siparişlere geçişte bu aktarma

sisteminden birisine ait ekipmanları tamamı değiştirilme zorunluluğu vardı. Aktarma ünitesinin dış kısmında, hat çalışırken, sadece  $\phi 18$  ve altı çap değerlerinin bağlanabileceği bir yataklama sistemi kurulmuştur. Söz konusu çap aralığındaki sipariş geçmeden önce, bu bölgede değişim gerçekleşmektedir. Ayar süresinin dışsallaştırılmasının yanı sıra, yapılan sistemin montaj kolaylığı işlem süresinin azalmasına da katkı sağlamıştır. Kurulan yataklama sistemine ait, tasarım görüntüsü Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. İç ayarın dış ayara dönüştürülmesi çalışması

Kaizen çalışması sonucunda, sistem başarı ile devreye alındıktan sonra, sahada değişim işlemine ait süreler tespit edilerek iyileştirme başarısı tespit edilmiştir. Elde edilen süreler değerlendirildiğinde, “ $\phi 18$  ve altı aktarma ünitesi ayarı” tamamı ile dış ayar sürecine dönüştürülmüştür. İlave olarak, ergonomik ve çalışma kolaylığı sağladığı için, işlem süresi 612 saniyeden 57 saniyeye düşürülmüştür. Bu aşamanın sonucunda, toplam ayar süresi 3611 saniyeye düşürülerek, 26,93% oranında iyileştirme sağlanmıştır.

**Ayar Adımlarının İyileştirilmesi:** SMED uygulamalarının genel anlamda Kaizen çalışmaları ile desteklendiği ve hem iç hem de dış ayar adımlarının iyileştirildiği aşamadır. Bu aşama, yöntemin son aşaması olduğu gibi elde edilen sonuçların ilerleyen dönemlerde daha da iyileştirilmesi için döngüsel olarak uygulanabilecek tekrarlanabilir bir aşamadır.

Ayar adımlarının iyileştirilmesi aşamasında gerçekleştirilen 11 adet kaizen çalışması gerçekleştirilmiştir. Örneğin, mührelerin ters bağlantısının önüne geçebilmek amacı ile kamalı bağlantılı soğuk çekme kalıbı yuvası revizyonu gerçekleştirilmiştir. Bu sayede hem mührere doğru hem de açılabilir olarak aynı derecede yuvaya takılmış olacaktır. Bunun sonucu olarak, mührere ayarlama esnasında aynı mührenin bir sonraki kullanımda aynı mührere ayarı ile işleme sağlanmıştır. Bu ve diğer kaizen çalışmaların, hangi ayar işlemlerini iyileştirmek üzere kullanıldığı Tablo 6’da açıklanmıştır.

SMED uygulamalarının son adımı olan iç ve dış ayar adımlarının iyileştirilmesi aşaması, sürekliliğe sahip olmalıdır. Tamamlanan her bir iyileştirme aşamasında sonra, ilerleyen dönemlerde ayar sürelerinin azaltılmasına yönelik farklı kaizen çalışmaları üzerine yoğunlaşarak, elde edilen sonuçların daha da iyileştirilmesi sağlanabilir. Bu çalışmada, SMED metodolojisi tek döngülü olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6. Kaizen çalışmaları

Ayar İşlemi	İyileştirme Aksiyonu
Hammaddenin Hazırlanması	Hammadde bağ çözme makası ile hammaddenin kolay açılması
Altı köşe Makara Değişimi	Altı köşe ve Yuvarlak Makara değişimlerinde tutukluk yapılmasını önlemek amacı ile manuel gres yağlama kanallarının açılması ve çektirme kullanıma olanak verecek şekilde makaraların revizyonu
Kumlama Kanalının Ayarlanması	Operatör Panelinden, üretim çapı girildiğinde klapeleri ayarlayan sistem kurulması
Malzeme İtme Çenesi Değişimi	Bağlantı civatalarının dış boylarının ve bağlantı boyunun kısaltılması
Soğuk Çekme Kalıbı (Mührere) Değişimi	Mührere önü yağlama kapağının revizyonu ile bağlantı kolaylığının sağlanması
Çekme ve İtme Çenesi Temizleme	Çekme ve İtme Çenesi temizleme aparatı imalatı ve kullanımı
Doğrultma Ünitesi Makara Ayarı	Makaraların hareketinin takip edilebilmesi ve kolaylıkla çap değerine getirilebilmesi için, numarator göstergeli volan kullanımı
Kesme Burcu Değişimi	Kesme Burcu kapağının önünde yer alan pabuç parçanın kapağa kaynatılarak, demontajı ve montajının kolaylaştırılması.
Doğrultma Ünitesi Kestamid Ayarı	Kestamid ara mesafelerinin belirlenmesine yönelik parametre çalışması
Mührere Ayarı	Mührelerin aynı yönlü takılması için POKA- YOKE çalışması
Doğrusallık Ayarı	Üretim hattı doğrusallık ayar parametrelerinin belirlenmesi çalışması

Tek döngüde gerçekleştirilen çalışmada Tablo 6’da özetlenen kaizen çalışmaları ile iç ve dış ayar sürecinin iyileştirilmesi sağlanmıştır. Gerçekleşen kaizen çalışmalarına bağlı olarak, elde edilen zaman boyutunda her bir ayar adımı için işlem süreleri, bir sonraki kısımda yer alan Taguchi deneylerinde seçilen ortogonal dizilere bağlı olarak yapılan deney sonuçlarının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

SMED yönteminin uygulama adımları sonrası elde edilen işlem sürelerine ait veriler Tablo 7’de verilmiştir. Tablo 7’de iç ve dış ayarın ayrıştırılması 1. Aşama, iç ayarın dışa ayara dönüştürülmesi 2. Aşama ve ayar adımlarının iyileştirilmesi ise 3. Aşama olarak tanımlanmıştır. Daha önceki kısımlarda açıklandığı üzere, tek bir ayar tipi ve süresi söz konusu olmadığından, SMED uygulamalarının her bir ayar adımı üzerine olan etkileri incelenmiş ve ayar adımlarındaki toplam iyileştirme oranı verilmiştir. Ayrıca, söz konusu aşamada gerçekleştirilen iyileştirme adımları “\*” ve kırmızı punto ile tanımlanmıştır.

Bu uygulamanın, soğuk çekme hattı üzerindeki gerçek etkisinin ölçülebilmesi için Taguchi çalışmaları sonrasında bir aylık iş yüküne sahip iş planı üzerinden değerlendirme yapılacaktır.



Tablo 7. SMED aşamalarına bağlı işlem süreleri ve toplam iyileşme oranı

Ayar İşlemi	Başlangıç (sn)	1.Aşama (sn)	2.Aşama (sn)	3.Aşama (sn)	İç Ayar (sn)	Dış Ayar (sn)	İyileşme (%)
Hammadenin Hazırlanması	182	182	182	160*	0	160	12.09%
Ön Doğrultma Makara Ayarı	176	176	176	176	176	0	0.00%
Altı köşe Makara Değişimi	273	200	200	174*	174	0	36.26%
Kumlama Kanalının Ayarlanması	43	43	43	0*	0	0	100.00%
Malzeme İtme Çenesi Değişimi	210	150	150	144*	144	0	31.43%
Soğuk Çekme Kalıbı (Mühre) Değişimi	208	168	168	130*	130	0	37.50%
Kovan Değişimi	157	110	110	110	110	0	29.94%
Çekme ve İtme Çenesi Temizleme	259	158	158	141*	0	141	45.56%
Çekme Çenesi Değişimi	112	80	80	80	80	0	28.57%
Doğrultma Ünitesi Makara Ayarı	262	262	262	105*	105	0	59.92%
Kesme Öncesi Aktarma Borusu Değişimi	72	40	40	40	40	0	44.44%
Kesme Burcu Değişimi	138	90	90	80*	80	0	42.03%
Kesme Sonrası Aktarma Borusu Değişimi	72	40	40	40	40	0	44.44%
Kesme Ünitesi Makara Ayarı	47	35	35	35	35	0	25.53%
Aktarma Ünitesi Öncesi Boru Değişimi	76	40	40	40	40	0	47.37%
φ18 ve altı Aktarma Ünitesi Ayarı	612	612	57*	57	0	57	90.69%
Aktarma Ünitesi Ayarı	46	46	46	46	46	0	0.00%
Doğrultma Ünitesi Öncesi Boru Değişimi	180	120	120	120	120	0	33.33%
Doğrultma Ünitesi İçi Boru Değişimi	108	62	62	62	62	0	42.59%
Doğrultma Ünitesi Kestamid Ayarı	196	163	163	119*	119	0	39.29%
Doğrultma Ünitesi Panel Ayarı	104	80	80	80	80	0	23.08%
Doğrultma Sonrası Aktarma Borusu Değişimi	104	63	63	63	63	0	39.42%
Paketleme Öncesi Makara Ayarları	49	35	35	35	35	0	28.57%
Paketleme Öncesi Aktarma Borusu Değişimi	97	52	52	52	52	0	46.39%
Malzemenin Üretim Hattına Alınması	114	114	114	114	114	0	0.00%
Mühre Ayarı	173	173	173	137*	137	0	20.81%
Doğrusallık Ayarı	872	872	872	207*	207	0	76.26%
<b>TOPLAM</b>	<b>4942</b>	<b>4166</b>	<b>3611</b>	<b>2547</b>	<b>2189</b>	<b>358</b>	<b>48.46%</b>

#### Taguchi Deney Tasarımı ile Ayar Sürecine Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi ve İyileştirilmesi

Bir süreç adımı ya da faaliyete ait ideal işlem sürelerinin belirlenmesi için sürece ya da faaliyete etki eden faktörlerin analiz edildiği ve kontrollü şekilde uygulandığı çalışmalar gerçekleştirmek gerekir. Çalışmaların büyüklüğü, zaman ve uygulama boyutunda zorluğuna bu faktörlerin sayısı ve seviyesi etki etmektedir. Saha uygulamalarında çok sayıda deney yapmak ekonomik olmadığı gibi bu fırsatı elde edebilmekte zordur. Bu gibi durumlarda faktörleri dikkate alarak optimum seviyelerde deney veya çalışma gerçekleştirilmesi gerekir.

SMED çalışması sonrası elde edilen zaman verilerini üzerinden, ayar sürelerine etki eden faktörlerin analiz edilmesi ve ideal işlem sürelerinin elde edilmesi amacı ile çalışma gerçekleştirilmiş ve bu kısımda açıklanmıştır. Sahadaki örneklem sayısının en düşük düzeyde gerçekleşmesi amacı ile Taguchi Deney Tasarımı metodundan faydalanılmıştır ve çalışmada Minitab programı üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Bu metod, ayar çeşitliliğinden dolayı her bir ayar işlemine ayrı ayrı uygulanmış ve her bir ayar işlemi için değerlendirme yapılarak ideal sürelerle ulaşılmaya hedeflenmiştir.

Bu kısımda, her bir ayar adımına ait Taguchi deneyinin uygulanması 26 adet ayrı deney anlamı taşıyacağından, detaylı olarak sadece bir adet Taguchi deneyi ele alınarak, diğerlerine ayar adımlarına ait deneylerin sonuçları verilecektir.

**Faktör Türlerinin ve Seviyelerinin Belirlenmesi:** Faaliyetlerin gerçekleşmiş olduğu tesisin yapısı, üretim hattı ya da makinanın özellikleri, işgücü yeteneği ve işgücüne efor sarfıyatı gibi faktörler çalışma performansını etkileyebilmektedir. Bu faktörlerin ve faktör içi sınıflandırmanın yapılması, faktör ve etki analizleri açısından önemlidir.

Üretim hattı üzerinde ayar işlemlerine etki eden faktörler incelendiğinde, iki tip faktör grubu tespit edilmiştir. Bunlardan birincisi, üç faktörlü ayar işlemleri için uygulanacak olan faktör grubu-1 (FG1) ve diğeri ise dört faktörlü ayar işlemleri için uygulanacak olan faktör grubu-2 (FG2)'dir. Faktör seviyesi değerlendirildiğinde, tüm faktör gruplarındaki faktörlerin üç seviyeleri olduğu belirlenmiştir. Bu açıklamalara bağlı tüm faktörler ve faktör grupları Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. Faktör ve faktör seviyeleri

Faktör Türü	Faktör Seviyeleri			Faktör Grubu	
	1	2	3	FG1	FG2
Vardiya Tipi	Gündüz	Gece	Ara	x	x
Operatör Tecrübesi	0-1 yıl	1-2 yıl	3+	x	x
Gün içi Ayar Sayısı	1	2	3	X	x
Malzeme Sertliği	<200 HB	200÷250 HB	250 HB<		

Malzeme sertliği faktörü, malzeme doğrusallığın sağlanması için gerekli olan ayar adımlarının işlem süreleri üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, operatör tecrübesinin malzeme sertliğinin ayar süresine olan etkisi üzerinde bir tesiri olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, malzeme sertliğinin etken olduğu, "Ön Doğrultma Makara Ayarı", "Doğrultma Ünitesi Makara Ayarı" ve "Doğrusallık Ayarı" adımları dört faktör ve malzeme sertliği ile operatör tecrübesinin etkileşimi dikkate alınarak analiz edilecektir.

**Serbestlik Derecesi ve Ortogonal Dizi Seçimi:** Taguchi metodu, örneklem boyutunda deney sayısı ile çok sayıda gerçekleşmesi gereken deneysel sonuçları açıklamak üzere ortogonal dizilerden meydana gelmektedir.

Ortogonal dizinin seçimi, yapılan çalışmanın sonucuna etki edecektir. Bu nedenle dizinin doğru belirlenmesi gerekmektedir. Ortogonal dizinin seçiminde faktörlerin toplam serbestlik dereceleri dikkate alınmalıdır.

Ayar işlemlerinin sürelerine etki eden faktörler ele alındığında, iki tip faktör grubu için ayrı ayrı serbestlik derecesi hesaplanmıştır. Faktör grubu-1 ve faktör grubu-2 için hesaplanan toplam serbestlik derecesi ve seçilen ortogonal dizi Tablo 9 'da gösterilmiştir:

Tablo 9. Faktör ve faktör seviyeleri

Faktör Türü	Faktör Grubu-1		Faktör Grubu-2	
	Faktör Seviyesi	Serbestlik Derecesi	Faktör Seviyesi	Serbestlik Derecesi
Vardiya Tipi	3	2	3	2
Operatör Tecrübesi	3	2	3	2
Gün İçi Ayar Sayısı	3	2	3	2
Malzeme Sertliği	0	0	3	2
Operatör Tecrübesi * Malzeme Sertliği	0	0	-	4
Toplam Serbestlik Derecesi	-	6	-	12
Ortogonal Dizi	-	L9	-	L27

Ayar işlemleri için belirlenen faktör grupları ve ortogonal diziler dikkate alınarak, gerçekleşen L9 ortogonal dizisinde gerçekleşen deneylerin tamamında üçer adet (diğerleri birer adet) deney tekrarı uygulanarak Taguchi deney tasarımı ile etkin parametrelerin belirlenmesi ve analiz edilmesi aşamasına geçilmiştir.

**Deneyin Gerçekleştirilmesi ve Etkin Faktörün Belirlenmesi:** Belirlenen faktörler ve faktör seviyelerine bağlı olarak, her bir makine ve ünitenin ayar işlemine ait Taguchi deneyi uygulanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Bu kısım altında “soğuk çekme kalıbı değişimi” ayar adımının faktör analizi ve değerlendirmesi ele alınmıştır. Soğuk çekme kalıbı değişimi için L9 ortogonal dizisi kullanılarak “en küçük en iyi değer” yaklaşımına bağlı olarak gerçekleştirilen deney setinde elde edilen sonuçlar Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. Soğuk çekme kalıbı değişim deney sonuçları

Var. Tipi	Operatör Tecrübesi	Gün İçi Ayar Sayısı	Ölçüm			S/N Oranı	Ort. Süre (sn)
			1 (sn)	2 (sn)	3 (sn)		
Gündüz	0-1 Yıl	1	119	132	127	-41,59	120
Gündüz	1-3 Yıl	2	108	125	118	-40,92	111
Gündüz	3+ Yıl	3	112	122	115	-40,86	110
Gece	0-1 Yıl	1	149	172	168	-43,93	157
Gece	1-3 Yıl	2	159	154	171	-43,83	155
Gece	3+ Yıl	3	108	113	124	-40,76	109
Ara	0-1 Yıl	1	142	148	134	-42,63	135
Ara	1-3 Yıl	2	114	122	120	-41,03	112
Ara	3+ Yıl	3	108	114	122	-40,73	108

Soğuk çekme kalıbı değişimi işlemine etki eden faktörler Tablo 11’de verilen S/N oranı yanıt Tablosuna göre değerlendirildiğinde en etkin faktör sıralaması operatör tecrübesi, vardiya tipi ve gün içi ayar sayısı olarak belirlenmiştir. Faktörlerin ideal seviyeleri ise sırasıyla 3+ yıl tecrübe, 1.vardiya ve 1 adet gün içi ayar sayısı ile ideal işlem süresine ulaşılabilen sonuçuna ulaşılmaktadır.

Deney setinde elde edilen ölçüm sonuçlarına bağlı olarak S/N yanıt değerleri Tablo 11’de gösterilmiştir.

Tablo 11. Soğuk çekme kalıbı değişim S/N tablosu

Seviye	Vardiya Tipi	Operatör Tecrübesi	Gün İçi Ayar Sayısı
1	-41,57*	-43,10	-41,58*
2	-43,22	-42,34	-42,28
3	-41,90	-41,25*	42,83
Delta	1,65	1,85	1,25
Rank	2	1	3

Diğer Taguchi Deneyleri sonucu elde edilen etkin faktör seviyeleri sırasıyla “Vardiya Tipi”, “Operatör Tecrübesi”, “Gün İçi Ayar Sayısı” ve “Malzeme Sertliği” seviyelerini belirtecek şekilde Tablo 12’de özetlenmiştir.

İdeal işlem sürelerinde çalışma koşullarının normal koşullar altında sürekliliğinin sağlanması veya ideal koşullar altında çalışmak mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı, faktörlerin etkilerini azaltacak iyileştirme çalışmaları veya organizasyonel düzenlemeler, işlem sürelerinin ideale yaklaşmasını sağlanmalıdır.

Tablo 12. Taguchi deneyleri etkin faktör seviyeleri

Ayar İşlemi	Faktör Seviyeleri
Hammaddenin Hazırlanması	(1,3,1)
Ön Doğrultma Makara Ayarı	(1,3,1,1)
Altıköşe Makara Değişimi	(1,3,1)
Malzeme İtme Çenesi Değişimi	(1,3,1)
Soğuk Çekme Kalıbı (Mühre) Değişimi	(1,3,1)
Kovan Değişimi	(1,2,1)
Çekme ve İtme Çenesi Temizleme	(1,3,1)
Çekme Çenesi Değişimi	(1,3,1)
Doğrultma Ünitesi Makara Ayarı	(1,3,1,1)
Kesme Öncesi Boru Değişimi	(1,3,1)
Kesme Burcu Değişimi	(1,3,1)
Kesme Sonrası Boru Değişimi	(1,3,1)
Kesme Ünitesi Makara Ayarı	(1,3,1)
Aktarma Ünitesi Öncesi Boru Değişimi	(1,3,1)
φ18 ve altı Aktarma Ünitesi Ayarı	(1,3,1)
Aktarma Ünitesi Ayarı	(1,3,1)
Doğrultma Ünitesi Öncesi Boru Değişimi	(1,3,1)
Doğrultma Ünitesi İçi Boru Değişimi	(1,3,1)
Doğrultma Ünitesi Kestamid Ayarı	(1,3,1)
Doğrultma Ünitesi Panel Ayarı	(1,3,1)

Tablo 12. devamı

Ayar İşlemi	Faktör Seviyeleri
Doğrultma Sonrası Aktarma Borusu Değişimi	(1,3,1)
Paketleme Öncesi Makara Ayarları	(1,3,1)
Paketleme Öncesi Boru Değişimi	(1,3,1)
Malzemenin Üretim Hattına Alınması	(1,3,1)
Mühre Ayarı	(1,3,1)
Doğrusallık Ayarı	(1,3,1,1)

**ANOVA (Varyans) Analizi:** Anova analizi, karakteristikler üzerinde faktörlerin etki derecesinin incelenmesine yardımcı olmaktadır (Aytaç ve Aztekin, 2019). Bu doğrultuda, Soğuk çekme kalıbı değişimi işlemine ait deneysel sonuçlar kullanılarak, Anova analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 13’de gösterilmiştir.

Tablo 13. Soğuk çekme kalıbı değişim Anova testi

Kontrol Faktörü	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı (SS)	Kareler Ortalama (MS)	F Oranı	P
Vardiya Tipi	2	3605,6	1802,8	22,71	0,0
Operatör Tecrübesi	2	3608,1	1804	22,73	0,0
Gün içi Ayar Sayısı	2	1779,2	889,6	11,21	0,01
Hata	20	1587,4	79,4		
Toplam	26	10580,3			
S			R-Sq		R-Sq (Adj)
<b>8,90901</b>		<b>85,00%</b>			<b>80,50%</b>

Tablo 13’de gösterilen ANOVA testinin sonucuna göre %95 anlamlılık düzeyinde, seçilen kriterlerin her birinde  $p < 0,05$  denkliği elde edildiği için, tüm faktörlerin “Soğuk çekme kalıbı değişim süresi” üzerinde etkisi olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Ayrıca bu faktörlerin F oranı kıyaslandığında, en yüksek F değerine sahip olan operatör tecrübesinin, değişim süresi üzerindeki etkili kriter olduğu ve R-sq(adj) değerinin %80.00 değerinin üzerinde olmasından dolayı çalışmanın sonuçlarının başarıya ulaştığı sonuçları çıkartılmaktadır.

Diğer ayar adımlarında gerçekleştirilen ANOVA testlerinde, %95 anlamlılık düzeyinde, kriterlerinde tamamında  $p < 0,05$  kısıtını sağlandığı için, seçilen tüm faktörlerin ayar süresine etki ettiği sonucuna ulaşılmıştır. L27 ortogonal dizisine göre yapılan deneylerde, malzeme sertliği ile operatör tecrübesinde arasında öngörülen ilişkinin, ANOVA testinde elde edilen  $p > 0,05$  değerinden dolayı geçerli bir öngörü olmadığı belirlenmiştir.

İdeal faktör seviyelerine göre Minitab programının “Predict Taguchi Results” komutu da kullanılmış ve 94.2593 sonucuna ulaşılmış ve sahadan elde edilen sonuçlar ile kıyaslandığında tahminleme %88.92 oranında yakınlık derecesine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**İdeal Seviye Sonuçları ve İyileştirme Planı:** Deney ölçüm sonuçlarına bağlı olarak elde edilen ideal faktör seviyeleri, bazı durumlarda faktörlerin deney setleri içerisinde yer almayan faktör seviyelerinin birleşiminden oluşabilir. Dolayısıyla, ideal işlem sonuçlarının elde edilmesi amacı ile tekrar deney gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Deneyin gerçekleştirilemeyeceği durumlarda, Minitab programının “Predict Taguchi Results” komutu kullanılarak, ideal seviyelere bağlı olarak tahminleme yapılabilmektedir.

Soğuk çekme kalıbı değişimi işlemi için ideal faktör seviyeleri, vardiya türü için 1. vardiya, operatör tecrübesi için 3+ vardiya ve gün içi işlem sayısı için 1 olarak belirlenmişti. Bu faktör seviyelerinde, deney seti içerisinde gerçekleştirilmiş bir deney olmadığı için deney üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve Tablo 14’deki ortalama işlem süresi değerine ulaşılmıştır.

Tablo 14. Soğuk çekme kalıbı optimum işlem süresi

Vardiya Tipi	Operatör Tecrübesi	Gün İçi Ayar Sayısı	Tahmin	Üç ölçüm Ort.	Doğruluk
Gündüz	3+yıl	1	94,2593	106	88,92%

İdeal işlem sürelerini sağlayacak faktör seviyelerinde çalışmak, çoğu zaman uygulamada mümkün olmayabilir. Bu gibi durumlarda faktörlerin etkilerinin azaltıcı önlemler alınarak, olası diğer seviyelerle çalışma esnasında dahi ideal işlem sürelerine yakın çalışma sağlanabilmektedir. Genel olarak; tüm ayar adımlarının tamamında etkin faktör seviyelerindeki işlem sürelerine ulaşabilmek için Tablo 15’de özetlenen organizasyonel ve iyileştirme temelli aksiyonlar alınmıştır.

Tablo 15. Faktör etkisi azaltıcı aksiyonlar

Faktör Türü	Temel Neden	Aksiyon
Vardiya Türü	Yönetim ve denetleme eksikliği	Organizasyonel yapıda düzenleme yapılarak, takım liderliği pozisyonunda bulunacak personelin ayar ve çalışma operasyonunu yürütmesinin ve denetlemesinin sağlanması
Operatör Tecrübesi	Hat üzerindeki operatör tecrübe ve hâkimiyet eksikliği	Ayar süreçlerinde, tecrübesizlik kavramının kademeli olarak azaltılabilmesi için “setup-men” kavramında ayar süreçlerini yürütecek tecrübeli personellerin görevlendirilmesi
Gün içi Ayar Sayısı	Personel efor miktarının artması	Ayar süreçlerinin, tecrübeli personeller tarafından gerçekleştirilmesi ( Hattın çalıştırılması görevinden alınan ayar personellerinin, bedensel yorgunluklarının azaltıcı zihinsel ve idari faaliyetlerde görevlendirilmesi)
Malzeme Sertliği	Malzeme sertliğine bağlı olarak doğrultma işlemlerinin sürelerinde artış meydana gelmesinin kök nedeni, malzemenin şekil değiştirme direncinin artmasıdır.	Hat girişine ilave doğrultma makaraları ilave edilerek, malzemenin şekil değiştirme direncinin ilave olarak azaltılması

Faktör etkisinin azaltılmasına yönelik Tablo 15.’de tanımlanan aksiyonlar uygulamaya alınarak, sahadan gerçekleştirilen ölçümler sonucunda, soğuk çekme hattının ayar adımlarında elde edilen yeni işlem süreleri Tablo 16’da SMED uygulaması süreleri ile kıyaslanarak verilmiştir. Tablo 16’a göre, Taguchi Deneyleri ile faktör etkilerinin azaltılması ile ayar sürelerinde azalma meydana gelmiştir. Bu sonuç, birim ayar sürelerinin iyileştirilmesinde SMED Taguchi Yaklaşımının daha fazla katkı sağlayacağı sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Tablo 16. SMED Taguchi yaklaşımı sonrası ayar adımlarının işlem süreleri

Ayar İşlemi	Başlangıç (sn)	3.Aşama (sn)	Taguchi Sonrası (sn)	İç Ayar (sn)	Dış Ayar (sn)	Taguchi İyileştirme (%)	Toplam İyileşme (%)
Hammaddenin Hazırlanması	182	160	122	0	122	31.15%	32.97%
Ön Doğrultma Makara Ayarı	176	176	140	140	0	25.71%	20.45%
Altı köşe Makara Değişimi	273	174	143	143	0	2.68%	47.62%
Kumlama Kanalının Ayarlanması	43	0	0	0	0	0%	100.00%
Malzeme İtme Çenesi Değişimi	210	144	139	139	0	3.60%	33.81%
Soğuk Çekme Kalıbı (Mühre) Değişimi	208	130	106	106	0	22.64%	49.04%
Kovan Değişimi	157	110	98	98	0	12.24%	37.58%
Çekme ve İtme Çenesi Temizleme	259	141	132	0	132	6.82%	49.03%
Çekme Çenesi Değişimi	112	80	57	57	0	40.35%	49.11%
Doğrultma Ünitesi Makara Ayarı	262	105	80	80	0	31.25%	69.47%
Kesme Öncesi Aktarma Borusu Değişimi	72	40	32	32	0	25.00%	55.56%
Kesme Burcu Değişimi	138	80	65	65	0	23.08%	52.90%
Kesme Sonrası Aktarma Borusu Değişimi	72	40	34	34	0	17.65%	52.78%
Kesme Ünitesi Makara Ayarı	47	35	30	30	0	16.67%	36.17%
Aktarma Ünitesi Öncesi Boru Değişimi	76	40	33	33	0	21.21%	56.58%
φ18 ve altı Aktarma Ünitesi Ayarı	612	57	41	0	41	39.02%	93.30%
Aktarma Ünitesi Ayarı	46	46	43	43	0	6.98%	6.52%
Doğrultma Ünitesi Öncesi Boru Değişimi	180	120	112	112	0	7.14%	37.78%
Doğrultma Ünitesi İçi Boru Değişimi	108	62	56	56	0	10.71%	48.15%
Doğrultma Ünitesi Kestamid Ayarı	196	119	111	111	0	7.21%	43.37%
Doğrultma Ünitesi Panel Ayarı	104	80	70	70	0	14.29%	32.69%
Doğrultma Sonrası Aktarma Borusu Değişimi	104	63	54	54	0	16.67%	48.08%
Paketleme Öncesi Makara Ayarları	49	35	29	29	0	20.69%	40.82%
Paketleme Öncesi Aktarma Borusu Değişimi	97	52	41	41	0	26.83%	57.73%
Malzemenin Üretim Hattına Alınması	114	114	101	101	0	12.87%	11.40%
Mühre Ayarı	173	137	112	112	0	22.32%	35.26%
Doğrusallık Ayarı	872	207	150	150	0	38.00%	82.80%
TOPLAM	4942	2547	2131	1836	295	19.52%	56.88%

### Çalışma Etkinliğinin Değerlendirilmesi

Soğuk çekme hattında ayar sürelerinin en küçüklmesine yönelik çalışmada, geleneksel SMED yaklaşımına ilave olarak Taguchi Deney Tasarımının uygulanarak SMED Taguchi Esaslı bir yaklaşım savunulmuştur.

Taguchi deneyleri sonucunda elde edilen Tablo 15'de özetlenen verilere göre, bu yaklaşımın geleneksel SMED uygulamasına ilave olarak süre iyileşmeleri sağladığı görülmektedir. Ancak, soğuk çekme hattının proses yapısı gereği, çap geçişlerine bağlı olarak ayar sürelerinde farklılıklar olmasından dolayı, hattın etkinliğine olan etkisi direkt olarak tespit edilememektedir. Değerlendirmenin yapılabilmesi için, bir aylık sipariş yükündeki (değerlendirmede 55 sipariş ele alınmıştır.) etkileri gözetilerek bir aylık performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Çalışmanın, bütünsel olarak etkisini gözlemlenmeden önce, örnek olarak seçilen φ16 mm sipariştten, φ30 mm siparişe geçişteki ayar süresi analiz edilmiş ve hesaplanan süreler Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17. Örnek iyileşme oranı (φ16 mm'den φ30 mm'ye)

	Başlangıç (sn)	SMED Sonrası (sn)	SMED sonrası İç Ayar (sn)
TOPLAM	3759	2015	1693
Başlangıca Göre İyileşme Miktarı	-	46,395%	54,96%

φ16 mm sipariştten, φ30 mm siparişe geçişteki ayar süresi, SMED uygulaması ile mevcut duruma göre 1744 saniye azaltılmıştır. Çalışmaya Taguchi Deneyleri ilave edildiğinde, iyileşme miktarı 322 saniye artarak toplamda 2066 saniyeye yükselmiştir. Benzer şekilde tüm ayar geçişleri için, ayar süreleri hesaplandıktan sonra, bir aylık iş yüküne sahip 55 siparişin toplam ayar süresi değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 18'de özetlenmiştir.

Tablo 18. Örnek İyileşme Oranı (φ16 mm'den φ30 mm'ye)

Planlanan Üretim Süresi (dk)	İyileştirme Öncesi Ayar Süresi (dk)	SMED Sonrası Toplam Ayar Süresi (dk)	Taguchi Uygulaması Sonrası Toplam Ayar Süresi (dk)
13792	2724	1296	1080
Toplam İyileşme Miktarı	-	1428	1644
Toplam İyileşme Oranı	-	52.42%	60.35%
Planlı Üretim Süresi Payı	19,75%	9.39%	7.83%
Planlı Üretim Süresi İyileşme Oranı	-	10.35%	11.92%
OEE Etkisi	-	+ 7.218%	+ 8.313%

Tablo 18'e göre, soğuk çekme hattının bir aylık etkinliği değerlendirildiğinde, mevcut duruma göre toplam ayar süresinde iyileşme miktarı 1428 saniyede kalırken, SMED Taguchi esaslı bir yaklaşımla ayar süreleri iyileştirildiğinde, toplam ayar süresinde iyileşme miktarı 1644 saniyeye kadar çıkmıştır.

Çalışma sonucunda, hattın OEE oranı geleneksel SMED uygulaması ile +7.218% puan artış gösterirken, SMED Taguchi yaklaşımı ile bu değer +8.813% olarak gerçekleşmektedir. Elde edilen verilere dayalı olarak, ayar sürelerinin iyileştirilmesine SMED Taguchi esaslı bir yaklaşım çalışma etkinliğini ilave katkı sağlamaktadır.

### Tartışma ve Sonuç

Günümüzde, etkin proses yönetiminin gerekli olmasından dolayı birçok işletme, faaliyet etkinliğini artırmak üzere çalışmalar gerçekleştirmektedir. Üretim işletmeleri için önem arz eden ve sıklıkla yapılan çalışanlardan birisi ayar süreleridir. İşletmeler, birim ayar sürelerini azaltma çabasında iken temel amacı elde edilen sonuçların en iyi sonuçlara ulaşılmasıdır.

Ayar sürelerinin azaltılmasına yönelik bu çalışmalarda sıklıkla SMED metodolojisinden faydalanılmaktadır. SMED metodolojisi, ayar sürecini tüm adımların mümkün olduğu kadar sadeleştirilmesi ve hattın durdurulmadan gerçekleşmesine olanak verecek şekilde oluşmasını sağlayacak şekilde geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Birçok uygulamada ve çalışmada, SMED'in bu yönü ele alınırken, ayar sürecine etki eden faktörler göz ardı edilmektedir.

Ayar sürecine etki eden dengelenmemiş faktörler, iyileştirilmiş bir ayar prosesinde bile etki ederek ayar sürelerinde dalgalanmalara neden olacaktır. Ayar sürecine etki eden faktörlerin belirlenerek, şiddet düzeylerine göre önlemler alınmalı ve süreç dengelenmelidir. Bu nedenle çalışmada, ayar sürelerinin iyileştirilmesinde SMED Taguchi esaslı bir yaklaşım önerilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlara göre, geleneksel SMED yaklaşımı ile planlı üretim süresi içerisinde kullanılabilen süre 1428 dakika artış gösterirken, SMED Taguchi esaslı bir yaklaşımla bu değer 1644 dakika olarak gerçekleşmiştir. Geleneksel SMED ile SMED Taguchi esaslı yaklaşım arasındaki, +216 dakikalık fark üretim miktarı olarak ortalama 200 kg/dk üretim kapasitesindeki hattın aylık olarak 43200 kg daha fazla üretim gerçekleşmesine katkı sağlayacaktır.

Literatürde SMED uygulamalarına, Taguchi Deneysel Tasarımını ilave eden Karasu (2014) ve Ekinçioğlu(2016)'nın çalışmaları göz önüne alınarak bu çalışma değerlendirildiğinde; Ekinçioğlu (2016), Taguchi deneysel tasarımını bir ayar adımı olarak kullanmış ve toplam ayar süresini 79 dakikadan 73,5 dakikaya (6,96%) indirmiştir. Bu çalışmada, benzer yaklaşım ile tek bir ayar adımı Taguchi uygulanmış olsaydı, Taguchi'nin toplam ayar süresine katkı oranı 19,52%'nin altında olacağını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca çalışmada, uygulamalar sonrası bir aylık üretim planı üzerinde uygulanması, sağlanan katkının ekipman etkinliği boyutunda da değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Bunun dışında, geçmiş üretim verileri dayalı proses parametrelerinin belirlenmesi çalışması gerçekleştirildiği ve uygulama kısıtından dolayı, proses parametrelerinin belirlenmesinde Taguchi Deneysel Tasarımından yararlanılmamıştır.

Bu değerlendirmeler ve sonuçlara bağlı olarak, ayar sürelerinin iyileştirilmesinde, ayar sürecine etki eden faktörlerin dikkate alınarak yapılacak çalışmanın daha etkin çalışmalar ortaya koyacağı ortaya çıkmıştır. Çalışma, ayar sürelerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalarda uygulayıcılara katkı sağlayacaktır. Devam eden süreçte, proses parametrelerine ait verileri olmayan süreçleri analiz eden uygulayıcılara, Taguchi Deneysel Tasarımını, süreç parametrelerinin belirlenmesini de kapsayacak şekilde uygulaması tavsiye edilmektedir. Bu çalışmanın devamında, çalışma etkinliğinin daha uzun vadede ölçüldüğü bir uygulama ele alınarak SMED Taguchi esaslı ayar süreleri azaltma yönteminin zamana dayalı gelişimi izlenecektir.

## Kaynakça

- Abe, J. O., Popoola, O. M., Popoola, A. P. I., Ajenifuja, E., & Adebisi, D. I. (2019). Application of Taguchi design method for optimization of spark plasma sintering process parameters for Ti-6Al-4V/h-BN binary composite. *Engineering Research Express*, 1, 1-20.
- Amrina, U., Junaedi, D., & Prasetyo, E. (2018). Setup Reduction in Injection Moulding Machine Type JT220RAD By Applying Single Minutes Exchange of Die (SMED). *International Conference on Design, Engineering and Computer Sciences, Jakarta, Indonesia*, 1-9.
- Aytaç, A., & Aztekin, K. (2019). Inconel 718 Alaşımının Seramik Takımla Tornada İşlenebilirliğine Etki Eden Faktörlerin Taguchi Metodu ile Araştırılması. *Kara Harp Okulu Bilim Dergisi*, 29(2), 229-246.
- Azizi, A., & Manoharan, T. (2015). Designing a Future Value Stream Mapping to Reduce Lead Time using SMED-A Case Study. *2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference, Bali, Indonesia*, 153-158.
- Brito, M., Ramos, A. L., Carneiro, P., & Gonçalves, M. A. (2017). Combining SMED methodology and ergonomics for reduction of setup in a turning production area. *Manufacturing Engineering Society International Conference, Vigo, Spain*, 1112-1119.
- Charan, H. G., Varalakshmi, M., Tiwari, A., & Rajyalakshmi, K. (2019). Modified Taguchi Approach for optimizing the process parameter using the fictitious parameter. *Journal of Physics. Conf. Series* 1344, 1-10.
- Chen, L., & Meng, B. (2010). The Application of Setup Reduction in Lean Production. *Asian Social Science*, 6(7), 108-113.
- Chowdhury, S., Haque, K. A., & Sumon, M. (2015). Implementation of Lean Strategies in a Furniture Manufacturing Factory. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 12(1), 45-50.
- Çelik, H. (2018). *SMED Uygulamalarının İmalat Sürelerine ve Birim Maliyete Olan Etkisi ve Toplam Ekipman Etkinliği ile Değerlendirilmesi*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi / İşletme Enstitüsü, Sakarya.
- Çelik, H. (2019). 5S Uygulamalarının Ayar Sürelerine ve Toplam Ekipman Etkinliğine Etkisi. *Yorum Yönetim Yöntem Uluslararası Yönetim Ekonomi ve Felsefe Dergisi*, 7(2), 95-110.
- Çelik, H., & Taşkın, K. (2019). SMED Uygulamasının Ayar Süresine ve Birim Maliyete Etkisi: Kabuk Soyuma Parlak Çelik Üretim Hattı Uygulaması. *İşletme Bilimi Dergisi*, 7(1), 77-103.
- Deshmukh, S., & Shete, M. (2018). A Literature Review on Single Minute Exchange of Dies. *International Journal for Scientific Research & Development*, 5(12), 202-206.
- Dhake, R. J., Narkhede, B. E., & Rajhans, N. R. (2014). Setup Time Reduction on Press Using SMED & Quick Changeover Philosophy: A Case Study. *ResearchGate*. VII(10), 5-13.
- Dökme, F., & Taner E. (2013). Toplam Verimli Bakım Stratejisi ve Endüstriyel Tesislerde Uygulanmasının Önemi. *Teknik Bülten*, 42(4): 21-31.
- Ekinçioğlu, C. (2016). *Ergonomik Risk Değerlendirme Ve Gri Esaslı Taguchi Yöntemleri ile Bir Smed Yaklaşımı Önerisi ve Uygulaması*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Esa, M. M., Rahman, N. A. A., & Jamaludin, M. (2015). Reducing High Setup Time in Assembly Line: A Case Study of Automotive Manufacturing Company in Malaysia. *2nd Global Conference on Social Science, Bali, Indonesia*, 215-220.
- Güvercin, S. (2018). Optimum Yüzey İşleme Parametrelerinin ANP Ve Taguchi Yöntemleri İle Belirlenmesi. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Amasya Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Amasya.
- Godina, R., Pimentel, C., Silva, F. J. G., & Matias, J. C. O. (2018). A Structural Literature Review of the Single Minute Exchange of Die: The Latest Trends. *28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2018), Columbus, USA*, 783-790.
- Gupta, A. K., & Garg, R. K. (2012). OEE Improvement by TPM Implementation: A Case Study. *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research (IJIEASR)*, 1(1), 115-124.
- Güneş S. (2015). *Honlama Prosesinde Yüzey Kalitesini Etkileyen Parametrelerin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Joshi, R. R., & Naik G. R. (2012). Application of SMED Methodology- A Case Study in Small Scale Industry. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(8), 1-4.
- Karagöz, N. (2014). *Taguchi Metodunun Hava Aracı Kanat Tasarımı Sürecine Uygulanması*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Erciyes Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Karam, A.A., Livin, M., Cristina, V., & Radu, H. (2017). The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A SMED project. *11th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, Tirgu-Mures, Romania*, 886-892.
- Karasu, M. K., Cakmakci, M., Cakiroglu, M. B., Ayva, E., & Ortabas, N. D. (2014). Improvement of changeover times via Taguchi empowered SMED/case study on injection molding production. *Measurement*, 47, 741-748.
- Kholil, M., Alfa, B. N., & Supriyanto. (2018). Optimization of Production Process Time with Network/PERT Analysis Technique and SMED Method. *International Conference on Design, Engineering and Computer Sciences, Jakarta, Indonesia*, 1-11.
- Koçak, A. (2015). İmalat Süreçlerinde Kullanılan Performans Ölçütleri Üzerine Bir Literatür Araştırması. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 17(3), 160-184.
- Küçük, Z. (2017). *Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi Kullanılarak Teğetsel ve Ortogonal Tornalama- Frezeleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Fırat Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Martins, M., Godina, R., Pimentel, C., Silva, F. J. G., & Matias, J. C. O. (2018). A Practical Study of the Application of SMED to Electron-beam Machining in Automotive Industry. *28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Columbus, USA*, 647-654.
- 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.
- Nancharaiyah, T., & Satyanarayana, P. (2018). Optimization of Process Parameters on Cylindrical Grinding Machine Using Taguchi Method. *International Journal for Innovative Engineering and Management Research*. 7(12), 58-64.

- Otur, B., Yıldırım, I. S., & Ayhan, M. B. (2018). Single Minutes Exchange Of Die (SMED) Applications At The Color Changeover Process Of Plastic Bottles. *4th Global Business Research Congress, Istanbul, Turkey*, 233-236.
- Öz, O. (2018). *Doğal Taşların Cnc Makinesi İle İşlenmesinde Taguchi Deney Tasarımı Yöntemi Uygulanarak Yüzey Kalitesinin Araştırılması*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Rıdvanogulları, A. (2018). *Tren Tekerleğinin İşlenebilirlik Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Araştırılması*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Karabük Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Sağlam, M. (2016). *Taguchi Deney Tasarım Yöntemi Kullanılarak Sementasyon Çeliğinin Teğetsel Silindirik Taşlama Yöntemi İle İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Araştırılması*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Fırat Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Samtaş, G., & Korucu, S. (2019). Temperlenmiş Alüminyum 5754 Alaşımının Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Taguchi Metodu Kullanılarak Optimizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 45-60.
- Sarı, E. B. (2017). Modern Üretim Sistemlerinde Smed İle Hazırlık Sürelerinin İyileştirilmesine Yönelik Sanayi Uygulaması. *International Journal of Academic Value Studies*, 3(9), 433-441.
- Sarı, E. B. (2018). Yalın Üretim Uygulamaları ve Kazanımları. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 17. ÜİK Özel Sayısı, 585-600.
- Sundar, R., Balaji, A.N., & SatheeshKumar R. M. (2014). A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques. *12th Global Congress on Manufacturing and Management, Vellore, India*, 1875-1885.
- Sünkür, E. (2016). *Ekstrüzyon İşleminde Proses Parametrelerinin Etkisinin Sonlu Elemanlar İle Analizi Ve Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Dicle Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Şah, A. (2018). *Frezeleme İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Ve Kesme Enerjisine Etkisinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Mersin Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Tanık, M. (2010). Kalıp Ayar Sürelerinin SMED Metodolojisi ile İyileştirilmesi: Bir Yalın Altı Sigma Uygulaması. *Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25, 117-140.
- Taylan, M. (2011). *Sertleştirilmiş Takım Çeliklerinin Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Takım Aşınması Ve Talaş Oluşumuna Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Tekin, M., Arslandere, M., Etlioğlu, M., Koyuncuoğlu, Ö., & Tekin, E. (2018). Büyük Ölçekli Bir İşletmede 5S Uygulaması. *International Journal of Social and Humanities Sciences*, 2(1), 106-122.
- Wang, T. Y., Song, J. Y., & Chen L. H. (2010). The economic justification of machine changeover time reduction in a manufacturing cell. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 14(4), 409-420.